

이학석사 학위논문

넙치, *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel)

기아시의 영향

Effect of Starvation on Parameters in Olive Flounder,
Paralichthys olivaceus (Temminck et Schlegel)

지도교수 박인석

2005년 8월

한국해양대학교 대학원
해양생명환경학과

우선량

이학석사 학위논문

넙치, *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel)

기아시의 영향

Effect of Starvation on Parameters in Olive Flounder,
Paralichthys olivaceus (Temminck et Schlegel)

지도교수 박인석

2005년 8월

한국해양대학교 대학원

해양생명환경학과

우선량

본 논문을 우선량의 이학석사 학위논문으로 인준함.

2005년 6월

주 심 이 학 박사 조 성 환 (인)

위 원 수 산 학 박사 허 준 욱 (인)

위 원 수 산 학 박사 박 인 석 (인)

한국해양대학교 대학원

목 차

	<i>Page</i>
목 차	iii
<i>Abstract</i>	v
<i>List of Tables</i>	viii
<i>List of Figures</i>	ix
I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	5
1. 실험어	5
2. 실험군(포식군, 기아군) 설정 및 사육관리	5
3. 생존율 및 성장 조사	8
4. <i>Phenotypic trait</i> 조사	9
5. 간중량지수 조사	9
6. 외부 계측형질 조사	10
7. 체 절단면 계측형질 조사	10
8. 생화학적 조사	17
9. 혈액 성분 조사	18
10. 산소 소비효율 및 호흡수 측정	19
11. 통계처리	20

	<i>page</i>
III. 결 과	21
1. 생존율 및 성장	21
2. <i>Phenotypic trait</i>	24
3. 간중량지수	26
4. 외부 계측형질	30
5. 체 절단면 계측형질	33
6. 생화학적 변화	39
7. 혈액 정상 변화	42
8. 산소 소비효율 및 호흡수	47
IV. 고 찰	51
V. 국 문 요 약	65
VI. 감 사 의 글	67
VII. 참 고 문 헌	69

**Effect of Starvation on Parameters in Olive Flounder,
Paralichthys olivaceus (Temminck et Schlegel)**

by

Seon Rang Woo

Submitted to

The Department of Marine Bioscience and Environment

Graduate School of Korea Maritime University

(Supervised by In-Seok PARK, Ph. D.)

Abstract

An experiment was conducted for 12 weeks to determine the effect of feeding and starvation on the survival and growth, the phenotypic trait and hepatosomatic index (HSI), the morphometric changes in the external and sectioned body, the biochemical changes, the hematological parameter, and respiration in olive flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel).

The survival and growth of the starved group was lower than those of the fed group during the experiment. Starvation resulted in retardation of growth, which provides examples of the reduction of final body weight, growth rate of body weight, specific growth rate and condition factor, whereas the fed group continued to grow and remained in good condition.

The starved group had lower gutted body weight, and similar viscera index and dressing percentage compared to those of the fed group. Although the starved group showed higher concentrations of protein and DNA than the fed group, food deprivation resulted in a decrease in the HSI. At the end of the experimental, the fed group (RNA/DNA=9.7) were significantly distinguished from the starved group (RNA/DNA=3.5)($P < 0.05$).

The starved group resulted in a decrease in most sectioned body traits as well as condition factor and viscera index. In sectioned body traits, an almost the entire trunk region were significantly affected by feeding or starvation ($P < 0.05$). There was an increase in truss dimension of the body depth in trunk region of the fed group at the end of 12-week experiment. The value of trunk region dimensions with a large component of body depth in olive flounder is most likely to be compromised by variability related to differences in feeding regimes of fish in different habitats. Classical dimension of longitudinal length characteristics at body belly region increased when fed, and classical dimension of head characteristics increased when starved, but decreased when fed.

Blood analysis (hematocrit, hemoglobin, red blood cell, mean corpuscular hemoglobin, mean corpuscular hemoglobin concentration and mean corpuscular volume) showed no significant differences between the fed and starved groups at the end of the experiment ($P > 0.05$). There were no significant differences in plasma cortisol, glucose, Na^+ , Cl^- , K^+ and aspartate aminotransferase between the fed and starved groups ($P > 0.05$). Plasma alanine aminotransferase levels of the starved groups were higher than those of the fed groups, whereas plasma

osmolality levels of the starved groups were lower than those of the fed groups. The results that oxygen consumption rate and respiration frequency of the starved group were lower than those of the fed group appeared that energy metabolism activity becomes low in the starved group.

These results suggest that all nutritional parameters used for starvation and feeding in this study appear to be a useful index of nutritional status in olive flounder. Additionally, the data have been interpreted in detail and some biologically important relationships were discussed.

Approved as qualified thesis of Seon Rang Woo for the degree of Master of Philosophy by the Evaluation Committee in June 2005.

List of Tables

	<i>Page</i>
Table 1. Seawater quality during the experiment	6
Table 2. Composition of the diet used in this experiment	7
Table 3. Dimensions of body shape used in this study	13
Table 4. Performance of olive flounder, <i>P. olivaceus</i> fed and starved for 12 weeks	23
Table 5. Phenotypic traits of olive flounder, <i>P. olivaceus</i> initial, fed and starved for 12 weeks	25
Table 6. The change of hepatosomatic index of olive flounder, <i>P. olivaceus</i> fed and starved for 12 weeks	28
Table 7. Truss dimension of olive flounder, <i>P. olivaceus</i> initial, fed and starved for 12 weeks	31
Table 8. Classical dimension of olive flounder, <i>P. olivaceus</i> initial, fed and starved for 12 weeks	32
Table 9. Phenotypic traits of olive flounder, <i>P. olivaceus</i> initial, fed and starved for 12 weeks	35
Table 10. Protein and nucleic acid (total DNA and RNA) contents in the liver tissue of olive flounder, <i>P. olivaceus</i> fed and starved for 12 weeks	41
Table 11. Blood analysis of olive flounder, <i>P. olivaceus</i> fed and starved for 12 weeks	43
Table 12. Variations of Na ⁺ , Cl ⁻ , K ⁺ , AST, ALT and osmolality in plasma of olive flounder, <i>P. olivaceus</i> fed and starved for 12 weeks	46

List of Figures

	<i>Page</i>
Fig. 1. Truss and classical dimensions of distances measured for the starvation experiment in olive flounder, <i>P. olivaceus</i>	12
Fig. 2. Total height (THX), width (WX), area (AX), height (HO), and belly thickness (BTO ₁ and BTO ₂) measured in olive flounder, <i>P. olivaceus</i> on a cross section slice	15
Fig. 3. Mean survival of duplicated experiment of olive flounder, <i>P. olivaceus</i> fed and starved during the experiment	22
Fig. 4. Typical external morphology of dressed body of olive flounder, <i>P. olivaceus</i> (a) fed and (b) starved for 12 weeks	27
Fig. 5. External and internal morphology of olive flounder, <i>P. olivaceus</i> , (a) fed and (b) starved for 12 weeks	29
Fig. 6. External morphology of olive flounder, <i>P. olivaceus</i> , in (a) initial and the end of the (b) starved and (c) fed for 12 weeks	34
Fig. 7. Typical external morphology of a cross section slice taken from the experimental olive flounder, <i>P. olivaceus</i>	40
Fig. 8. Variations of duplicated experiment of (a) cortisol and (b) glucose levels in plasma of fed and starved groups in olive flounder, <i>P. olivaceus</i>	45
Fig. 9. Oxygen consumption (OC) rate of olive flounder, <i>P. olivaceus</i> fed and starved for 12 weeks	48
Fig. 10. Respiration frequency of olive flounder, <i>P. olivaceus</i> fed and starved for 12 weeks	50

I. 서 론

일부 어류들은 계절적으로 월동(Wintering), 산란이동(Spawning migration) 혹은 먹이 감소로 인한 자연 기아(Starvation) 시기를 거치게 되며 이러한 기아 시기는 짧게는 몇 일에서 몇 개월(혹은 몇 년)에도 이를 수 있다(Love, 1970). 그러나 기아시의 어류는 생화학적 방법, 생리학적 방법 그리고 행동학적 방법으로 기아를 극복하고 견딜 수 있으며 기아시 어체는 생체내 기본 과정인 체내 조직 내의 내생적(Endogenous) 축적 에너지의 소모로 유지하고, 이러한 체조직 저장 에너지의 사용은 성장감소(Degrowth)로 나타나며, 어체의 화학적 조성과 수분함량에서의 변화와 어체 축적 에너지 변화를 동반한다(Weatherley and Gill, 1987; 박, 2004).

어류는 성 성숙 및 섭식량에 따라 간세포내의 지방, glycogen, 단백질 및 핵산물질 함량이 계절적으로 변하는 것으로 알려져 있다(Oliveraw and Leloup, 1950; Pickford, 1953; Ito *et al.*, 1962). 또한 어류의 체조직내 RNA-DNA 비는 섭식률과 성장률에 민감하다고 보고되어 있으며(Haines, 1973; Buckley, 1979b), 단백질함량과 간중량지수(Hepatosomatic index, HSI)는 어류에서의 영양 상태와 기아 및 성 성숙 상태의 진단을 위해 유용하다(Buckley, 1979a, 1980; Bulow *et al.*, 1981; 정 등, 1991, 이 등, 1999).

어류 기아시 어체에 축적된 에너지의 사용은 성장감소로 직결되어, 무지개송어, *Oncorhynchus mykiss* 기아 실험시 체중과 조직 중량 조사 그리고 비만도 조사와 아울러 심장, 비장, 간, 장, 피부, 복강, 지방 및 내장피 제거 체중이 분석된 바 있다(Weatherley and Gill, 1981). 횡단 절단면에서의 여러 형질은 내장이 제거되지 않은 상태의 개체는 물론 내장이 제거된 상태, 횡단 절단된 조

각(Steak), 훈제된 상태로의 개체가 상품화시 소비 취향에 맞는 횡단 절단면에서의 크기와 형태는 판매시의 상품가치를 좌우한다는 견지에서 중요한 요소가 될 수 있다(Gjerde, 1989; Gjerde and Schaeffer, 1989; 박 등, 2002).

비록 어류 체형은 전적으로 유전적 요소에 의해 결정되지만(Riddell *et al.*, 1981; Taylor and McPhail, 1985), 체형 차이의 파악은 동일종 내에서의 환경적 변이까지도 알 수 있게 함으로서(Ihssen *et al.*, 1981; Currens *et al.*, 1989; Park *et al.*, 2001) 먹이 양과 질이 다른 환경에 서식하는 동일 종내의 계통 확인을 위해서 다양한 먹이 공급에 덜 영향을 받는 계측형질의 파악이 필요하다(Currens *et al.*, 1989). 역으로 계측형질 파악에 의해 다양한 먹이 공급 변화시의 영양 상태 분석도 가능하다. Truss dimension (Strauss and Bookstein, 1982)과 classical dimension (Hubbs and Lagler, 1947)은 어류 체형 파악에 사용되며, truss dimension은 기능적 단위나 외형 구분에 선택된 해부학적 표시들 간의 분류학적인 측정거리이다(Strauss and Bond, 1990).

Truss dimension은 체폭과 어류 길이의 측에 연관된 길이를 포함하며, 계군간의 구별시는 classical dimension에 비해 이론적으로 체형 분석에 우수하다(Humphries *et al.*, 1981; Strauss and Bookstein, 1982; Winans, 1984; Currens *et al.*, 1989). Currens *et al.* (1989)은 truss dimension과 classical dimension을 사용하여 절식시킨 chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*과 절식시킨 무지개송어의 체형 분석을 한 결과, 몸통 부위의 체폭이 가장 영향을 많이 받았고 꼬리 부분이 가장 적게 영향을 받았음을 보고하였다. 그러므로 어류에서 꼬리 부분에서의 측정은 몸통 부위에서의 측정에 비해 중간 변이를 이해하는데 더욱 유용하게 사용되고 있다.

혈액 또한 기아시 다양한 반응을 보여, 기아시 혈액 내 glucose의 농도에 대하여 Atlantic cod, *Gadus morhua* L., European eel, *Anguilla anguilla*, pick,

Esox lucius (Ince and Thorpe, 1976; Larsson and Lewander, 1973; Karma, 1996), toadfish, *Opsanus tau*, goldfish, *Carassius auratus*, 및 American eel, *Anguilla rostrata* (Tashima and Cahill, 1968; Chavin and Young, 1970; Moon, 1983)을 대상으로 그 효과가 연구된 바 있다. 또한 혈장내 유리지방산의 농도에 대하여 European eel, American eel (Larsson and Lewander, 1973; Moon, 1983), 무지개송어와 pick (Bilinski and Gardner, 1968; Ince and Thorpe, 1976), 및 toadfish (Tashima and Cahill, 1968)를 대상으로 기아시 변화 양상에 대하여 그 효과를 파악한 바 있다. 한편 무지개송어와 pick (Kawatsu, 1966; Ince and Thorpe, 1976)에 대하여 절식시 hematocrit의 값은 감소하였고, 이러한 감소는 어류의 새로운 적혈구세포의 생성에 대한 능력을 감소시킬 수 있음을 예견하였다(Love, 1970). 그러나 Larsson and Lewander (1973)은 European eel에서 hematocrit의 감소 현상이 나타나지 않는다고 보고하였다.

어류에서의 용존산소 소비효율은 섭취된 먹이를 소화시키고 이를 통해 체성분의 합성과 운동에너지를 발생시켜 어류의 대사량을 좌우하는 중요한 인 중의 하나로서, 어류의 수용밀도, 먹이 공급량 및 생산량 등을 결정하는 중요한 기준으로 작용하고 있다(Erez *et al.*, 1990; Itazawa and Hanyu, 1991; Dalla *et al.*, 1998).

넙치(Olive flounder), *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel)는 가자미목(Pleuronectiformes)의 넙치과(Paralichthyidae)에 속하며, 체형은 타원형으로 주로 저서생활을 하고 수심 10~20 m의 연안에 서식한다. 이들은 우리나라 전 연안, 쿠릴 열도, 일본 및 남중국해에 분포하는 해산어종으로서(최 등, 2002), 우리나라 해산어류 양식 산업을 주도하는 대표적인 양식 대상 어종이다. 우리나라에서의 넙치 양식은 1980년 후반에 최초로 인공 종묘생산 기술이 개발된 후(Min, 1988) 사육 환경 적절성, 양식 대상종으로서의 경제성 확보,

양식 기술의 확립, 보편화로 국내 넙치 양식 생산량은 최근 매년 증가되어 1996년에 8,861톤이 생산된 이래로 1997년에는 26,274톤(해양수산부, 2002)으로 그 생산량이 약 3배 가량 급격히 증가하였으며, 2003년에는 34,533톤(해양수산부, 2004)이 생산되었다.

본 연구는 현재 우리나라 양식 산업의 우위를 점하고 있는 넙치에서 그 상품성을 좌우할 수 있는 포식(Feeding) 및 기아(Starvation)에 따른 연구가 아직까지 전무함을 고려하여 넙치를 대상으로 12주간에 걸쳐 포식 및 기아 실험을 실시하였다. 우리나라에서의 넙치 양식시 여름철 냉수대 및 적조현상으로 인하여 직·간접적으로 사료 공급을 중단하게 되어 장·단기적인 기아가 나타나고 있으며, 이러한 기아 현상은 어류의 생리학적 변화, 생존율 및 성장 등과 같은 여러 생물학적 요인에 중요한 영향을 미치기 때문에 여러 가지 측면에서 연구가 진행되어야 할 것이다. 아울러 이러한 넙치 기아 관련 연구는 넙치의 영양 상태 파악을 가능케하여 넙치 상품가치를 판단할 수 있는 방편도 될 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 기아에 따른 내생적 영양의 소모에 기인한 *phenotypic trait*, 외부 계측형질 및 체 절단면 계측형질을 파악하여 결과된 자료로 넙치 기아 평가 기준을 제시하고자 하였다. 또한 어류 섭식률과 성장률에 매우 민감하게 반응을 보이는 생화학적 변화를 넙치 기아시 적용하여 넙치 영양 상태와 기아 진단의 기준을 마련하고자 하였다. 혈액은 *stress*에서 다양한 반응을 보임을 고려하여 넙치 기아시 혈액 성상을 조사하였으며, 어류 대사량을 결정하는 주요 요인의 하나인 용존산소 소비효율을 넙치의 사료공급과 절식에 따라 조사하였다. 궁극적으로 본 연구는 기아시 여러 가지 파악된 항목들을 넙치 양식 산업에서 발생할 수 있는 냉수대 및 적조로 인한 사료공급 중단으로 나타나는 기아현상에 대한 평가를 위한 기준을 제시·제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 실험어

본 실험에 사용된 넙치, *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel)는 2004년 4월에 넙치 종묘생산 양식장에서 생산된 개체들이었다. 2004년 8월에 한국해양대학교 수산육종학연구실 임해양식장으로 이들 넙치를 운반하여 순화 시킨 후 사육하였다. 포식 및 기아 실험은 2004년 10월에 시작하였으며, 실험 시작시 넙치의 평균 체장과 평균 체중을 *digital vernier caliper* (CD-20CP, Japan)와 전자저울(JW-1, Korea)을 사용하여, 0.01 cm 단위, 0.01 g 단위로 각각 측정하였다.

2. 실험군(포식군, 기아군) 설정 및 사육관리

반순환여과식의 각 1.1톤 용량의 FRP 원형수조(Φ 118 cm²×H 100 cm)에 넙치 45마리씩을 수용하여 포식군(Fed group)과 기아군(Starved group)을 각각 2반복으로 설정하였다. 본 실험 시작 2주 전부터 포식량의 70% 만을 매일 먹이 공급하였다. 실험 시작시 개체들을 각각 20마리를 표본하였다. 실험 기간중 수조 밖으로 넙치가 튀어 나오는 것을 방지하기 위하여 포식군과 기아군의 각 원형수조 상면을 2×2 cm 망목의 그물로 완전히 덮었다. 일주일에 한 번씩 전체 사육수의 2/3에 해당하는 사육수를 자연 해수로 환수하였으며, 실험 기간중의 사육수의 수질은 Table 1과 같이 유지하였다.

포식군의 먹이 공급에 사용된 사료의 조성은 Table 2와 같다. 포식군은 하루 3회 (9:00, 15:00 및 21:00) 반복시까지 사료를 공급하여 주었으며, 포식군의 먹이 공급 후 2시간 이내에 사육 수조 바닥에 가라앉은 넙치 배설물은 사이펀을 사용하여 제거하였다. 기아군은 절식시켰으며, 본 실험의 종료는 실험 시작후 기아군에서 절식으로 인하여 넙치의 활력이 급격히 저하되는 시기로 정하였다.

Table 1. Seawater quality during the experiment

Parameter	Range
T-N (mg/L)	1.9~4.1
TKN (mg/L)	1.0~1.2
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	0.9~1.1
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	0.9~2.9
T-P (mg/L)	0.02~0.78
PO ₄ ³⁻ -P (mg/L)	0.004~0.351
COD (mg/L)	2.0~11.1
Water temperature (°C)	19.4~22.4
Salinity (‰)	34.0~37.0
Dissolved oxygen (ppm)	5.7~8.0
pH	6.5~7.8

The values are monitored for 12 weeks. COD: Chemical oxygen demand; TKN: Total Kjehldahl nitrogen; T-N: Total nitrogen; T-P: Total phosphorus.

Table 2. Composition of the diet used in the experiment

	Content (%)
Crude protein	50.0
Crude fat	8.0
Crude fiber	4.0
Ash	15.0
Calcium	1.5
Phosphorus	1.7
Mineral	3.0

Purchased from E-wha Oil & Fat Ind. Co., Busan, Korea.

본 실험 시작 후부터 본 실험 종료시까지 성장 및 생존율, *phenotypic trait*, 간중량지수, 생화학적 변화 및 혈액 성상 조사를 위하여 실험 시작시부터 본 실험의 종료시까지 4주 간격으로 넙치 10마리씩을 무작위로 표본하였다. 외부 계측형질 조사, 체 절단면 계측형질 조사를 위해서는 실험 시작시와 실험 종료시의 포식균, 기아균에서 표본 하였으며, 산소 소비효율 측정은 실험 종료시에 포식균과 기아균을 대상으로 조사하였다. 매 표본시 포식균은 하루 전에 절식시켰으며 실험군 표본시 22℃ 수온 조건의 400 ppm 염산리도카인 /1,000 ppm NaHCO₃로 과도하게 마취시켜서 표본된 개체들을 죽였다.

3. 생존율 및 성장 조사

실험 기간 중의 생존율은 매일 죽은 개체를 파악하여 이로부터 누적 생존율로 역산하였다. 실험 시작시와 실험 종료시에 표본된 포식균과 기아균의 각 20마리의 넙치를 대상으로 성장 항목을 파악하였으며, 각 개체를 대상으로 전장과 체중을 *digital vernier caliper* 와 전자저울을 사용하여 0.01 cm 단위, 0.01 g 단위로 각각 측정하였다.

전장성장률(*Growth rate for total length: GRL*)과 체중성장률(*Growth rate for body weight: GRW*)은 전장성장률(%)=(실험 종료시 평균 전장-실험 시작시 평균 전장)×100/실험 시작시 평균 전장, 체중성장률(%)=(실험 종료시 평균 체중-실험 시작시 평균 체중)×100/실험 시작시 평균 체중의 공식을 사용하여 계산하였다. 일일성장률(*Specific growth rate, %*)은 일일성장률=(실험 종료시 총체중-실험 시작시 총체중)/사육일수, 비만도(*Condition factor*)는 비만도=체중×100/체장³ 으로 계산하였다. 포식균을 대상으로 사료섭식량(*Feed intake*)은 사료섭식량=소비된 사료의 건조중량/(사육 일수×수용 개체수)의 공식으로, 일일사료섭식률(*Specific feeding rate*)은 일일사료섭식률(%)=(사료공급량×100)/

{(실험 시작시 총체중+실험 종료시 총체중+폐사 개체 추정 총체중)/2} 공식으로, 그리고 사료전환효율(Feed conversion rate, %)은 사료전환효율=(일일성장률×100)/일일사료섭식률 공식으로 계산하였다.

4. Phenotypic trait 조사

실험 시작후 12주에 포식군과 기아군에서 표본된 각 10마리의 넙치를 대상으로 phenotypic trait 조사 항목을 파악하였다.

조사된 phenotypic trait 항목은 체장(Body length), 체중에 해당하는 내장피 포함 체중(Ungutted body weight), 비만도(Condition factor), 내장피 제거 체중(Gutted body weight), 내장피 무게(Viscera weight), 내장피지수(Viscera index) 및 dressing 비(Dressing percentage)이었다. Phenotypic trait 조사 항목들 중 체장과 길이 이외의 무게 관련 항목은 전자저울을 사용하여 0.01 g 단위까지 측정하였다. 내장피 포함 체중과 해부후 간, 복강지방 및 내장을 제거한 내장피 제거 체중을 측정하였으며 내장피 무게 또한 측정하였다. 내장피지수는 내장피지수=(내장피 무게/내장피 제거 체중)×100으로, dressing 비는 dressing 비=(내장피 제거 체중/체중)×100으로 계산하였다.

본 실험 종료후에 포식군과 기아군으로부터 대표적인 개체를 선별하여 유안측(Eyed side)의 가식부를 절개 분리한 후, 그 외형을 copy stand (Nikon Colpix 4500, Japan)를 사용하여 사진 촬영하였다. 또한 포식군과 기아군으로부터 대표적인 개체를 선별하여 복강을 해부하여 노출시킨 후, 그 외형을 copy stand를 사용하여 사진 촬영하였다.

5. 간중량지수 조사

실험 시작시부터 실험 종료시까지 4주 간격으로 포식군과 기아군에서 표본

된 각 10마리의 넙치를 대상으로 간중량지수 변화를 조사하였다. 체중과 해부 후 적출된 간의 무게를 전자저울을 사용하여 조사하였고 간중량지수를 계산하였다. 간중량지수는 $\text{간중량지수} = (\text{간 무게} / \text{체중}) \times 100$ 으로 하였다.

6. 외부 계측형질 조사

실험 시작시 및 본 실험 종료시의 포식군과 기아군을 각 20마리씩 표본하여 각 개체들을 대상으로 측정을 하였다. Fig. 1과 Table 3에 나타난 바와 같은 외부 계측형질은 *digital vernier caliper*를 사용하여 0.01 cm 단위로 측정하였다. 각 외부 계측형질은 전장에 대한 상대비로 나타내었다.

본 실험 시작시와 실험 종료시인 포식군, 기아군으로부터 대표적인 개체를 선별하여 각 개체의 외형을 *copy stand*를 사용하여 사진 촬영하였다.

7. 체 절단면 계측형질 조사

실험 시작시 및 실험 종료시의 포식군과 기아군을 각 20마리씩 표본하였다. Fig. 2에서와 같이 체장의 1/2 지점에서 수직으로 내린 선(A), 아가미 뚜껑 끝지점으로 부터 아가미 뚜껑 끝지점과 A선 사이 길이의 1/3 지점에서 수직으로 내린 선(O) 및 A선과 체장의 끝지점 사이 중간 부위(M)에서 각각 횡단 절단하였다.

각 횡단 절단면의 체 둘레 측정은 체장의 1/2 지점에서 수직으로 내린 선 횡단면(*Body circumference at a vertical line which intersect at right angle of the intermediate point of standard length: CIA*), 아가미 뚜껑 끝지점으로 부터 아가미 뚜껑 끝지점과 A선 사이 길이의 1/3되는 지점에서 수직으로 내린 선 횡단면(*Body circumference at one-third line between most posterior aspect of operculum and mediate point of standard length: CIO*) 및 A선과 체장의 끝지점 *mediate point of standard length and most posterior scale in lateral line: CIM*)에서 곡선계(*Curvimeter, Japan*)를 이용하여 각각 cm 단위로 측정하였다.

Fig. 1. Truss and classical dimensions of distances measured for the starvation experiment in olive flounder, *P. olivaceus*. Morphological landmarks are numbered and morphometric distances between landmarks are shown. (a) Truss dimension: 1, Origin of pelvic fin; 2, Origin of dorsal fin; 3, Anal fin base cross a vertical line which intersect at right angle of the intermediate point of standard length; 4, Dosal fin base cross a vertical line which intersect at right angle of the intermediate point of standard length; 5, Most posterior aspect of operculum. 6, Insertion of anal fin; 7, Insertion of dorsal fin; (b) Classical dimension: 1, Most anterior extension of the head; 2, Origin of dorsal fin; 3, Origin of pelvic fin; 4, Most posterior aspect of operculum; 5, Origin of pectoral fin; 6, Origin of anal fin; 7, Dorsal fin base cross a vertical line which intersect at right angle of the intermediate point of standard length; 8, Insertion of dorsal fin; 9, Most posterior scale in lateral line.

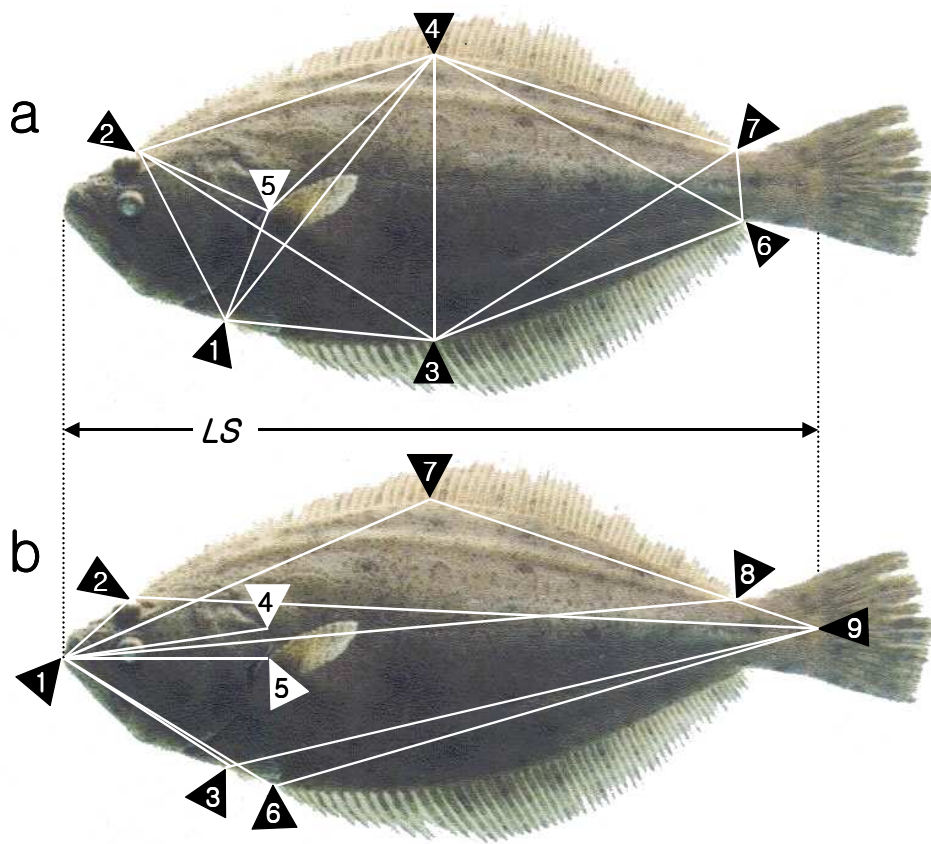


Table 3. Dimensions of body shape used in this study

Dimensions	
Truss dimension	
Origin of pelvic fin × Origin of dorsal fin	1×2
Origin of pelvic fin × Anal fin base cross a vertical line which intersect at right angle of the intermediate point of standard length	1×3
Origin of pelvic fin × Dosal fin base cross a vertical line which intersect at right angle of the intermediate point of standard length	1×4
Origin of pelvic fin × Most posterior aspect of operculum	1×5
Origin of dorsal fin × Anal fin base cross a vertical line which intersect at right angle of the intermediate point of standard length	2×3
Origin of dorsal fin × Dosal fin base cross a vertical line which intersect at right angle of the intermediate point of standard length	2×4
Origin of dorsal fin × Most posterior aspect of operculum	2×5
Anal fin base cross a vertical line which intersect at right angle of the intermediate point of standard length × Dosal fin base cross a vertical line which intersect at right angle of the intermediate point of standard length	3×4
Anal fin base cross a vertical line which intersect at right angle of the intermediate point of standard length × Insertion of anal fin	3×6
Anal fin base cross a vertical line which intersect at right angle of the intermediate point of standard length × Insertion of dorsal fin	3×7
Dosal fin base cross a vertical line which intersect at right angle of the intermediate point of standard length × Most posterior aspect of operculum	4×5
Dosal fin base cross a vertical line which intersect at right angle of the intermediate point of standard length × Insertion of anal fin	4×6
Dosal fin base cross a vertical line which intersect at right angle of the intermediate point of standard length × Insertion of dorsal fin	4×7
Insertion of anal fin × Insertion of dorsal fin	6×7

Table 3. Continued

Dimensions	
Classical dimension	
Most anterior extension of the head × Origin of dorsal fin	1×2
Most anterior extension of the head × Origin of pelvic fin	1×3
Most anterior extension of the head × Most posterior aspect of operculum	1×4
Most anterior extension of the head × Origin of pectoral fin	1×5
Most anterior extension of the head × Origin of anal fin	1×6
Most anterior extension of the head × Dorsal fin base cross a vertical line which intersect at right angle of the intermediate point of standard length	1×7
Most anterior extension of the head × Insertion of dorsal fin	1×8
Origin of dorsal fin × Most posterior scale in lateral line	2×9
Origin of pelvic fin × Most posterior scale in lateral line	3×9
Origin of anal fin × Most posterior scale in lateral line	6×9
Dorsal fin base cross a vertical line which intersect at right angle of the intermediate point of standard length × Most posterior scale in lateral line	7×9

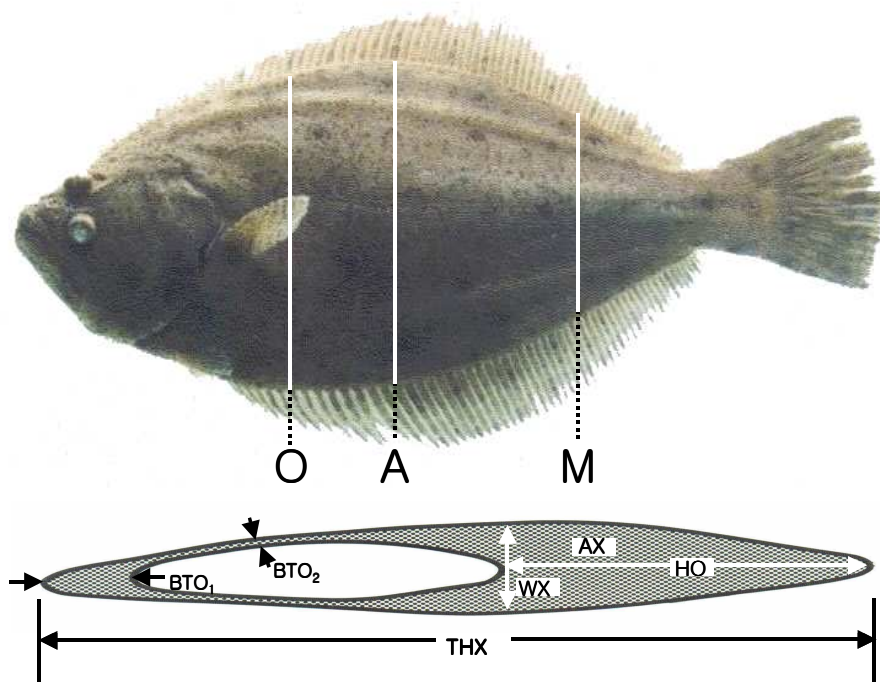


Fig. 2. Total height (THX), width (WX), area (AX), height (HO), and belly thickness (BTO₁ and BTO₂) measured in olive flounder, *P. olivaceus* on a cross section slice taken at the just one-third line between most posterior aspect of operculum and mediate point of standard length ($X=O$), a vertical line which intersects at right angle of the intermediate point of standard length ($X=A$) and midpoint line between mediate point of standard length and most posterior scale in lateral line ($X=M$).

각 횡단면 면적(*Area at one-third line between most posterior aspect of operculum and mediate point of standard length: AO, Area at a vertical line which intersect at right angle of the intermediate point of standard length: AA, Area at midpoint line between mediate point of standard length and most posterior scale in lateral line: AM*)은 방안법을 이용하여 cm^2 단위로 각각 측정하였다.

각 횡단면의 전체 높이(*Total height at one-third line between most posterior aspect of operculum and mediate point of standard length: THO, Total height at a vertical line which intersect at right angle of the intermediate point of standard length: THA, Total height at midpoint line between mediate point of standard length and most posterior scale in lateral line: THM*), 폭(*Width at one-third line between most posterior aspect of operculum and mediate point of standard length: WO, Width at a vertical line which intersect at right angle of the intermediate point of standard length: WA, Width at midpoint line between mediate point of standard length and most posterior scale in lateral line: WM*)을 cm 단위로 각각 측정하였다.

1/3 지점에서 수직으로 내린 선에서의 횡단면의 높이(*Height at one-third line between most posterior aspect of operculum and mediate point of standard length: HO*)를 cm 단위로 측정하였다. 복강 두께(*Belly thickness 1 at one-third line between most posterior aspect of operculum and mediate point of standard length: BTO 1, Belly thickness 2 at one-third line between most posterior aspect of operculum and mediate point of standard length: BTO 2*)를 cm 단위로 측정하였다(Fig. 1). 평균 복강 두께(*Average belly thickness:*

ABT)는 cm 단위로 $(BTO\ 1+BTO\ 2)/2$ 의 식을 사용하여 계산하였다. 체형 (Body shape: BS) 측정시 체형 1(Body shape 1: BS 1)은 $(CIA/BL)\times 100$ 으로, 체형 2(Body shape 2: BS 2)는 $(THA/BL)\times 100$ 으로, 체형 3(Body shape 3: BS 3)은 $(WA/BL)\times 100$ 으로 계산하였다.

아울러 각 횡단면의 횡단형(Section shape: SS) 측정도 백분율로 계산하였다. 즉, 횡단형 1-1(Section shape 1-1: SS 1-1)은 $(WO/THO)\times 100$, 횡단형 1-2(Section shape 1-2: SS 1-2)는 $(WA/TA)\times 100$, 횡단형 2-1(Section shape 2-1: SS 2-1)은 $(HO/WO)\times 100$ 으로, 횡단형 3-1(Section shape 3-1: SS 3-1)은 $(ABT/WO)\times 100$ 으로, 횡단형 3-2(Section shape 3-2: SS 3-2)는 $(BTO\ 1/WO)\times 100$ 으로, 횡단형 3-3(Section shape 3-3: SS 3-3)은 $(BTO\ 2/WO)\times 100$ 으로, 횡단형 4-1(Section shape 4-1: SS 4-1)은 $[0.5(\pi\times HO\times 0.5\cdot WO)/AO]\times 100$ 으로 계산하였다.

각 값에 대하여 실험 시작시에 대한 포식군(Ratio 1: fed/initial)과 기아군(Ratio 2: starved/initial)의 비와 포식군에 대한 기아군의 비(Ratio 3: fed/starved)를 구하여 비교하였다.

본 실험 시작시 그리고 종료시의 포식군, 기아군으로부터 대표적인 개체를 선별하여 각 개체의 BTO, BTA 및 BTM에서의 복강 두께 외형을 copy stand를 사용하여 사진 촬영하였다.

8. 생화학적 조사

실험 시작시부터 실험 종료시까지 4주 간격으로 표본된 포식군과 기아군 각각 10마리의 넵치를 대상으로 간 단백질 정량 분석 및 핵산(DNA, RNA)의 정량 분석을 실시하였다. 단백질량을 측정하기 위하여 각 개체의 간조직을 약 50 mg씩 취해 0.9% 생리식염액을 40배 가해 homogenizer로 균질화 한 후 3,000 ×g에서 10분간 원심분리하였다. 상층액 100 μl를 취해 Lowery et al. (1951)과

Ohnishi and Barr (1978)의 방법에 따라 Sigma kit (Product code TPO 200, USA)를 사용하여 분석하였다. 최종 생성물의 흡광도는 700 nm에서 측정하였다.

RNA-DNA 비에 대해서는 Schmidt-Thannhauser-Schneider 방법(Schneider, 1957)에 따라 측정하였다. 각 개체의 간조직을 약 200 mg씩 취해 5%의 perchloric acid 40배 용량에 균질화하여 3,000 ×g에서 10분간 원심분리하였다. 상층액을 버리고 침전물에 ethanol-ether (1:1) 용액을 5 mL를 넣은 다음 50°C에서 10분간 가열한 후 원심분리하여 지질을 제거하였다. 침전물에 5 mL의 0.3 M KOH를 가해 용해하고 37°C에서 18시간 가열하였다. 동량의 0.3 M-HCl로 중화하고 60% perchloric acid 0.5 mL를 가하였다. 3,000 ×g에서 10분간 원심분리하여 상층액을 RNA 분석용으로, 침전에는 5% perchloric acid 5 mL를 가해 100°C에서 15분간 가열하고 원심분리(3,000 ×g, 10분) 후 상층액을 DNA 측정용으로 사용하였다. RNA, DNA 모두 흡광도는 260 nm에서 측정하였으며, 측정용액 중의 RNA 또는 DNA의 양은 흡광도 변화 0.04286 단위 당 1 µg/mL로 설정하여 계산하였다.

9. 혈액 성상 조사

실험 시작시부터 실험 종료시인 실험후 12주까지 4주 간격으로 포식균과 기아균에서 표본된 각 10마리의 넙치를 대상으로 혈액 성상 분석을 실시하였다.

혈액은 20 IU/mL heparin sodium (Sterile Solution HEPARIN Inj., Choongwae Pharma Corporation, Korea) 처리한 플라스틱 주사기(3 mL-23 G, Dong Shin Medical Instruments Co., Korea)를 사용하여 마취 없이 1분 이내에 미병부의 혈관에서 채혈하였다. 개체별로 채취한 혈액은 1.5 mL microtube (MCT-175-C, Axygen Scientific Inc., USA)에 분주하였다. 이중 혈액 성상 분석용 시료는 즉시 혈액분석기로 분석하였으며, 혈장 분석용 시료는 5,600 g로 5분 동안

원심분리(MF 550 Hanil centrifuge, Hanil Co., Korea)에 의해 혈장을 추출하여 -70°C의 냉동고(CLN-500 UW Nihon Freezer, Nihon Co., Japan)에 보관하였다.

혈액 분석에 있어서 *hematocrit (Ht)*, *red blood cell (RBC)*, *hemoglobin (Hb)*과 같은 혈액 성분은 자동혈액분석기(Excell 500, USA)로 측정하였다. 이 결과를 토대로 평균 적혈구 용적(*Mean corpuscular volume: MCV*), 평균 적혈구 혈색소량(*Mean corpuscular hemoglobin: MCH*) 및 평균 적혈구 혈색소 농도(*Mean corpuscular hemoglobin concentration*)를 구하였다. 계산식은 $MCV=Ht \times 10 / RBC$, $MCH=Hb \times 10 / RBC$ 및 $MCHC=Hb \times 100 / Ht$ 와 같다.

혈장 *cortisol* 농도는 Donaldson (1981)의 방법에 따라 Coat-A-Count TKCO Cortisol RIA Kit (DPC, USA)로 항원·항체 반응을 유도한 다음, 1470 WIZARD Automatic Gamma Counter (Cobra II, Packard Co., USA)를 사용하여 *radioimmunoassay (RIA)*에 의해 측정하였다. *glucose*, Na^+ , Cl^- 및 K^+ AST 및 ALT 농도는 Chemistry System (Hitachi 7180, Hitachi, Japan)에 의해 분석하였다. 혈장의 삼투질은 Na^+ 염의 함유량에 따라 동결점이 다른 것을 응용하여, *Micro osmometer (Fiske 210, Fiske, USA)*로 측정하였다.

10. 산소 소비효율 및 호흡수 측정

본 실험 종료시의 포식군과 기아군에서의 산소 소비효율을 측정하기 위하여 반순환여과식 수조에 사육하던 넙치들을 산소 소비 측정장치(Oxyguard, Aller-aqua, Denmark) 내의 호흡실로 신속히 옮겨, 10분 간격으로 산소 소비량을 측정하였다. 본 실험은 2반복으로 실시하였다. 이때 실험의 진행은 포식군 20 g/L, 기아군 18.8 g/L의 밀도로 산소 소비 측정장치에 넣어 지속적으로 산소 소비량의 변화를 모니터링 하였으며, 수온은 수온조절장치(*Circulating water bath, Johnsam, Korea*)를 사용하여 조절하였다.

호흡실의 처음 수온은 22℃였고, 호흡실로 옮겨진 실험어는 24시간 동안 수온 적응 시간을 준 후 22℃에서 48시간동안 산소 소비량을 측정하였고, 48시간 측정이 끝난 후 1시간 간격으로 수온을 1℃씩 30℃까지 상승 시켜 산소 소비량을 측정하였다. 실험기간 동안 광주기는 L : D cycle을 12시간(명기 : 09:00~21:00, 암기 : 21:00~09:00)으로 조절하였으며, 암기에는 차광막을 이용하여 빛을 완전히 차단하였다. 실험기간 동안 호흡실로 공급되는 물의 양은 560±10 mL/min로 일정하게 유지하였으며, 실험기간 동안 절식시켰다.

산소 소비 측정장치에서 10분 간격으로 측정되는 유입수와 유출수의 용존 산소량은 자동으로 컴퓨터에 저장되었으며, 저장된 값을 이용하여 넵치의 비체중 산소 소비량[단위 체중당 산소 소비량(VO_2 mg/kg/h= $\{(C_i-C_o) \times F \times 60\} / W$, C_i =유입수의 용존 산소량(mg/L), C_o =유출수의 용존 산소량(mg/L), F =유량(L/min), W =어체 총 습중량(kg)]을 계산하였다. 호흡수는 6시간 마다 1분간 아가미 호흡횟수를 육안으로 3회 측정한 후 평균을 구하였다.

11. 통계처리

각 실험에서 얻어진 자료 값 사이의 유의차 유무는 SPSS-통계 패키지(SPSS 9.0, SPSS Inc., USA)에 의한 ANOVA 및 *Duncan's multiple range test* (Duncan, 1955)로 검정하였다.

Ⅲ. 결 과

본 실험 시작시 넙치, *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel) 실험 시작시의 평균 체장과 체중은 22.9 ± 0.88 cm, 100.7 ± 11.67 g이었으며, 본 실험 시작 후 12주에 기아군의 활력이 급격히 저하되어 본 실험을 종료하였다.

1. 생존율 및 성장

기아 실험 12주 동안의 포식군과 기아군의 생존율은 Fig. 3과 같다. 포식군의 경우 실험 후 2주~4주 사이에 93.8%로 생존율이 떨어지는 경향은 있었으나 이러한 생존율은 실험 종료시까지 거의 변화가 없어, 본 실험 종료시인 12주에서는 90.0%의 생존율을 보였다. 반면 기아군의 경우 실험 후 6주까지는 97.5%의 생존율을 유지하였으나 이후 본 실험 종료시인 12주까지 점진적인 감소를 보여 실험 후 12주에서는 77.5%의 생존율을 보였다.

포식군과 기아군을 대상으로 12주간의 성장 관련 항목 조사 결과는 Table 4와 같다. 포식군의 실험 종료시 평균 전장은 31.2 cm로 실험 시작시의 평균 전장 22.9 cm에 비해 크기 증가를 보인 반면, 기아군의 실험 종료시 평균 전장은 21.1 cm로 실험 시작시의 평균 전장에 비하여 다소 낮게 나타났다. 본 실험 종료시의 평균 전장은 포식군이 기아군에 비해 크게 나타났다($P < 0.05$). 포식군의 실험 종료시 평균 체중은 312.2 g으로 실험 시작시의 평균 체중 100.7 g에 비해 크기 증가를 보인 반면, 기아군의 실험 종료시 평균 체중은 56.4 g으로 실험 시작시의 평균 체중에 비해 낮은 체중 감소를 보였다. 기아군의 기아에 따른 전장 감소 7.9%(-3.9%의 전장 감소율)에 비해 체중 감소는 44.0%(-19.5%의 체중 감소율)로 기아시 전장 감소에 비해 체중 감소가 현저함을 알 수 있었다.

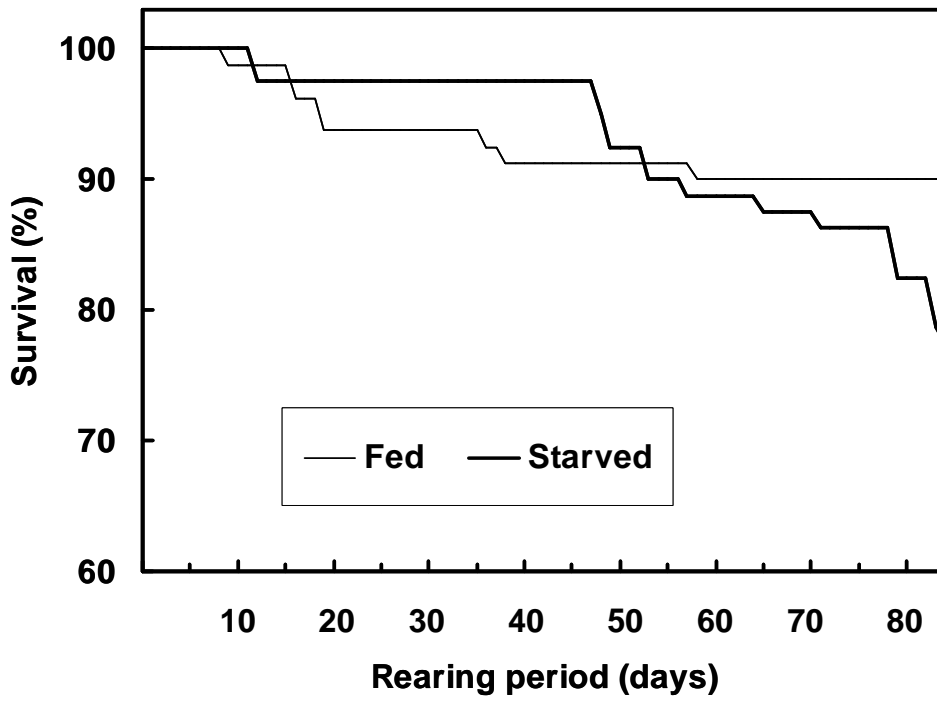


Fig. 3. Mean survival of duplicated experiment of olive flounder, *P. olivaceus* fed and starved during the experiment.

Table 4. Performance of olive flounder, *P. olivaceus* fed and starved for 12 weeks

	Fed group	Starved group
TL (cm)	31.2±1.94 ^a	21.1±1.70 ^b
BW (g)	312.2±62.49 ^a	56.4±16.64 ^b
GRL (%)	11.0±4.30 ^a	-3.9±4.11 ^b
GRW (%)	46.9±21.56 ^a	-19.5±15.56 ^b
Specific growth rate (%)	2.5±0.90 ^a	-0.4±0.47 ^b
Condition factor	1.0±0.01 ^a	0.6±0.01 ^b
Feed intake	2.3±0.22	-
Specific feeding rate (%)	33.3±10.01	-
Feed conversion rate (%)	8.4±3.70	-

The values are means±SD ($n=20$) of duplicated groups. Total length and body weight of the initial fish were 22.9±0.88 cm, 100.7±11.67 g respectively. Means in rows with a same superscript letter are not significantly different ($P>0.05$). TL: total length, BW: body weight, GRL (growth rate for total length) (%): (final mean total length-initial mean total length)×100/initial mean total length, GRW (growth rate for body weight) (%): (final mean body weight-initial mean body weight)×100/initial mean body weight, Specific growth rate (%): (final mean body weight-initial mean body weight)/rearing day, Condition factor: body weight×100/(total length)³, Feed intake: dry feed intake/(rearing day×number of fish), Specific feeding rate (%): dry feed intake×100/((initial total weight+final total weight+death total weight)/2), Feed conversion rate (%): specific growth rate×100/specific feeding rate.

포식에 따른 포식군의 전장성장률은 11.0%, 체중성장률은 46.9%로 기아시 감소 경향과 마찬가지로 체중에서의 증가가 전장에서의 증가보다 크게 나타났다. 포식군은 기아군에 비해 높은 전장성장률과 체중성장률을 보였다($P < 0.05$). 기아군의 체중성장률에서의 감소는 일일성장률 감소로 연관되어 나타나 기아군의 일일성장률은 -0.4%로 나타났다. 반면 포식군의 일일성장률은 2.5%로 기아군에 비해 크게 나타났다($P < 0.05$). 포식군의 비만도는 1.0으로서 기아군의 비만도 0.6에 비해 유의하게 컸다($P < 0.05$). 포식군의 사료섭식량, 일일사료섭식량 및 사료전환효율은 각각 2.3%, 33.3% 및 8.4%로 나타났다.

2. Phenotypic trait

기아 실험 시작시 그리고 실험 종료시인 실험 후 12주의 포식군과 기아군의 phenotypic trait 측정 결과는 Table 5와 같다. 평균 전장에서 포식군은 실험 시작시에 비해 1.36배 그리고 포식군은 기아군의 1.47배 증가를 하였고 평균 체중에서 포식군은 실험 시작시에 비해 3.07배 그리고 포식군은 기아군의 5.53배 증가를 하였다. 비만도는 포식군이 1.0, 실험 시작시는 0.8 그리고 기아군이 0.6로 서로간 유의한 차이를 보여($P < 0.05$) 포식군은 실험 시작시에 비해 1.20배, 기아군은 실험 시작시에 비해 0.72배 그리고 포식군은 기아군에 비해 1.66배의 비만도를 나타내었다.

내장피 제거 체중에서도 실험 시작시를 비롯하여 포식군, 기아군은 모두 유의한 차이를 보였으며, 포식군의 경우 높은 수치인 297.1 g의 내장피 제거 체중을 보였다($P < 0.05$) (기아군에 대비한 포식군의 내장피 제거 체중 비는 5.61배). 내장피 무게에서 포식군은 실험 시작시보다 증가하였고 기아군은 실험 시작시보다 감소하였으나(기아군에 대비한 포식군의 내장피 무게는 4.67배) 내장피지수에서는 포식군과 기아군이 유사하였고 실험 시작시와 유의적인 차이를 보였으며, dressing 비에서는 시험 시작시를 비롯하여 포식군과 기아군에서 유의적인 차이를 보이지 않았다($P < 0.05$).

Table 5. Phenotypic traits of olive flounder, *P. olivaceus* initial, fed and starved for 12 weeks

Trait	Initial group	Fed group	Starved group	Ratio 1	Ratio 2	Ratio 3
C F	0.8±0.05 ^b	1.0±0.01 ^a	0.6±0.01 ^c	1.20	0.72	1.66
GW (g)	98.2±16.05 ^b	297.1±51.84 ^a	52.9±15.27 ^c	3.02	0.53	5.61
VW (g)	9.5±1.52 ^b	17.1±3.81 ^a	3.7±2.74 ^c	1.81	0.38	4.67
V I (%)	9.8±2.10 ^b	5.8±1.16 ^a	7.8±6.48 ^a	0.59	0.79	0.75
D P (%)	91.1±1.75 ^a	94.5±1.04 ^a	93.0±5.21 ^a	1.03	1.02	1.02

The value are means±SD ($n=10$) of duplicated groups. Means in rows with a same superscript letter are not significantly different ($P>0.05$). Abbreviation, CF: condition factor=ungutted body weight×100/body length³; GW: gutted body weight; VW: viscera weight; VI: viscera index=(viscera weight/gutted body weight)×100; DP: dressing percentage=(gutted body weight/ungutted body weight)×100; Ratio 1: fed group/initial group; Ratio 2: starved group/initial group; and Ratio 3: fed group/starved group.

이와같은 포식균과 기아균에서의 *phenotypic trait* 특성은 Fig. 4와 같은 유안측 가식부 형태에서도 그 경향이 잘 반영되어, 기아균에 비해 포식균은 상대적으로 넓은 가식부를 나타내었으며 특히 포식균은 기아균에 비해 등지느러미와 측선 사이의 육질부가 두껍게 나타났다.

3. 간중량지수

12주간의 실험 기간중 간중량지수 변화 결과는 Table 6과 같다. 실험 시작시 포식균과 기아균의 간중량지수는 1.1로 동일하였다. 포식균인 경우 이러한 간중량지수는 실험 후 8주까지는 2.1로 증가하였으며 실험 종료시인 실험 후 12주에도 유사한 간중량지수인 2.1를 보였다. 반면 기아균인 경우 실험 후 4주부터 실험 후 8주까지는 0.6의 낮은 간중량지수를 보였으며, 이러한 간중량지수는 실험 종료시인 실험 후 12주에는 0.4로 더욱 낮아졌다. 실험 후 4주부터 실험 후 12주까지 포식균은 기아균에 비해 높은 간중량지수를 보였다($P < 0.05$).

실험 종료시기인 실험 후 12주에 포식균과 기아균의 표본을 대상으로 각각의 복부를 절개하여 내부 장기를 육안으로 관찰한 결과, 포식균의 간은 그 크기가 커져 복부 장의 절반을 덮고 있었으며 간의 색깔은 황갈색으로 나타났다. 또한 간 주변은 복강지방이 현저히 축적되었고 지방 축적으로 인한 간은 지방간화 병변을 보였다(Fig. 5a). 반면 기아균의 간은 정상적인 선홍색이었으며 간의 크기는 현저하게 줄어들어 그 크기가 아주 작아진데 반해, 담낭의 크기는 진한 초록색으로 크기가 크게 증가하였다(Fig. 5b).

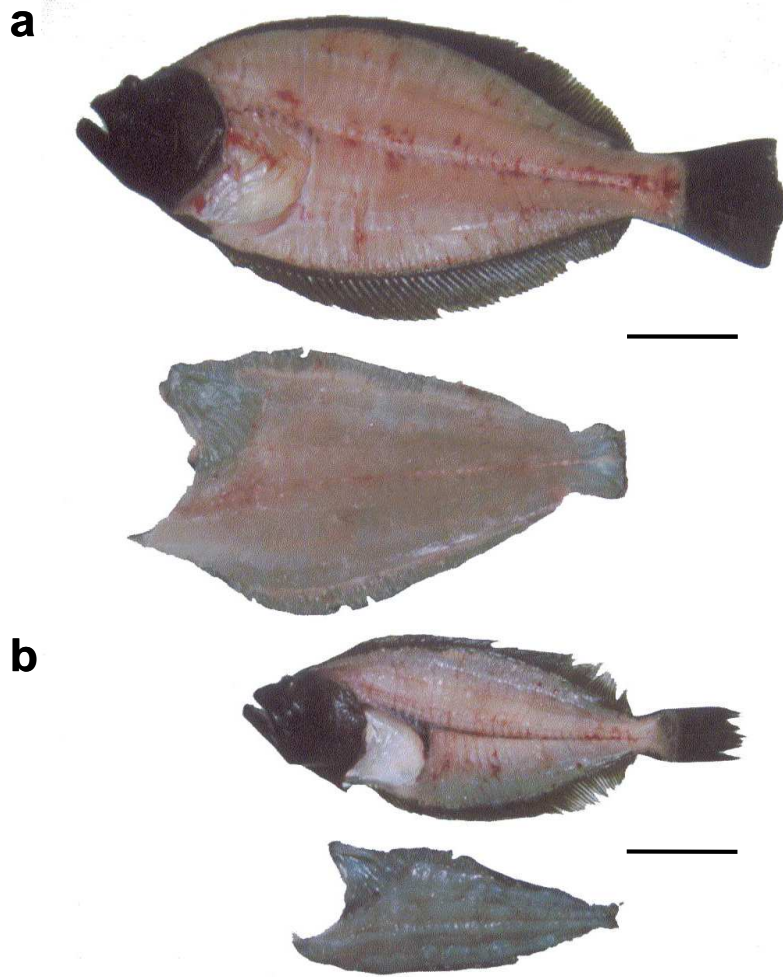


Fig. 4. Typical external morphology of dressed body of olive flounder, *P. olivaceus* (a) fed and (b) starved for 12 weeks. Bars are 4 cm.

Table 6. The change of hepatosomatic index (HSI) of olive flounder, *P. olivaceus* fed and starved for 12 weeks

	Rearing period (weeks)			
	0	4	8	12
HSI				
Fed group	1.1±0.27 ^a	1.9±0.52 ^a	2.1±0.35 ^a	2.1±0.29 ^a
Starved group	1.1±0.27 ^a	0.6±0.08 ^b	0.6±0.28 ^b	0.4±0.15 ^b

The value are means±SD ($n=10$) of duplicated groups. Means in columns with a same superscript letter are not significantly different ($P > 0.05$).

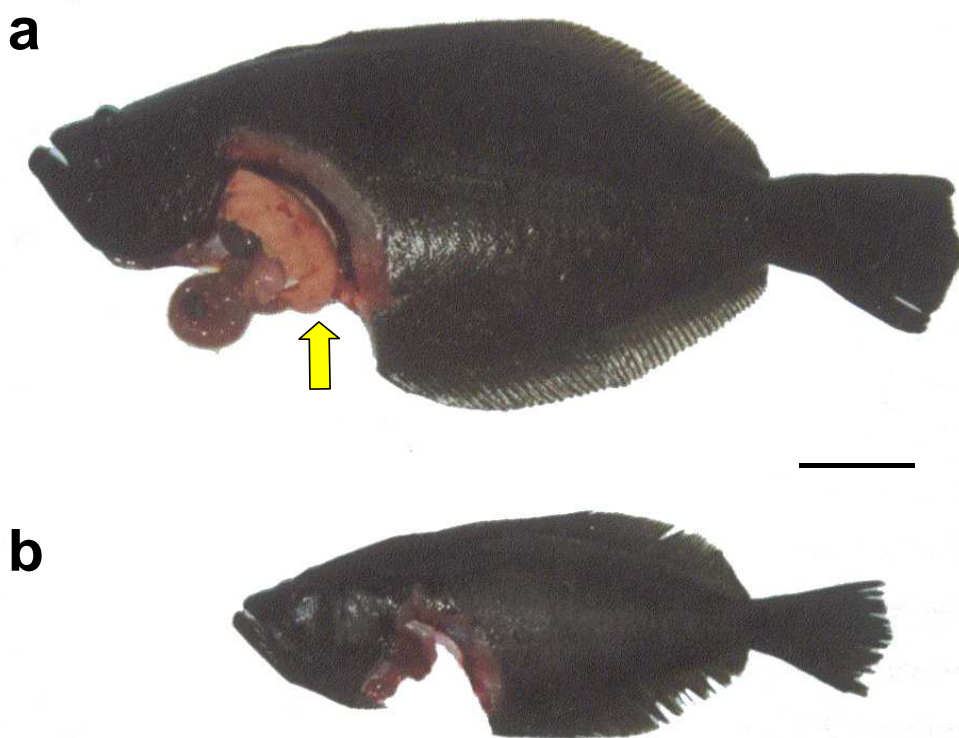


Fig. 5. External and internal morphology of olive flounder, *P. olivaceus*, (a) fed and (b) starved for 12 weeks. Note the enlarged liver of fed group (arrowed). Bar is 4 cm.

4. 외부 계측형질

포식 및 기아가 외부 계측형질의 *truss dimension*에 미치는 영향은 Table 7과 같다. *truss dimension*의 포식군인 경우, 1×2, 1×3 및 4×5의 계측 항목에서 실험 시작시와는 유의한 차이가 없었다($P < 0.05$). *Truss dimension*의 포식군인 경우, 실험 시작시에 유의한 증가를 보인 계측 항목은 1×4, 1×5, 2×3, 2×4, 3×4, 3×6, 3×7, 4×6, 4×7 및 6×7 이었다($P < 0.05$). *Truss dimension*의 포식군인 경우 2×5의 계측항목은 실험 시작시에 비해 낮았다.

*Truss dimension*의 기아군인 경우, 1×2, 1×3, 1×4, 2×3, 2×4, 2×5, 3×6 및 3×7의 계측 항목에서 실험 시작시와 유의한 차이는 없었다($P < 0.05$). *Truss dimension*의 기아군인 경우, 실험 시작시에 비해 유의한 증가를 보인 계측 항목은 1×5, 4×6 그리고 4×7 이었으며, 실험 시작시에 비해 유의한 감소를 보인 계측 항목은 3×4와 4×5 그리고 6×7이었다($P < 0.05$). *Truss dimension*에서 포식과 기아시 1×5, 4×6 및 4×7의 계측 항목인 경우 실험 시작시에 비해 공통적으로 증가 하였으며 3×4와 6×7의 계측 항목에서는 실험 시작시에 비해 포식군은 증가한 반면 기아군은 감소하였다.

포식 및 기아가 외부 계측형질의 *classical dimension*에 미치는 영향은 Table 8과 같다. *Classical dimension*의 포식인 경우 1×6, 1×8, 3×9 그리고 7×9의 계측 항목에서 실험 시작시와 유의한 차이가 없었다($P < 0.05$). *Truss dimension*의 포식군인 경우 실험 시작시에 비해 유의한 증가를 보인 계측 항목은 2×9 이었으며, 1×2, 1×3, 1×4, 1×5 및 1×7의 계측 항목은 실험 시작시에 비해 유의한 감소를 보였다.

*Classical dimension*의 기아군인 경우 1×2, 1×4, 1×6, 1×7, 1×8, 2×9 및 7×9의 계측 항목에서 실험 시작시와는 유의한 차이가 없었다($P < 0.05$).

Table 7. Truss dimension of olive flounder, *P. olivaceus* initial, fed and starved for 12 weeks

Dimension	Initial group	Fed group	Starved group
1×2	24.1±0.77 ^a	23.7±1.40 ^a	24.3±0.63 ^a
1×3	29.2±1.22 ^a	30.0±2.87 ^a	29.2±2.91 ^a
1×4	44.9±0.81 ^a	47.2±2.09 ^b	44.1±2.24 ^a
1×5	15.2±0.57 ^a	16.2±1.06 ^b	16.6±1.73 ^b
2×3	48.4±0.78 ^a	49.6±1.86 ^b	47.7±1.89 ^a
2×4	44.5±1.12 ^a	46.2±1.36 ^b	44.6±2.12 ^a
2×5	21.4±0.83 ^a	20.6±0.84 ^b	21.8±0.93 ^a
3×4	37.5±1.29 ^b	39.4±4.21 ^a	35.7±0.93 ^c
3×6	41.0±1.15 ^a	43.0±1.95 ^b	41.6±2.21 ^a
3×7	44.8±1.08 ^a	47.1±2.08 ^b	44.4±2.36 ^a
4×5	30.9±0.66 ^a	31.6±2.68 ^a	28.8±1.52 ^b
4×6	44.7±1.25 ^a	46.6±2.98 ^b	45.9±2.39 ^{ab}
4×7	40.3±1.25 ^a	41.2±1.70 ^{ab}	41.8±2.52 ^b
6×7	9.1±0.40 ^b	10.7±0.73 ^a	8.6±0.48 ^c

The value are means±SD ($n=20$) of duplicated groups. Means in rows with a same superscript letter are not significantly different ($P > 0.05$).

Table 8. Classical dimension of olive flounder, *P. olivaceus* initial, fed and starved for 12 weeks

Dimension	Initial group	Fed group	Starved group
1×2	10.6±0.60 ^a	9.5±0.81 ^b	11.3±1.56 ^a
1×3	24.3±0.72 ^b	23.4±0.87 ^c	25.1±1.11 ^a
1×4	27.6±0.95 ^a	26.3±0.75 ^b	28.2±1.03 ^a
1×5	27.5±0.82 ^b	25.8±0.62 ^c	28.5±1.03 ^a
1×6	29.7±0.77 ^a	29.4±1.01 ^a	29.4±2.02 ^a
1×7	53.9±0.88 ^a	54.9±1.12 ^b	53.9±1.87 ^{ab}
1×8	87.8±1.29 ^a	88.8±1.46 ^a	87.6±7.07 ^a
2×9	92.7±1.43 ^{ab}	93.2±0.98 ^b	92.0±0.85 ^a
3×9	81.3±1.13 ^a	82.4±1.05 ^a	79.4±4.26 ^b
6×9	76.3±1.46 ^{ab}	76.9±1.43 ^a	75.4±1.19 ^b
7×9	53.9±1.30 ^a	53.4±1.26 ^a	52.6±4.49 ^a

The values are means±SD ($n=20$) of duplicated groups. Means in rows with a same superscript letter are not significantly different ($P>0.05$).

*Classical dimension*의 기아균인 경우 1×3과 1×5의 계측 항목은 실험 시작시와 비교시 유의한 증가를 보였으며 3×9와 6×9의 계측 항목은 유의한 감소를 보였다($P<0.05$). 1×5의 계측 항목에서는 역으로 실험 시작시에 비해 포식균이 감소한 반면 기아균은 증가하였다.

Fig. 6은 실험 종료시인 실험 후 12주에서의 실험 시작시, 기아균 및 포식균의 외형으로서, Fig. 6에 나타난 바와 같이 포식균은 실험 시작시에 비해 *truss dimension*의 3×4와 6×7 항목에서의 증가, 즉 체폭의 증가와 아울러 *classical dimension*에서 1×3과 3×9 항목의 증가, 즉 체측 하반부에서의 길이 성장이 현저하였다.

5. 체 절단면 계측형질

기아 실험 시작시 그리고 실험 종료시인 실험 후 12주의 포식균과 기아균의 각 체 절단면 계측형질 조사 결과는 Table 9와 같다. Table 9와 같이 포식균은 실험 시작시에 비해 평균 체장이 1.72배 증가 하였고 포식균은 기아균에 비해 1.53배 증가하였다($P<0.05$). 각 체 절단면에서의 체둘레는 포식균, 기아균이 실험 시작시 보다 컸다($P<0.05$). CIO, CIA 및 CIM에서 포식균은 실험 시작시에 비해 각 1.88배, 1.93배, 2.10배 컸으며 포식균은 기아균에 비해 각각 1.71배, 1.76배, 1.77배 컸다.

각 체 절단면 면적에서 AO인 경우 실험 시작시와 포식균은 유사하였으며($P<0.05$), 이들은 기아균에 비해 높은 비의 증가를 보였고 특히 기아균에 대비한 포식균의 비는 4.33배로 컸다. AA인 경우 실험 시작시가 포식균보다 컸으며, AM인 경우 포식균이 실험 시작시보다 컸으나, AA와 AM에서 실험 시작시와 포식균은 AO에서의 경향과 마찬가지로 기아균에 비해 컸다($P<0.05$). 기아균에 대비한 포식균의 비는 AA인 경우는 4.76배, AM인 경우는 4.77배로 컸다.

각 체 절단면의 전체 높이에서 THO와 THA인 경우 그 크기순은 포식균, 기아균, 실험 시작시 순이었다($P<0.05$).

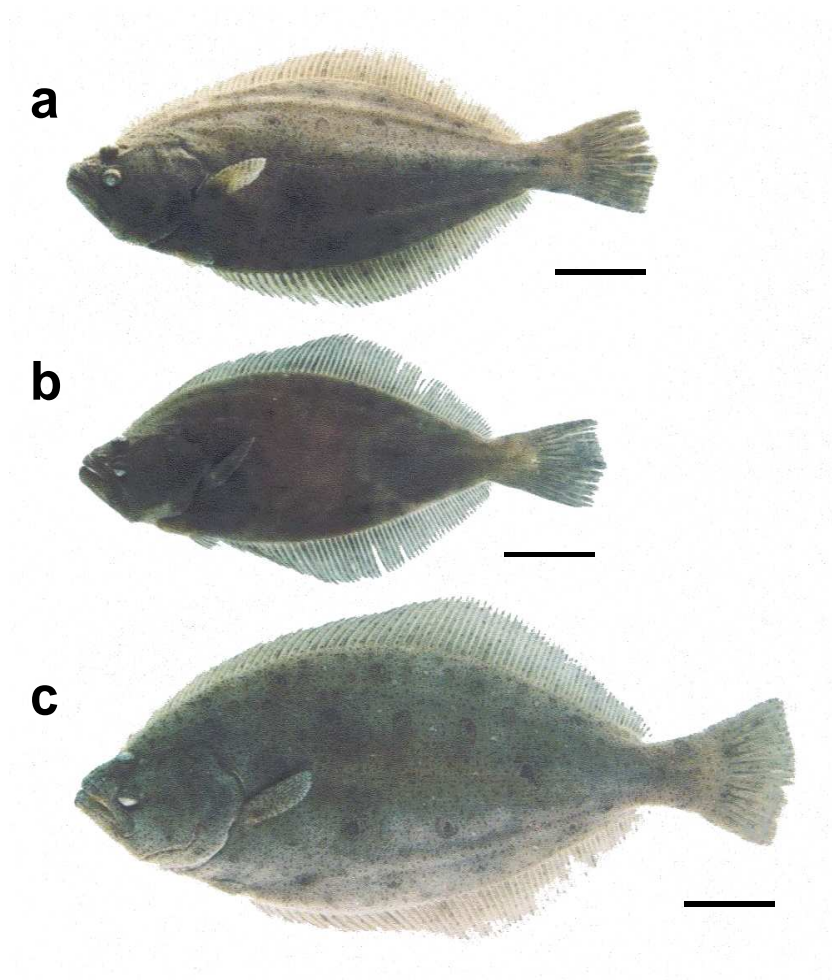


Fig. 6. External morphology of olive flounder, *P. olivaceus*, (a) initial, and the end of the (b) starved and (c) fed for 12 weeks. Bars are 4 cm.

Table 9. Phenotypic traits of olive flounder, *P. olivaceus* initial, fed and starved for 12 weeks

Dimension	Initial group	Fed group	Starved group	Ratio 1	Ratio 2	Ratio 3
BL (cm)	16.6±0.45 ^c	28.7±0.99 ^a	18.7±0.95 ^b	1.72	1.12	1.53
CIO (cm)	12.8±0.26 ^c	24.1±0.81 ^a	14.1±0.84 ^b	1.88	1.10	1.71
CIA (cm)	12.9±0.24 ^c	24.8±0.71 ^a	14.1±0.84 ^b	1.93	1.10	1.76
CIM (cm)	7.3±0.68 ^c	15.2±0.62 ^a	8.6±0.52 ^b	2.10	1.18	1.77
AO (cm ²)	4.3±0.43 ^b	4.0±0.30 ^b	0.9±0.12 ^a	0.93	0.22	4.33
AA (cm ²)	5.5±0.24 ^a	5.0±0.43 ^b	1.1±0.14 ^c	0.91	0.19	4.76
AM (cm ²)	1.9±0.27 ^b	2.2±0.26 ^a	0.5±0.08 ^c	1.12	0.23	4.77
THO (cm)	6.3±0.17 ^c	11.3±0.39 ^a	6.8±0.40 ^b	1.79	1.08	1.65
THA (cm)	6.5±0.16 ^c	11.6±0.32 ^a	6.8±0.41 ^b	1.79	1.05	1.71
THM (cm)	3.6±0.36 ^a	4.3±0.20 ^b	4.1±0.22 ^a	2.01	1.14	1.76
HO (cm)	2.8±0.19 ^a	4.9±0.30 ^b	2.9±0.21 ^a	1.74	1.01	1.72
WO (cm)	1.3±0.10 ^b	2.6±0.14 ^a	1.1±0.07 ^c	1.92	0.85	2.27
WA (cm)	1.1±0.05 ^b	2.3±0.13 ^a	0.9±0.06 ^c	2.06	0.81	2.56
WM (cm)	0.8±0.05 ^b	1.7±0.08 ^a	0.7±0.09 ^c	2.18	0.88	2.49
BTO 1 (cm)	0.6±0.11 ^c	1.4±0.23 ^a	0.8±0.09 ^b	2.31	1.36	1.70
BTO 2 (cm)	0.2±0.05 ^a	0.3±0.05 ^b	0.1±0.05 ^a	2.30	0.92	2.51
ABT (cm)	0.4±0.07 ^c	0.9±0.12 ^a	0.5±0.05 ^b	2.31	1.28	1.81
BS 1	77.3±2.61 ^a	86.6±2.46 ^b	75.3±1.51 ^a	1.12	0.98	1.15
BS 2	39.1±1.83 ^b	40.5±1.32 ^b	36.3±0.81 ^a	1.04	0.93	1.11
BS 3	6.8±0.47 ^b	8.1±0.52 ^a	4.9±0.23 ^c	1.20	0.72	1.67

Table 9. Continued

Dimension	Initial group	Fed group	Starved group	Ratio 1	Ratio 2	Ratio 3
SS 1-1	21.3±1.41 ^b	22.9±1.21 ^a	16.7±1.25 ^c	1.08	0.79	1.37
SS 1-2	17.4±0.43 ^b	20.1±0.93 ^a	13.4±0.45 ^c	1.16	0.77	1.50
SS 2-1	211.1±15.74 ^b	190.9±13.88 ^c	251.4±3.49 ^a	0.90	1.19	0.76
SS 3-1	28.2±4.72 ^c	33.9±4.83 ^b	42.4±5.03 ^a	1.20	1.50	0.80
SS 3-2	45.4±8.43 ^a	54.5±9.60 ^a	72.9±10.13 ^b	1.20	1.61	0.75
SS 3-3	11.1±2.45 ^a	13.3±1.67 ^a	12.0±3.93 ^a	1.20	1.08	1.12
SS 4-1	68.8±5.80 ^c	248.2±8.54 ^b	276.7±20.01 ^a	3.59	4.01	0.90

The values are means±SD ($n=20$) of duplicated groups. Means in rows with a same superscript letter are not significantly different ($P>0.05$). Abbreviation, BL: body length; CIO: body circumference at one-third line between most posterior aspect of operculum and mediate point of standard length; CIA: body circumference at a vertical line which intersect at right angle of the inter mediate point of standard length; CIM: body circumference at midpoint line between mediate point of standard length and most posterior scale in lateral line; AO: area on section at one-third line between most posterior aspect of operculum and mediate point of standard length; AA: area on section at a vertical line which intersect at right angle of the inter mediate point of standard length; AM: area on section at midpoint line between mediate point of standard length and most posterior scale in lateral line; THO: total height on section at one-third line between most posterior aspect of operculum and mediate point of standard length; THA: total height on section at a vertical line which intersect at right angle of the inter mediate point of standard length; THM: total height on section at midpoint line between mediate point of standard length and most posterior scale in lateral line; HO: height on section at one-third line between most posterior aspect of operculum and mediate point of standard length; WO: width on section

at one-third line between most posterior aspect of operculum and mediate point of standard length; WA: width on section at a vertical line which intersect at right angle of the inter mediate point of standard length; WM: width on section at midpoint line between mediate point of standard length and most posterior scale in lateral line; BTO 1: belly thickness 1 on section at one-third line between most posterior aspect of operculum and mediate point of standard length; BTO 2: belly thickness 2 on section at one-third line between most posterior aspect of operculum and mediate point of standard length; ABT: average belly thickness, $(BTO\ 1+BTO\ 2)/2$; BS 1: body shape 1, $(CIA/BL)\times 100$; BS 2: body shape 2, $(THA/BL)\times 100$; BS 3: body shape 3, $(WA/BL)\times 100$; SS 1-1: section shape 1-1, $(WO/THO)\times 100$; SS 1-2: section shape 1-2, $(WA/TA)\times 100$; SS 2-1: section shape 2-1, $(HO/WO)\times 100$; SS 3-1: section shape 3-1, $(ABT/WO)\times 100$; SS 3-2: section shape 3-2, $(BTO\ 1/WO)\times 100$; SS 3-3: section shape 3-3, $(BTO\ 2/WO)\times 100$; SS 4-1: section shape 4-1, $[0.5(\pi\times HO\times 0.5 \cdot WO)/AO]\times 100$; Ratio 1: fed group/initial group; Ratio 2: starved group/initial group; Ratio 3: fed group/starved group.

포식균은 실험 시작시에 비해 THO와 THA인 경우 동일하게 1.79배의 증가를 보였으며 포식균은 기아균에 비해 THO와 THA인 경우 각각 1.65배와 1.71배의 증가를 보였다. THM에서 실험 시작시와 기아균은 서로 유사하였으며 이들은 실험 시작시와 비교시 각각 2.01배, 1.76배 작게 나타났다.

아가미 뚜껑 끝지점으로 부터 아가미 뚜껑 끝지점과 A선 사이 길이의 1/3 지점에서 수직으로 내린 선의 횡단면 높이인 HO인 경우도 실험 시작시와 기아균이 서로 유사한 반면($P < 0.05$), 포식균은 이들보다 크게 나타나 실험 시작시에 대비한 포식균의 비는 1.74배 그리고 기아균에 대비한 포식균의 비는 1.72배 이었다. 각 체 절단면 폭 WO, WA, WM에서 크기순은 포식균, 실험 시작시, 기아균 순이었으며 포식균은 실험 시작시에 비해 1.92~2.18배 크기 증가, 그리고 포식균은 기아균에 비해 2.27~2.56배의 크기 증가를 보였다.

각 체 절단면 복강 두께 BTO 1에서는 포식균, 기아균, 실험 시작시의 크기 순이었으며($P < 0.05$), 포식균은 기아균에 비해 1.7배의 BTO 1 크기 증가를 보였다. BTO 2에서는 실험 시작시와 기아균이 서로 유사하였으며($P < 0.05$), 이들은 포식균에 비해 실험 시작시인 경우 2.30배 낮게, 그리고 기아균인 경우 2.51배 낮게 나타났다. 평균 복강 두께인 ABT인 경우 포식균, 기아균, 실험 시작시 순이었으며 포식균은 실험 시작시에 비해 2.31배, 그리고 포식균은 기아균에 비해 1.81배 크게 나타났다.

체형 BS 1에서 실험 시작시와 기아균은 서로 유사하였으며, 이들은 포식균에 비해 낮았다($P < 0.05$). BS 2에서는 실험 시작시와 포식균이 서로 유사하였으며, 이들은 포식균에 비해 컸다($P < 0.05$). BS 3에서는 그 크기순이 포식균, 실험 시작시, 기아균의 순이었다($P < 0.05$). 기아균에 비해 포식균은 BS 1에서는 1.15배, BS 2에서는 1.11배 그리고 BS 3에서는 1.67배의 크기 증가를 보였다.

각 체 절단면 횡단형에서 SS 1-1과 SS 1-2인 경우 포식균, 실험 시작시, 기

아군의 크기 순을 보였으며($P < 0.05$), SS 1-1인 경우 기아군 대비 포식군의 비는 1.37배, 그리고 SS 1-2인 경우 기아군 대비 포식군의 비는 1.50배 이었다.

SS 2-1인 경우는 기아군, 실험 시작시, 포식군의 크기 순이었으며($P < 0.05$), 포식군은 실험 시작시에 비해 0.90배, 그리고 기아군에 비해 0.76배의 감소를 보이고 있다. SS 3-1과 SS 4-1인 경우 그 크기순은 기아군, 포식군, 실험 시작시 순이었으며($P < 0.05$) 포식군은 기아군에 비해 SS 3-1인 경우 0.80배 감소, SS 4-1인 경우 0.90배의 감소를 보였다. 특히 SS 4-1인 경우 포식군은 실험 시작시에 비해 3.59배, 그리고 기아군은 실험 시작시에 비해 4.01배의 크기 증가를 보였다. SS 3-2인 경우 실험 시작시와 포식군은 서로 유사하였으며, 이들은 기아군에 비해 낮았다($P < 0.05$). SS 3-2인 경우 기아군은 실험 시작시에 비해 1.61배 증가를 보였으며 포식군은 기아군에 비해 0.75배 감소를 보였다. SS 3-3인 경우 실험 시작시, 포식군, 기아군은 서로 유사하였다($P < 0.05$).

Fig. 7은 실험 시작시, 기아군, 포식군에서 체장의 1/2 지점에서 수직으로 내린 선(A), 아가미 뚜껑 끝지점으로 부터 아가미 뚜껑 끝지점과 A선 사이 길이의 1/3 지점에서 수직으로 내린 선(O) 및 A선과 체장의 끝지점 사이 중간 부위(M)에서 각각 횡단 절단면의 외형이다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 포식시는 체 절단면 높이 증가는 물론 체폭의 증가가 현저하였다. 더욱이 포식군은 실험 시작시와 기아군에 비하여 BTO 2의 증가, 즉 복강 체벽의 증가가 뚜렷하였다.

6. 생화학적 변화

실험 12주간의 기아 일수 경과에 따른 넙치 간조직 단위 g 당 단백질량, DNA량, RNA량 및 RNA-DNA 비 변화 양상은 Table 10과 같다. 단백질량은 실험 초기에 43.9 mg/g 이었다. 포식군은 실험 후 8주까지는 단백질량 변화가 거의 없었으나 실험 종료시인 실험 후 12주에 38.1 mg/g으로 유의한 감소를 보였다($P < 0.05$).

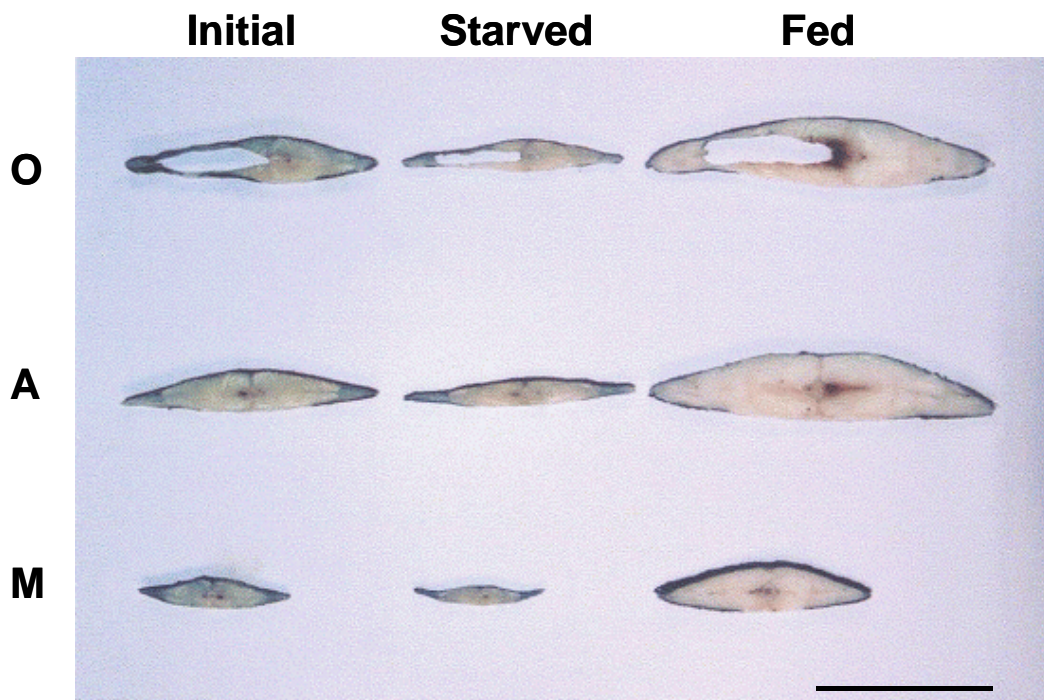


Fig. 7. Typical external morphology of a cross section slice taken from the experimental olive flounder, *P. olivaceus* at one-third line between most posterior aspect of operculum and mediate point of standard length (O), a vertical line which intersect at right angle of the intermediate point of standard length (A) and midpoint line between mediate point of standard length and most posterior scale in lateral line (M). Bar is 4 cm.

Table 10. Protein and nucleic acid (total DNA and RNA) contents in the liver tissue of olive flounder, *P. olivaceus* fed and starved for 12 weeks

	Rearing period (weeks)	Protein (mg/g)	DNA (mg/g)	RNA (mg/g)	RNA-DNA ratio
Fed group	0	43.9±7.42 ^a	0.3±0.12 ^a	1.8±0.33 ^a	6.23
	4	36.2±3.04 ^a	0.2±0.10 ^a	1.9±0.46 ^a	9.78
	8	38.0±1.75 ^a	0.3±0.07 ^a	1.7±0.39 ^a	6.78
	12	38.1±1.22 ^b	0.2±0.07 ^a	1.8±0.25 ^a	9.56
Starved group	0	43.9±7.42 ^b	0.3±0.12 ^a	1.8±0.33 ^{ab}	6.23
	4	38.5±3.52 ^a	0.4±0.07 ^{ab}	2.2±0.11 ^b	5.25
	8	50.9±5.73 ^c	0.5±0.05 ^b	2.1±0.14 ^b	5.01
	12	45.3±1.28 ^b	0.5±0.06 ^b	1.5±0.02 ^a	3.48

The values are means±SD ($n=10$) of duplicated groups. Means in columns with a same superscript letter are not significantly different ($P>0.05$).

기아군은 단백질량에서 실험 후 4주에 감소를 보였으나, 이후 증가하여 실험 종료시인 실험 후 12주에는 45.3 mg/g의 단백질량을 보였다($P < 0.05$).

DNA량에서 실험 시작시 0.3 mg/g 이었다. 포식군은 실험 기간중 DNA량에서 유의한 변화가 없었던 반면, 기아군은 점진적인 증가를 보여 실험 종료시인 실험 후 12주에는 0.5 mg/g의 DNA량을 보였다($P < 0.05$). RNA량은 실험 시작시 1.8 mg/g 이었다. DNA량 변화 경향과 마찬가지로 RNA량 변화는 포식군에서도 거의 나타나지 않았다($P < 0.05$). 반면 기아군인 경우 RNA량 변화는 기아 후 4주와 8주에 각각 2.2 mg/g, 2.1 mg/g으로 증가하였으나 실험 종료시인 실험 후 12주에서는 1.5 mg/g으로 감소하였다($P < 0.05$). RNA-DNA 비는 실험 시작시 6.23이었으나 포식군은 실험 후 4주부터 증가하여 실험 종료시인 실험 후 12주에는 9.56을 나타낸 반면, 기아군의 RNA-DNA 비는 실험 후 4주부터 감소하여 실험 종료시인 실험 후 12주에는 3.48로 나타났다.

7. 혈액 성상 변화

실험 기간 12주 동안의 포식군과 기아군의 혈액 *hematocrit*, *hemoglobin*, *RBC*, *MCV*, *MCH* 및 *MCHC*의 변화는 Table 11과 같다. *Hematocrit*는 실험 시작시 29.2%로부터 실험 후 4주에 포식군은 19.3%, 기아군은 19.6%로 유의하게 감소하였다($P < 0.05$). 이후 두 실험구에서 실험 종료시인 실험 후 12주째까지는 실험 시작시와 차이를 보이지 않았다.

Hemoglobin 함량은 실험 시작시 11.6 g/dL로부터 포식군은 실험 후 8주에 15.4 g/dL, 실험 후 12주에 16.3 g/dL로 계속해서 높아졌다($P < 0.05$). 기아군의 경우, 실험 후 8주에 17.5 g/dL, 실험 후 12주에 20.5 g/dL로 증가하였다($P < 0.05$).

포식군의 *RBC* 변화는 실험 후 4주에 2.9×10^6 cell/ μ L로 실험 시작시 4.9×10^6 cell/ μ L 보다 낮은 값을 보였으며($P < 0.05$), 실험 후 8주와 12주에는 각각 4.1×10^6 cell/ μ L, 3.9×10^6 cell/ μ L로 차이를 보이지 않았다.

Table 11. Blood analysis of olive flounder, *P. olivaceus* fed and starved for 12 weeks

Parameter	Rearing period (weeks)			
	0	4	8	12
Hematocrit (%)				
Fed	29.2±4.10 ^b	19.3±3.43 ^a	29.4±5.82 ^b	28.1±2.78 ^b
Starved	29.2±4.10 ^b	19.6±0.35 ^a	32.3±8.53 ^b	32.3±5.17 ^b
Hemoglobin (g/dL)				
Fed	11.6±1.56 ^a	12.7±2.17 ^{ab}	15.4±1.11 ^{bc}	16.3±2.15 ^{cd}
Starved	11.6±1.56 ^a	14.4±0.31 ^{abc}	17.5±2.10 ^{cd}	20.5±4.54 ^d
RBC ($\times 10^6$ cell/ μl)				
Fed	4.9±0.34 ^c	2.9±0.52 ^a	4.1±1.04 ^{bc}	3.9±0.20 ^{bc}
Starved	4.9±0.34 ^c	3.3±0.09 ^{ab}	4.8±0.69 ^c	4.6±0.70 ^c
MCH (pg)				
Fed	59.7±4.25 ^a	67.2±1.81 ^a	72.1±5.85 ^a	71.5±3.68 ^a
Starved	59.7±4.25 ^a	59.3±2.68 ^a	59.3±5.94 ^a	69.8±3.32 ^a
MCHC (g/dL)				
Fed	39.7±0.25 ^a	66.0±1.89 ^b	53.5±6.98 ^{bc}	58.5±9.25 ^c
Starved	39.7±0.25 ^a	73.8±2.86 ^b	62.1±3.71 ^b	62.9±4.36 ^b
MCV (fl)				
Fed	60.0±4.24 ^a	44.4±1.43 ^{cd}	38.7±6.92 ^b	41.7±5.52 ^{bc}
Starved	60.0±4.24 ^a	43.7±0.43 ^d	36.7±1.46 ^{bc}	44.0±4.29 ^{bcd}

The values are means±SD ($n=10$) of duplicated groups. Means in parameters with a same superscript letter are not significantly different ($P>0.05$). MCH: mean corpuscular hemoglobin; MCHC: mean corpuscular hemoglobin concentration; MCV: mean corpuscular volume; RBC: red blood cell.

기아군에서도 실험 후 4주에 $3.3 \times 10^6 \text{ cell}/\mu\text{l}$ 로 유의하게 낮아졌으나, 실험 후 8주와 12주에는 실험 시작시와 비교시 차이가 없었다($P > 0.05$).

MCH는 실험 시작시부터 실험 후 12주까지 포식군과 기아군에서 유의적인 차이가 나타나지 않았다($P > 0.05$). MCHC의 변화는 실험 시작시 39.7 g/dL로부터 포식군은 실험 후 4주~12주 동안 53.5~66.0 g/dL로 유의하게 높아졌으며, 기아군에서도 56.6~73.8 g/dL로 높아졌다($P < 0.05$). MCV는 포식군에서 실험 시작시 60.0 fl로부터 실험 후 4주에 44.4 fl, 실험 후 8주에 38.7 fl, 실험 후 12주에 41.7 fl로 감소하였다($P < 0.05$). 기아군의 경우, 4주~12주 동안 36.7~44.0 fl로 유의하게 감소하였다($P < 0.05$).

Fig. 8의 a에서와 같이 실험 기간 12주 동안의 포식군과 기아군의 *cortisol* 농도는 실험 시작시 3.9 ng/mL로부터 실험 후 4주에 포식군은 17.7 ng/mL로 증가 하였다가, 실험 후 8주와 12주에는 각각 6.2 ng/mL, 3.0 ng/mL로 실험 시작시와 유의한 차이를 나타내지 않았다($P > 0.05$). 기아군의 경우, 실험기간 동안 2.2~3.9 ng/mL로 유의한 차이는 없었다($P > 0.05$).

Fig. 8의 b에서와 같이 *glucose* 함량은 실험 시작시 23.5 mg/dL로부터 실험 후 4주에 포식군에서 62.0 mg/dL, 기아군에서 97.3 mg/dL로 유의하게 높아졌다($P < 0.05$). 이후 8주와 12주째에는 포식군과 기아군 모두에서 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$).

실험 기간 12주 동안의 포식군과 기아군의 Na^+ 농도, Cl^- 농도, K^+ 농도, AST 함량, ALT 함량 및 삼투질 농도 변화는 Table 12와 같다. 혈장 Na^+ 의 농도는 포식군에서 실험기간 동안 160.8~165.4 mEq/L로 유의한 차이를 보이지 않았으나, 기아군에서는 실험 후 8주에 158.5 mEq/L로 실험 시작시 163.0 mEq/L 보다 유의하게 낮아졌으며 12주에는 159.5 mEq/L로 8주와 유의적인 차이를 보이지 않았다($P < 0.05$) (Table 12).

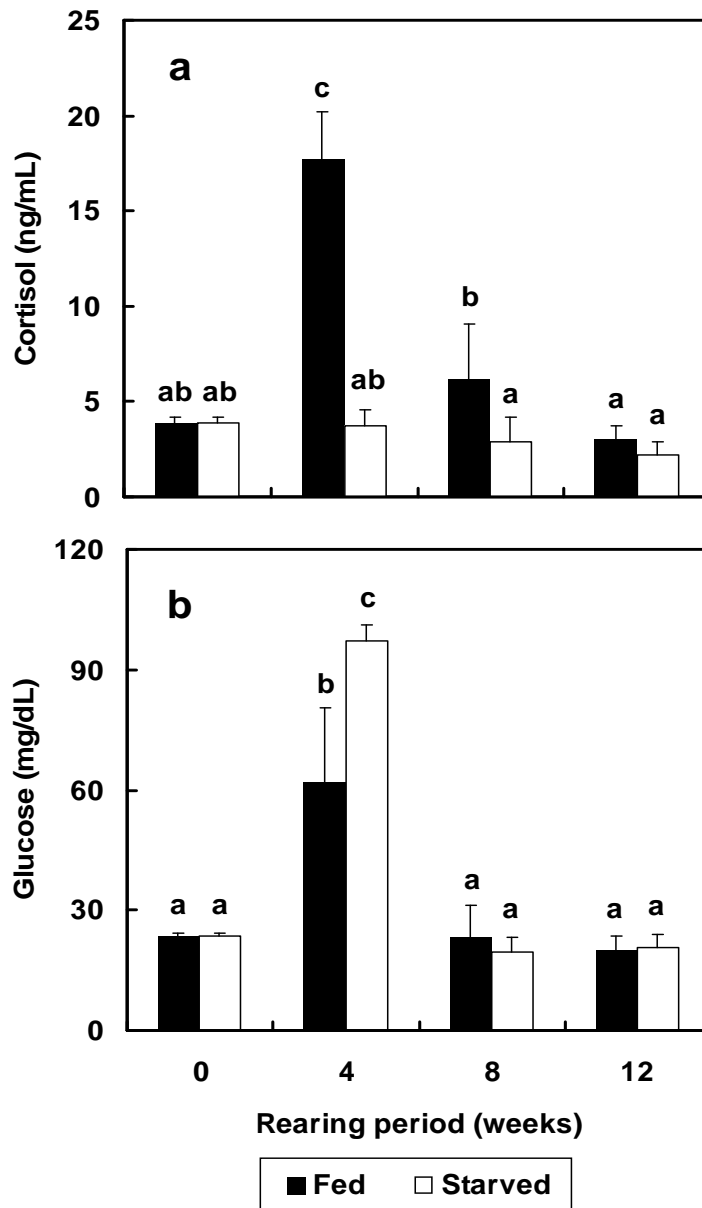


Fig. 8. Variations of duplicated experiment of (a) cortisol and (b) glucose levels in plasma of fed and starved groups in olive flounder, *P. olivaceus* ($n=10$). Same alphabetic letters are not significantly different ($P>0.05$).

Table 12. Variations of Na⁺, Cl⁻, K⁺, AST, ALT and osmolality in plasma of olive flounder, *P. olivaceus* fed and starved for 12 weeks

Parameter	Rearing period (weeks)			
	0	4	8	12
Na⁺ (mEq/L)				
Fed	163.0±0.01 ^{abc}	165.4±1.11 ^c	164.3±5.51 ^{bc}	160.8±0.96 ^{abc}
Starved	163.0±0.01 ^{abc}	164.0±1.87 ^{bc}	158.5±4.43 ^a	159.5±1.73 ^{ab}
Cl⁻ (mEq/L)				
Fed	134.5±0.71 ^{ab}	141.9±1.03 ^c	137.0±4.36 ^{abc}	132.3±2.50 ^a
Starved	134.5±0.71 ^{ab}	140.1±3.52 ^{bc}	135.3±5.74 ^{ab}	139.3±1.71 ^{bc}
K⁺ (mEq/L)				
Fed	3.7±0.14 ^a	3.6±0.44 ^a	3.3±0.56 ^a	3.4±0.25 ^a
Starved	3.7±0.14 ^a	3.6±0.19 ^a	3.5±0.16 ^a	3.3±0.21 ^a
AST (IU/L)				
Fed	6.0±0.01 ^a	4.6±2.95 ^a	8.7±7.23 ^a	11.8±6.60 ^a
Starved	6.0±0.01 ^a	13.8±1.94 ^b	12.0±8.83 ^b	15.5±3.00 ^b
ALT (IU/L)				
Fed	2.0±0.00 ^a	2.1±0.47 ^a	2.2±0.09 ^a	2.3±0.50 ^a
Starved	2.0±0.00 ^a	11.8±1.19 ^b	10.3±0.50 ^b	10.0±1.60 ^b
Osmolality (mOsm/kg)				
Fed	403.5±17.67 ^c	389.3±15.90 ^c	379.0±14.53 ^{bc}	383.5±21.83 ^c
Starved	403.5±17.67 ^c	351.3±3.30 ^{ab}	352.3±16.66 ^{ab}	346.5±18.67 ^a

The values are means±SD (*n*=10) of duplicated groups. Mean in parameters with a same superscript letter are not significantly different (*P*>0.05). ALT: Alanine aminotransferase; AST: Aspartate aminotransferase.

Cl⁻의 농도는 실험 시작시 134.5 mEq/L로부터 실험 후 4주에 141.9 mEq/L로 높아졌으나, 실험 후 8주와 12주에는 실험 시작시와 차이가 없었다($P>0.05$). 기아군은 실험기간 동안 134.5~140.1 mEq/L로 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). K⁺는 실험 시작시부터 실험을 종료한 실험 후 12주까지 포식군은 3.3~3.7 mEq/L 범위의 값을 가졌고, 기아군은 3.3~3.7 mEq/L 범위의 값을 가졌으며, 포식군과 기아군에 유의적인 차이는 보이지 않았다.

AST는 포식군에서 실험 기간 동안 4.6~11.8 IU/L, 기아군에서 3.8~12.0 IU/L로 각 실험군에서 유의한 차이를 나타내지 않았다($P>0.05$). ALT 변화는 실험 시작시 2.0 IU/L로부터 포식군은 실험 기간동안 2.1~2.3 IU/L로 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 그러나 기아군은 10.0~11.8 IU/L로 유의하게 높아졌다($P<0.05$).

혈장의 삼투질 농도는 실험 시작시 403.5 mOsm/kg으로부터 포식군은 실험 기간 동안 유의한 차이를 보이지 않았으나, 기아군의 경우, 실험 후 4주에 351.3 mOsm/kg, 실험 후 8주에 352.3 mOsm/kg, 실험 후 12주에 346.5 mOsm/kg으로 유의하게 낮아졌다($P<0.05$).

8. 산소 소비효율 및 호흡수

실험 종료시인 실험 12주에 포식군과 기아군 넙치를 대상으로 72시간 동안 관찰한 산소 소비량 변화는 Fig. 9와 같다. 수온을 22℃로 유지하였던 1~48시간 동안의 평균 산소 소비량은 포식군에서 112.2 mg O₂/kg/hr로 나타났으나, 기아군은 63.3 mg O₂/kg/hr로 포식군보다는 낮은 산소 소비량을 보여주었다($P<0.05$). 수온을 시간당 1℃씩 상승하였던 실험 후 48~57시간까지는 수온이 상승함에 따라 산소 소비량도 증가하는 경향을 두 실험구에서 나타냈다. 수온 30℃로 상승한 후 57~72시간까지의 산소 소비량은 수온을 상승시킬 때와 같은 값으로 유지되었다.

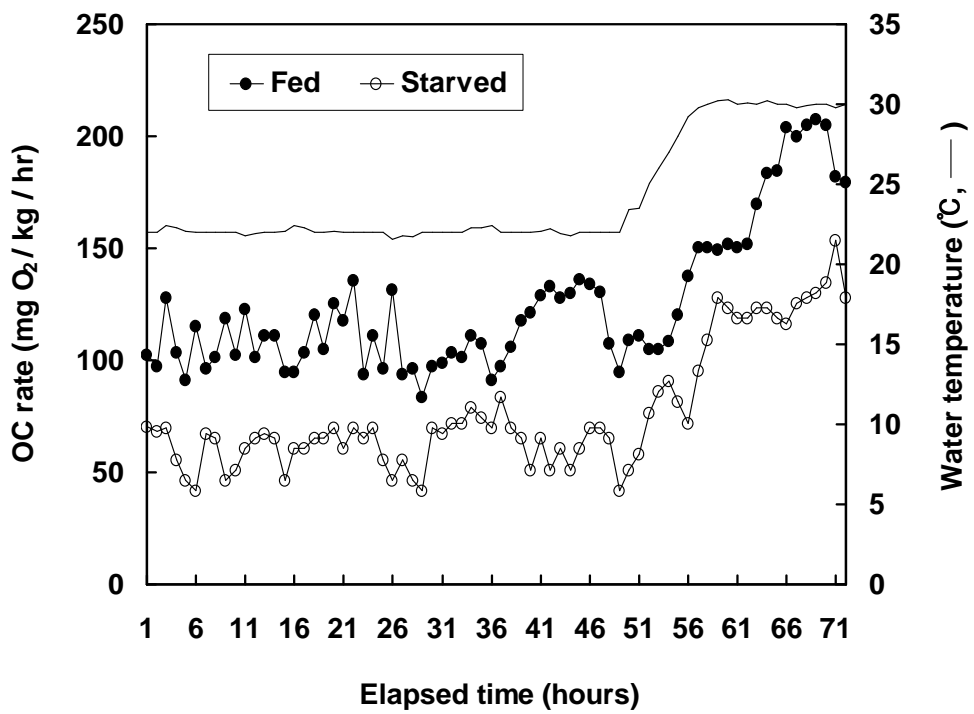


Fig. 9. Oxygen consumption (OC) rate of olive flounder, *P. olivaceus* fed and starved for 12 weeks.

수온 22℃에서 포식균과 기아균에서의 평균 산소 소비량 결과와 마찬가지로, 수온을 22℃ 보다 상승시에도 포식균은 기아균에 비해 높은 산소 소비량을 보였다($P < 0.05$).

수온을 22℃로 유지하였던 1~48시간 동안의 평균 호흡수는 포식균에서 73.3 회/min, 기아균은 41.4 회/min으로 포식균이 기아균보다 많은 호흡수를 보였다(Fig. 10). 수온을 시간당 1℃씩 상승하였던 실험 후 48~57시간째와 30℃로 상승한 후 57~72시간까지의 평균 호흡수는 1~48시간의 평균 호흡수와 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$)(Fig. 10).

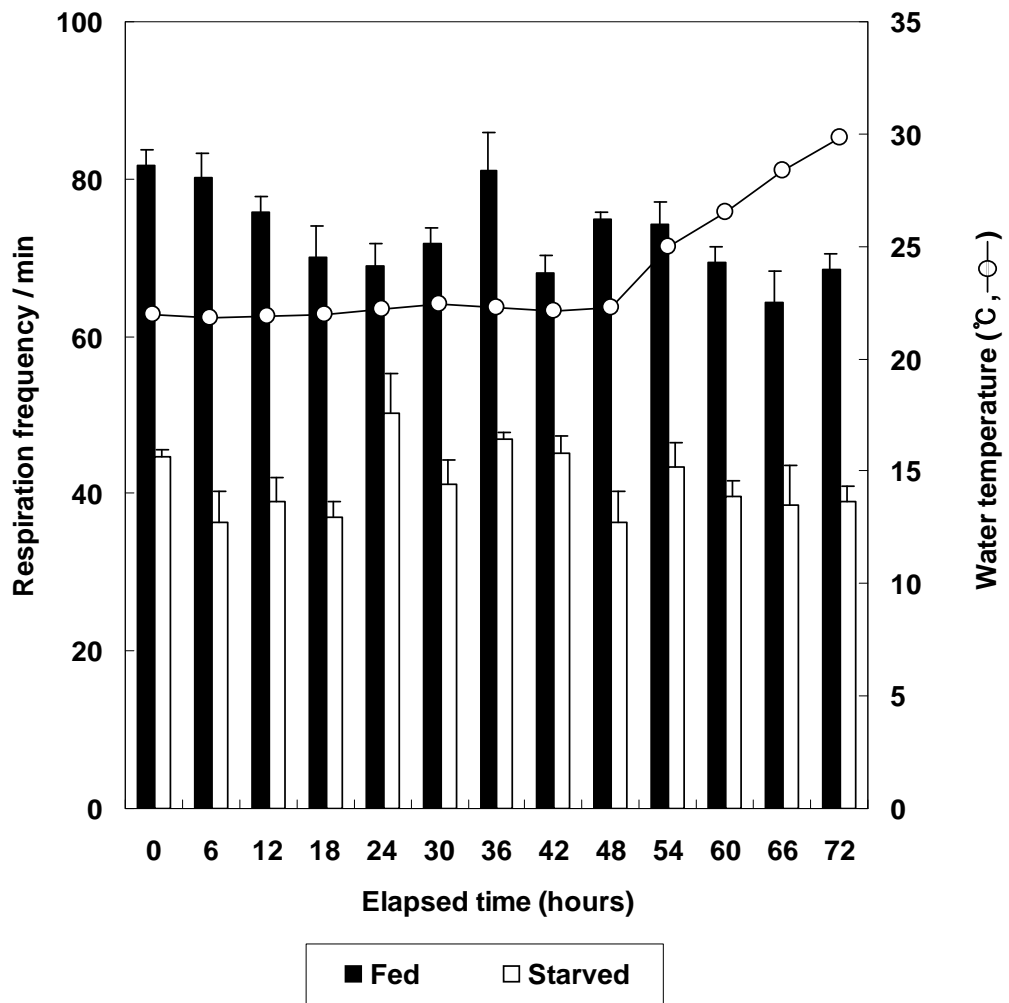


Fig. 10. Respiration frequency of olive flounder, *P. olivaceus* fed and starved for 12 weeks.

IV. 고찰

기아 진행시 어체의 기본 신진 대사를 유지시키는데 필요한 에너지가 소비되고 이때 체내 저장 에너지가 주로 이용되며, 어류 기아에 관한 연구는 야생 어류 및 양식 어류의 영양 상태 및 그들의 성장 이해에 도움이 된다 (Weatherley and Gill, 1987; 이 등, 1998; 박 등, 1998; Park *et al.*, 2001). 넙치, *Paralichthys olivaceus* (Temminck *et* Schlegel)에서 포식과 기아 실험을 12주 동안 실시한 결과, 포식군은 실험 종료시인 실험 후 12주에도 90.0%의 생존율을 유지한 반면 기아군은 실험 종료시인 실험 후 12주에 포식군 대비 86.1%의 생존에 해당하는 77.5%의 생존율을 보였다. 본 실험에서의 기아는 12주이었지만 어류에서의 기아는 수 달 혹은 수 년에 걸쳐 자연 상태에서 일어날 수 있으며, 이때 어류는 축적 에너지의 소모로 생존을 유지하여(Love, 1970), 성장감소(Degrowth)를 동반한다(Weatherley and Gill, 1987).

넙치에서 포식과 기아를 12주 동안 실험한 결과, 포식군은 최초 실험시에 비해 전장에서는 136.2%, 체중에서는 310.0%의 증가를 보인 반면, 기아군은 최초 실험시에 비해 전장에서는 92.1%로, 체중에서는 56.0%의 감소를 보이고 있다. 이와같이 기아에 따른 체중 감소는 Weatherley and Gill (1981)이 무지개송어, *Salmo gairdneri*를 대상으로 3주와 13주 기아시 각각 14.5%와 32.5%의 체중 감소를 보인 바 있다. 12주에 걸친 넙치 기아시 기아군의 전장성장률은 -3.9%인데 반해 체중 성장은 낮아 체중성장률은 -19.5%와 일일성장률은 -0.4%를 보이고 있다. 비만도인 경우 무지개송어의 13주 기아시 주된 감소 항목으로서 본 실험에서는 기아군은 포식군에 비해 6%에만 해당하는 비만도를 보이고 있다.

실험 기간 12주 동안 포식과 기아에 따라 포식군에서는 전장과 내장피 포함

체중 즉, 체중의 증가를 보였으며 기아군은 실험 시작시 대조군보다 전장과 체중에서 감소를 보였다. 기아시 포식군과 기아군에서의 전장, 체중 및 비만도 결과를 고려시 기아는 전장에서의 변화보다는 체중에서의 큰 변화 즉, 체중 감소를 나타내었다. 무지개송어에서 당년생인 경우 4주 기아시 기아군에서는 전장과 체중의 감소가 일어난 반면, 무지개송어 1년생인 경우 6주 기아시 본 연구 결과와 마찬가지로 기아군에서는 체장의 변화보다는 체중의 감소를 보이고 있다(Sumpter *et al.*, 1991). 본 실험 기아군에서의 비만도 감소는 기아시 나타나는 현저한 특징으로서, 무지개송어에서 13주 기아시 기아군은 포식군에 비해 32.5%의 체중 감소를 보인 바 있으며 무지개송어 당년생과 1년생인 경우 각각 4주와 6주 기아시 기아군이 포식군에 비해 낮은 비만도를 보여주고 있다(Weatherley and Gill, 1981; Sumpter *et al.*, 1991).

기아군에 비교시 포식군은 내장피 포함 체중, 내장피 제거 체중 및 내장피 무게에서 월등히 높은 수치를 보임에도 불구하고, 기아군과 유사한 내장피지수를 보인 것은 기아군에서 기아에 따라 1차적인 근육 축적 에너지 소모에 따른 상대적으로 높은 내장피지수에 기인된 것으로 사료된다. 기아군에서의 이러한 근육 축적 에너지 소모는 체중의 감소에서 보여주고 있다. 어류에서의 기아시 다양한 체 조직 에너지는 다양한 소모율로 가동되며, 유사한 영양에너지 조차도 다양한 조직에서 다양한 가동률로 소모될 수 있다(Weatherley and Gill, 1987). 본 실험과 유사한 경향은 9주간의 버들치, *Rhynchocypris oxycephalus* 기아 실험에서도 나타났는데 9주간의 버들치 기아시 복강 내장피의 현저한 감소 경향은 Dressing 비에 영향을 끼쳐, Dressing 비는 앞서의 여러 형질들에서의 결과와 상반되게 포식군과 기아군이 유사하게 나타나 포식군은 78.8, 기아군은 81.5 이었다(박 등, 2002).

넙치에서 12주간의 간중량 변화는 포식군은 간중량지수가 실험 기간중 비

교적 일정함에 비해 기아군은 기아 후 4주~8주에 실험 시작시 간중량지수의 52.6%로, 그리고 본 실험 종료시인 기아 후 12주에 실험 시작시 간중량지수의 32.5%에 해당하며 감소하였다. 이와같이 기아군에서 기아 후 4주부터 낮은 간중량지수를 보인 이유는, 어체가 기아로 인한 영양물 섭취 결핍으로 간세포 내의 지방질을 분해하여 에너지원으로의 사용이 한계점에 도달한 원인에 기인한 것으로 사료된다.

기아군은 기아 실험 과정에서 특히 담낭이 커졌는바, 이러한 점은 기아시 담낭내 담즙산염이 간 지방질을 유화하여 장에서 흡수케하여 대사활동에 필요한 에너지 전환을 이루지 못한 보상으로 나타난 현상임이 사료되나(이 등, 1999), 차후 이와 관련된 면밀한 연구가 필요시 된다.

넙치에서의 12주간에 걸친 포식과 기아시 *truss dimension*에서는 1×5, 4×6 및 4×7의 계측 항목인 경우 실험 시작시에 비해 공통적으로 증가하였다. 이러한 계측 항목에서의 증가는 12주간의 넙치 고유의 길이 성장에 기인된 결과로 생각된다. 넙치에서 12주간 포식과 기아시 *truss dimension*의 3×4와 6×7의 계측 항목에서는 실험 시작시에 비해 포식군은 증가한 반면 기아군은 감소하였다. *Truss dimension*의 3×4는 체장 1/2 지점에서 수직으로 연결하여 등지느러미 기저와 꼬리지느러미 기저에서 만나는 점들간의 길이로 넙치에서는 체고에 해당하며, *truss dimension*의 6×7은 등지느러미와 꼬리지느러미의 각 기저 끝 부위를 연결한 미병고에 해당하는 계측형질로서, 이 두 형질은 넙치에서 포식과 기아의 영향을 뚜렷이 반영하였다.

비록 넙치가 일반 어류에 비해 다른 체형을 나타내고 있으나, 이와같은 경향은 버들치에서 9주간 포식과 기아시 *truss dimension*인 경우 몸통 부위에서도 나타나고 있으며(Park *et al.*, 2001), *jack mackerel*, *Trachurus symmetricus* Ayre, *Clupea hatrnigus* L. 및 여타 연어과 어류의 복면 형태 변화로 나타나고 있다

(Ehrlich *et al.*, 1976; Theilacker, 1987; Currens *et al.*, 1989).

넙치에서의 12주간에 걸친 포식과 기아시 *classical dimension*에서는 실험 시작시에 비해 1×3과 3×9의 계측 항목 즉, 체측 하반부의 길이 성장 관련 항목에서는 포식군은 증가한 반면 기아군은 감소하였으며, 1×5의 두부 관련 계측 항목에서는 포식군은 감소한 반면 기아군은 증가하였다. 본 연구에서와 같이 포식시 *classical dimension*인 경우, 두부 관련 형질의 감소는 9주간의 버들치 포식시에도 나타난 바 있다(Park *et al.*, 2001). 포식시 *classical dimension*인 경우, 복부를 포함한 체측 하반부의 길이 성장이 현저함을 시사한다. 본 연구 결과 12주간의 포식과 기아는 넙치에서의 체고 관련 형질과 복부를 포함한 체측 하반부 관련 형질의 변화를 초래하였다.

넙치에서의 포식군과 기아군간의 계측형질 차이는 지방대사에서의 생리학적 차이에 의한 것으로 설명 가능하며, 체형 중에서도 특히 체고가 영양 상태를 나타낸다고 Theilacker (1987)가 이미 보고한 바 있다. Currens *et al.* (1989)은 연어과 어류에서 몸통 부위는 먹이공급과 기아시 지방축적과 지방손실이 가장 크게 일어나는 장소라고 지적한 바 있다.

30년 이상 동안 대부분의 계측형질에 관한 연구는 Hubbs and Lagler (1947)가 사용한 어체의 길이, 체고 및 체폭에 관한 *classical dimension*의 일부 형질 특히, 머리 부위와 꼬리 부위에 기준하였다. 균일하고 다양한 거리 측정으로 어체의 형태나 윤곽을 파악하기 위하여 Humphries *et al.* (1981)은 어체형을 따라서 *truss dimension*이라 불리는 십자형 계측을 제안하였다. 본 연구 결과는 Strauss and Bond (1990)이 간과 하였듯이 *truss dimension*은 넙치에서 포식과 기아에 따른 길이 방향과 수직 방향은 물론 경사 방향에서의 형태 차이 파악을 가능케 한다.

본 연구 결과 포식과 기아시 파악된 계측 항목들은 먹이 가용 여부나 먹이 질

의 환경적 차이에 연관되어 다른 체 형질과는 달리 영향을 덜 받았으며, 이러한 포식과 기아시 *truss dimension*과 *classical dimension*에서의 비영향 형질은 연어과 자어에서 꼬리 부위가 분류학적 차이의 기준으로 사용된 것처럼, 넙치에서의 종간 구분의 기준으로 유용하게 사용될 수 있을 것이다(Currens *et al.*, 1989). 아울러 넙치에서의 체고 형질을 비롯한 몸통 부위의 형질들은 다른 서식지에 따른 상이한 먹이 섭취에 의한 다양한 차이 파악에도 유용한 가치가 있을 것이다.

넙치에서 12주간에 걸친 포식과 기아시 포식군은 기아군에 비해 체 절단면의 체둘레, 체 절단면 면적 및 체 절단면 전체 높이에서 크게 나타났으며, 특히 체 절단면 면적에 있어서는 기아군은 실험 시작시에 비해 매우 낮은 수치를 보였다. 체 절단면의 체둘레, 면적 및 전체 높이에서 공통적으로, 아가미 뚜껑 끝 지점으로 부터 아가미 뚜껑 끝지점과 체장의 1/2 지점에서 수직으로 내린 선(A) 사이 길이의 1/3 지점에서 수직으로 내린 선(O)에 비해 A 및 A와 체장의 끝지점 사이 중간 부위(M)가 더욱 큰 수치를 보였다. 몸통 부위는 포식과 기아시 우선적으로 형질 변이가 일어나는 위치로, 이러한 포식과 기아시 체 절단면 변화는 계측형질인 경우 *truss dimension*에서의 체고와 미병고에 해당하는 부위에서도 나타난 바 있다.

체 절단면의 폭인 경우 기아군에 대비한 포식군의 비가 체장의 1/2 지점에서 수직으로 내린 선(A)에서 가장 높았으며, 이러한 결과는 A와 비슷한 위치에서 BTO 2가 BTO 1에 비해 높은 복강 두께를 보인 것으로도 반영되고 있다. 기아군에 비해 포식군에서 복강 두께들이 높은 것은 포식군에 반해 기아군의 기아시 복강 체벽으로부터의 에너지원 흡수에 기인된 것으로 사료된다(박 등, 2002). 이와같은 복강 두께 1과 복강 두께 2에서의 차이는 불임 3배체의 산천어, *Oncorhynchus masou*와 은어, *Plecoglossus altivelis*에서 나타난 바 3배체가 각각의 2배체에 비해 불임으로 인한 높은 복강 두께 1과 복강 두께 2를 보인 바 있으

며 높은 값의 (복강 중부 횡단면 면적-복강 면적)/복강 중부 횡단면 전체 면적을 보인 바 있다(Ueno *et al.*, 1986; 박과 장, 1994). 복강 두께는 개체의 전반적인 복강 두께 증가를 위한 육종목표, 즉 상품화의 수단이 될 수 있다는 점을 고려시(Gjerde and Schaeffer, 1989), 기아군은 포식군에 비해 낮은 평균 복강 두께, 즉 낮은 상품성을 보이고 있다. 포식군은 기아군에 비해 체폭의 증가가 현저하여 BS 3인 경우 1.67배로 나타났으며, 이러한 체폭에서의 증가는 BS 2 보다 BS 1에서 기아군에 비해 포식군의 크기 증가가 다소 크게도 나타나고 있다.

SS 1-1, SS 1-2 및 SS 2-1은 체폭과 높이, 전체 높이 간의 비에 관련된 체절단면 계측형질들로 포식군은 기아군에 비하여, 그리고 실험 시작시는 기아군에 비하여 크게 나타나 체절단면이 더욱 원형에 가깝다는 것을 시사한다(Gjerde, 1989). SS 1-2는 SS 1-1 보다 큰 수치로 포식군인 경우 O 위치 보다는 A 위치가 더욱 원형임이 파악되었다. 이러한 원형 정도의 척도인 횡단형은 차후, 영양 상태 파악을 위한 본 연구 기법으로 적용될 대상 어류에 대한 소비자 취향에 전적으로 좌우되겠지만, 상품성에 큰 영향을 줄 형질로 사료된다.

BTO 1, BTO 2 및 ABT에서 기아군에 비해 포식군의 비가 증가 하였음에도 불구하고 SS 3-1, SS 3-2에서는 기아군에 비해 포식군의 비가 감소로 나타나고 SS 3-3에서는 기아군에 비해 포식군의 비가 증가로 나타난 이유는 WO에서 기아군에 비해 포식군의 높은 비 2.27에 기인되었기 때문이다. 기아군은 포식군에 비해 높은 복강 크기 SS 4-1을 나타내었다.

본 연구의 체절단면에서 나타난 여러 형질들을 여타 어류의 기아 연구시 적용된다면, 기아시 어류들 간의 공통된 특정 변화 형질을 파악할 수 있을 것이며, 이렇게 파악된 특정 형질을 그 대상 어류의 생태계에서의 영양 상태 파악을 위한 지표로도 활용될 수 있으리라 사료된다. 본 연구 결과와 더불어, 어류에서 기아시 다양한 물질대사 경로를 조절하는 호르몬 역할 이해를 위하여 기아가

체내 L-Thyroxine (T_4) (Higgs and Eales, 1978) 혹은 Adrenocortical hormone (Chan and Woo, 1978; Murat et al., 1981) 수준에 미치는 영향에 관한 조사가 필요하리라 사료된다.

넙치에서의 12주간 기아 일수 경과에 따라 포식군의 단백질량은 감소를 보인 반면 기아군은 단백질량에서 다소의 증가를 보였다. 이와같이 기아군에 비해 포식군의 단백질량이 낮게 나타나는 원인은 이 등(1999)이 지적한 바와 같이 포식군 간조직에 지방질 축적으로 인해, 단위 간 중량당 간세포 수의 상대적인 감소에 기인된 것으로 생각 되어진다. 반면, 기아군은 기아가 진행될수록 간조직 세포내에 존재하는 지방을 에너지 대사에 소모하여 간세포 조직내 세포질이 줄어들었으며, 이로 인한 간조직 정량시 간 중량당 간세포는 상대적으로 숫자가 증가하여, 포식군에 비해 단백질량에 있어 크게 나타나는 것으로 생각된다.

Mustafa and Mittal (1982)는 메기, *Clarias batrachus*의 간조직을 대상으로 단백질량을 조사한 바, 기아 개체와 먹이를 공급한 개체의 간조직 내 단백질량은 먹이를 공급한 개체가 기아 개체에 비해 높았으며, 또한 이러한 결과는 먹이 공급원에 함유된 단백질량에 따라 변한다고 하였다.

본 실험에서의 DNA량도 단백질에서의 결과와 마찬가지로 경향을 보여, 포식군의 DNA량은 실험 기간 중 일정한 반면, 기아군은 유의한 DNA량 증가를 보이고 있다. 이러한 결과는 포식 개체에 비해 기아 개체의 간세포 단위 무게당 많은 간세포에 기인된 것으로 생각되며 즉, 이것은 어류 기아시 단백질, 지방 탄수화물과 같은 세포간 구성물질의 활발한 이화작용으로 인해 세포간 물질의 양이 줄어들고 또한 세포 개개의 무게가 감소되는 반면, 간 단위 무게당 간세포 숫자는 오히려 증가함으로써 간 단위 무게당 단백질량, DNA량이 증가된 것임을 시사한다. 만약, 간세포 수 측정에 의한 세포 개개당 단백질 및 DNA량이 측정된다면, 이러한 단백질량 및 DNA량은 기아 일수가 연장될수록 감소될 것으로 사료된다.

12주간의 본 실험 기간에서 포식균의 RNA량은 일정하게 유지되는 반면, 기아균은 감소를 보였다. 이와같이 간세포의 RNA량 역시 먹이 공급원의 단백질량에 의해 결정되는 바, 이러한 결과는 단백질이 없는 먹이 공급이나 완전한 기아시 RNA량에서의 감소 효과로 나타나고 있다(Brachet, 1955). 역시 Brouche et al. (1970)은 잉어, *Cyprinus carpio*의 간 조직에서 단백질량과 RNA량의 감소는 절식에 의한 기아시 이루어진다고 보고한 바 있다.

어류 체 조직내 RNA-DNA 비는 섭식률과 성장률에 아주 민감하다고 보고되고 있는 바(Haines, 1973; Buckley, 1979b), 본 실험 종료시 포식균의 RNA-DNA 비는 9.56으로 기아균의 5.01인 RNA-DNA 비에 비해 높았으며, 이러한 결과는 버들치에서 포식균은 4.20의 RNA-DNA 비에서의 최대치를 보인 반면 기아균은 9주의 기아 기간 중 1.39~1.45의 낮은 RNA-DNA 비를 나타낸 바 있다(이 등, 1999). 비록 포식균은 기아균에 비해 상대적인 간세포 수 감소에 기인되어 낮은 단백질량 및 DNA량을 보였지만, 포식균은 RNA량 및 RNA-DNA 비에서 기아균에 비해 높게 나타나 단위 DNA량 당 RNA의 합성 즉, 단백질 합성이 활발히 이루어짐을 알 수 있었다. RNA량 조사는 RNA가 단백질 합성의 전구물이므로 개체의 성장을 판별할 수 있는 민감한 측정법이며(Bulow, 1970), DNA량은 환경 조건 변화에도 일정하므로 세포 수를 나타내는 지수로 사용된다(Dortch et al., 1983). 그러므로 RNA-DNA 비 파악은, RNA-DNA 비가 조직내 세포의 수와 크기에 영향을 받지 않으므로, RNA량 단독 조사만으로 물질대사 활성을 파악하는 것보다 더욱 정확한 방법이다(Haines, 1973).

기아시 혈액 *glucose*, 유리지방산 및 *hematocrit*에 대하여 *Atlantic cod*, *Gadus morhua* L. *European eel*, *Anguilla anguilla*, *pick*, *Esox lucius*, *toadfish*, *Opsanus tau*, *goldfish*, *Carassins auratus*, *American eel*, *Anguilla rostrata* (Kawatsu, 1966; Bilinski and Gardner, 1968; Tashima and Cahill, 1968;

Chavin and Young, 1970; Larsson and Lewander, 1973; Ince and Thorpe, 1976; Moon, 1983; Karma, 1996) 등에서 효과를 보고하였다. 그러나 이전의 연구에서는 단기적인 기아의 효과이기 때문에 본 연구에서 12주와는 차이를 보일 수 있을 것으로 생각된다. 급성 및 만성적으로 어체에 가해지는 기아현상은 생리·생화학적 반응에 대한 *stress*, 면역, 성장 및 생존율 등에 많은 영향을 미칠 수 있을 것이다. 따라서 혈액학적 지표는 일일변화 및 어체의 생리적 상태에 따라 변동 될 수 있는 항목이기 때문에 본 연구에서는 성장 및 사료효율 등 다른 분석 항목과 비교 검토하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

어체에 가해지는 여러 자극에 대하여 일어나는 비특이적인 생물반응을 *stress* 라고 하였으며, 이러한 *stress*의 원인이 되는 인자나 자극을 *stress* 요인으로 정의한다(Selye, 1958). *Stress*를 유발하는 요인은 크게 물리적, 화학적 및 생물학적 등의 외적 요인과 어체의 체내에서 일어나는 내적 요인으로 구분할 수 있다(Selye, 1958). 장기적인 *stress*에 노출되면 어체는 시상하부-뇌하수체-간신선축(Hypothalamic-pituitary-adrenocortical axis, HPA axis)을 통해 여러 가지 대사 반응을 일으키는데, 변연계(Limbic system)와 망상체(Reticular formation)를 통해 시상하부에서 부신피질자극호르몬 분비호르몬(Corticotrophin releasing hormone, CRH)이 분비되게 한다. CRH는 뇌하수체전에서 부신피질자극 호르몬(Adrenocorticotrophic hormone, ACTH)이 방출되도록 하며, ACTH는 표적기관인 간신선에서 Cortisol 방출을 촉진시켜, *stress* 대사 반응을 나타낸다. 따라서 cortisol은 *stress* 반응의 중요한 지표가 된다(Specker et al., 1989).

기아는 영양 결핍의 심한 형태로 혼수 및 위장관의 이화성 질환 등이 원인이 되며, 기아에 대한 기본적인 대사반응은 에너지와 신체조직의 보존하기 위하여 나타난다(정 등, 2003). Guyton (1991)은 기아시에 일어나는 생리적 변화는 다음의 세 단계를 거치는 것으로 보고하였다. 첫 번째 단계에서는 긴급 용도를

위하여 저장되었던 *glycogen*이 분해되어 *glucose*로 사용되며, 두 번째 단계에는 지질이 이용되면서 *oxaloacetate*에 비해 *Acetyl CoA*의 공급과잉이 일어나게 되어 어체는 산중독증(*Acidosis*)에 걸리게 되고, 세 번째 단계에서는 단백질이 고갈되면서 어체는 극심한 이상 상태에 빠지게 되는데 특히 세포기능에 필수적인 단백질 종류가 소모되면 사망할 수도 있다. 기아가 진행됨에 따라 당, 지질, 단백질 및 기타 필수 영양소들이 급격히 감소하게 되어 결과적으로 면역계, 순환계, 내분비계 등 생리체계의 총체적 이상 상태가 일어나 사망으로 이어지는 생리적 변화를 초래하게 된다.

본 연구에서 나타난 혈장 *cortisol* 농도는 4주와 8주에 포식군에서 높아지는 경향을 보였으나, 기아군에서 차이를 보이지 않았다. 또한 *glucose*의 경우 4주째까지는 증가 경향을 보이거나 이후 실험 시작시보다 낮아지거나 정체현상을 유지하는 것으로 나타났다. *Cortisol*은 급성 *stress*의 경우, 모든 어류에서 빠른 시간 내에 *stress* 반응을 나타내는 것으로 알려져 있다(*Pickering and Pottinger, 1989*). 특히, 연어류에서는 1시간 이내에 40~200 ng/mL로 증가하는 것으로 알려져 있으며, *glucose*의 경우, *cortisol* 증가에 의한 동반상승하는 것으로 알려져 있다(*Pickering and Pottinger, 1989*). *Barton and Iwama (1991)*는 *stress*에서 이러한 증가는 호르몬 반응에 따른 대사 반응의 결과라고 하였으며, *stress*를 받을 때 분비되는 *cortisol*의 작용으로 인한 *glucose* 신생합성(*Gluconeogenesis*) 효소에 대한 활성이 높아져 *glucose*가 분비되는 것으로 보고하였다.

기아가 아닌 다른 장기적인 *stress*의 경우에도 *stress* 반응은 HPA 축에 의한 *cortisol* 및 대사 관련 항목에서 증가하지만, 기아 *stress*의 경우에는 직접적으로 생명에 위협을 줄 수 있는 것이기 때문에 초기에는 신속하게 적응하기 위하여 *cortisol* 및 대사 관련 항목에서 증가를 보이거나, 장기적인 기아의 영향은 이러한 반응이 소실된다고 하였다(*정 등, 2003*). 따라서 기아 후기에는 그 농도가 크게

감소하여 체내 조직의 에너지원으로 사용하게 되고 그 결과 내부장기, 근육의 파괴와 지방조직의 극도 위축을 초래해 생존율에 악영향을 미친다.

따라서 본 연구에서 나타난 4주에 포식군은 실험 과정 중 다른 외적 스트레스 요인에 의해 증가된 것으로 사료된다. 그러나 기아군의 경우, *cortisol* 농도에서는 증가되지는 않았지만, *glucose*가 증가된 것으로 보아, 체내 저장되었던 *glycogen*이 분해되어 *glucose*로 사용하고 있는 것으로 보여진다. 그러나 생존율이 4주까지 크게 감소하지 않은 것으로 추측하여, 아직까지는 기아 후기에 나타나는 내부장기, 근육의 파괴와 지방조직의 극도 위축을 초래해 생존율에 악영향을 미치지 않는 것으로 사료된다.

Sumpter *et al.* (1991)은 무지개송어, *Oncorhynchus mykiss*를 사용하여 기아시 *cortisol*과 성장호르몬 농도에 대하여 보고하였는데, *cortisol* 농도의 경우, 1주~3주까지는 포식군보다 유의하게 증가하는 것으로 나타났으나, 4주에는 포식군과 차이를 보이지 않는 것으로 보고하였다. 또한 성장호르몬 농도는 기아군에서 1주~4주까지 포식군보다 유의하게 높아지는 것으로 보고하였다. 기아군의 *cortisol* 농도는 본 연구에서 실험 시작 후 4주에 처음 표본을 하였기 때문에 이전의 결과는 알 수 없으나, 4주의 경향으로는 무지개송어와 일치하였다.

Harris and Bird (2000)에 의하면 *cortisol* 농도가 증가하면 면역능력이 저하되어 성장 및 생존에 악영향을 미치는 것으로 보고하였다. 본 연구에서는 성장호르몬을 분석하지는 않았으나, Sumpter *et al.* (1991)의 보고에서처럼 성장호르몬이 더 영향을 주었을 것으로 생각된다.

혈액 성분 분석 항목인 *hematocrit*, *hemoglobin*, RBC 및 MCH 등에서 나타난 결과는 포식군과 기아군의 차이를 보이지 않아, 기아에 따른 영향으로 혈액 성분에는 큰 영향을 주지 않은 것으로 나타났다. 기아에 따른 혈액 성분 중 *hematocrit*에 대하여 무지개송어와 pick (Kawatsu, 1966; Ince and Thorpe,

1976)는 증가하는 것으로 보고하였으나, *European eel* (Larsson and Lewander, 1973)에 대하여는 감소하는 것으로 보고하여, 어종에 따라서 차이를 보이는 것으로 나타났다. Love (1970)는 기아시 *hematocrit* 값의 감소는 어류의 새로운 RBC의 생성에 대한 능력을 감소시킬 수 있음을 예견하였으나, 본 연구에서는 기아군에서 실험 종료시까지 RBC 감소는 나타나지 않았다.

삼투압 조절 항목인 Na^+ , Cl^- , K^+ 등에서는 차이를 보이지 않았으나, 삼투질 농도에서 포식군보다 기아군에서 감소하는 경향을 보였다. 기아군의 경우, 실험 시작후 4주부터 삼투압 조절 능력에 혼란을 보이고 있음을 짐작할 수 있다. 즉 기아로 인한 항상성(Homeostasis) 유지 측면에서 체 에너지로 많이 소비되므로 삼투압 조절을 위한 이온 조절에 사용되어야 할 에너지는 감소되어, 4주 이후에 항상성 유지에서 문제를 일으키는 것으로 보여진다.

AST와 ALT의 경우, 아민기 전이효소의 일종으로 간, 비장 등의 세포에 분포하여 생물체가 건강할 때는 혈중의 활성이 낮아졌다가 조직의 피사가 일어나거나, 병적 증상이 나타날 때 활성이 높아지는 것으로 알려져 있다(Davis and Parker, 1990). 본 연구에 나타난 AST와 ALT의 값은 실험 시작시와 큰 차이를 보여 기아 *stress*에 따른 간 및 비장 등의 조직에서 생리적 부담을 받고 있는 것으로 추측된다.

어류의 산소 소비는 수온(Brett and Glass, 1973; Wi and Chang, 1976), 염분(Rao, 1971; Forsberg, 1994), 광주기(Withey and Saunders, 1973), 어체크기(Brett and Glass, 1973), 사료공급량(Brett and Groves, 1979) 및 *stress* 정도(Smart, 1981; Barton and Schreck, 1987) 등 여러 가지 요인에 의해 달라지는 것으로 알려지고 있다. Gardner and King (1923)은 어류는 일반적으로 적정온도 범위에서 수온의 상승에 비례하여 산소 소비량이 증가한다고 하였다. 또한 Wi and Chang (1976)의 연구에서도 수온 상승에 따른 산소 소비량은 Q_{10} 의 법

칙에 일치한다고 하였다. 본 연구에 나타난 산소 소비량의 결과는 기아군보다는 포식군에서 산소 소비가 활발함을 알 수 있었으며, 수온 상승시에도 Gardner and King (1923)과 Wi and Chang (1976) 결과와 일치하였다.

호흡수의 경우에도 포식군보다는 기아군에서 낮은 수를 보였다. 산소 소비량과 호흡수 등은 체내의 에너지 소비 및 활성 등을 직접적으로 판단할 수 있는 항목이므로 포식군이 정상적이라고 판단할 경우, 기아군은 체내의 에너지 활력이 포식군보다는 매우 떨어지는 것으로 보여진다.

본 연구 결과, 넙치에서 12주간에 걸친 포식과 기아시 기아군은 포식군에 비해 낮은 비만도를 보였으며 낮은 일일성장률을 보였다. 이러한 포식과 기아에 따른 성장 효과는 dressing 비에서도 나타나 dressing 비는 포식군이 높은 반면 내장피지수는 기아군이 더욱 높았다. 간중량지수는 실험 기간 중 포식군에서는 일정하게 유지된 반면 기아군은 감소하였다. 기아군에서 간중량지수가 포식군에 비해 낮은데도 불구하고 기아군의 내장피지수가 높게 나타난 이유는, 넙치 12주간 기아시 1차적인 저장 에너지 소모 조직은 근육조직이며 또한, 넙치 기아시 내장피 중 간이 근육조직과 마찬가지로 우선적이 저장 에너지 소모 기관으로 기인되었기 때문으로 추측할 수 있다.

외부 계측형질 중 *truss dimension*에서 포식군은 기아군에 비해 몸통의 체고 관련 형질에서 증가를 보였고, *classical dimension*에서 포식군은 체측 하반부 길이 성장 관련 항목에서 증가를 보였으며, 두부 관련 형질에서는 기아군은 증가한 반면 포식군은 감소하였다. 기아군은 포식군에 비해 체 절단면에서 매우 낮은 수치를 보였으며 몸통 부위에서의 체 절단면 관련 형질이 기아와 포식시 우선적으로 변화하였다. 포식과 기아시 이러한 몸통 부위에서의 우선적인 형질 변화는 외부 계측형질의 *truss dimension*인 경우 몸통의 체고 관련 형질에서도 나타난 바 있다.

복강 체벽은 기아군에 비해 포식군이 크게 나타났다. 포식군은 기아군에 비해 체 절단면이 더욱 원형에 가까웠으며, 이러한 체 절단면에서의 형태는 포식군의 상품 가치를 좌우할 수 있으리라 사료된다. 단백질량과 DNA량에서 포식군은 감소한 반면, 기아군은 증가를 보였고 RNA량에서 포식군은 증가, 기아군은 감소를 보였다. RNA-DNA 비에서는 포식군은 증가한 반면 기아군은 감소하여 기아군에 비해 포식군은 RNA 합성 즉, 물질대사가 활발함을 시사하였다.

혈액학적인 측면에서 본 연구의 결과는 포식군보다는 기아군에서 실험 시작 후 4주 이후에 문제를 일으키는 것으로 여러 항목에서 나타났다. 장기적인 기아는 양식 현장에서 자주 일어나는 현상은 아니다. 그러나 생물검정 측면에서 기아에 대한 생물체의 생리학적 변화 경향 등은 면역, 생존율 및 성장 등에 중요한 요인으로 작용하기 때문에 여러 가지 측면에서 연구가 진행되어야 할 것이다. 본 연구에서 나타난 넙치 기아시의 영향은 추후 이러한 연구를 위한 기초 자료로 유용하게 활용될 것으로 생각된다.

연구 결과, 본 실험에서 포식과 기아 파악에 사용된 모든 영양적 *parameter* 들은 본 종의 영양 상태 확인의 지표로 유용할 것이며 가자미목, 넙치과 어류의 분류학적 측면에서도 유용하게 사용될 수 있을 것이다. 또한, 본 실험에서의 영양적 *parameter* 들은 넙치 영양 상태 파악 지수로 유용하며 넙치 표본 시기에서의 높은 성장 단계인지 혹은 낮은 성장 단계인지의 성장 활성 파악도 가능케 하여 양식 생물학적 차원에서도 그 의미가 있을 수 있다.

V. 국 문 요 약

넙치, *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel)에서 포식과 기아가 생존과 성장, *phenotypic trait*와 간중량지수, 외형과 체 절단면 계측형질 변화, 생화학적 변화, 혈액 *parameter* 및 호흡능력에 미치는 영향을 파악하기 위해 12주에 걸친 포식과 기아 실험을 수행하였다.

기아군의 생존과 성장은 포식군의 생존과 성장에 비해 낮았다. 예상대로, 기아는 최종 체중의 감소, 체중성장률, 일일성장률과 비만도에서 성장 정지 효과를 나타낸 반면, 포식군은 지속적인 성장을 보였다. 기아군은 포식군에 비해 낮은 내장피 제거 체중과 아울러 유사한 내장피지수와 *dressing* 비를 보였다. 비록 기아군은 포식군에 비해 높은 함량의 단백질과 DNA를 보였지만, 기아는 간중량지수에서의 감소를 야기하였다. 실험 후 12주에서 기아군($RNA/DNA=9.7$)은 포식군($RNA/DNA=3.5$)에 비해 유의하게 구별되었다($P<0.05$).

12주간의 기아는 비만도 및 내장피지수 결과와 마찬가지로 모든 체 절단면 형질에서 감소를 보였다. 체 절단 형질 중에서도 포식과 기아시 가장 유의하게 영향을 많이 받는 부위는 몸통이었다($P<0.05$).

포식시 *truss dimension*인 경우, 몸통 부위의 체고 관련 형질이 증가하였다. 이와같은 넙치에서의 몸통 체고 관련 형질은 상이한 서식지에 따른 먹이 섭취 차이에서의 다양성 구명에 유용할 것이다. 복강 부위 횡단길이 관련 *classical dimension*은 포식시 증가하였으며 *classical dimension*의 두부 관련 형질은 기아시 증가한 반면, 포식시는 감소하였다.

실험 기간 중 *hematocrit*, *hemoglobin*, *red blood cell*, 평균 적혈구 혈색소량, 평균 적혈구 혈색소 농도와 평균 적혈구 용적의 혈액 *parameter*에서 포식

군과 기아군 간에 유의한 차이는 없었다($P>0.05$). *Cortisol*, *glucose*, Na^+ , Cl^- , K^+ 및 *aspartate aminotransferase*에서 포식군과 기아군 사이에는 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). 기아군은 포식군에 비해 혈장 *alanine aminotransferase*에서는 고농도인 반면, 혈장 삼투질 농도에서는 저농도를 보였다.

기아군이 포식군에 비해 산소 소비효율과 호흡수에서 낮게 나타났으며, 이러한 결과는 기아군에서의 낮은 에너지 물질 대사 활성을 반영하고 있다.

본 연구 결과, 포식과 기아 파악에 사용된 모든 *parameter*들은 본 종의 영양 상태 확인의 지표로 유용하며, 넙치 표본시의 성장 시기 평가 결정에 유용하리라 사료된다. 부가적으로, 본 연구 결과를 상세하게 해석하였으며 일부 생물학적 주요 연관성들에 대해 논의하였다.

VI. 감사의 글

우연한 기회로 인해 학문의 길로 들어선지 어언 2년 반이 흘렀습니다. 그동안 많이 부족하고 서툴러서 속상하기도 하였으나, 이렇게 학위를 마무리할 때 즈음하여 아쉬움이 너무 많습니다. 많은 동료들을 만났고 좋은신 분들도 많이 뵙게 되어 아쉬움 만큼이나 감사하고픈 분들 또한 많습니다. 이 논문이 완성되기까지 많은 도움을 주신 분들에게 제 마음이 모두 전해질지는 모르겠으나, 이 작은 페이지를 빌어 감사의 마음을 전하고자 합니다.

먼저 저에게 학문의 길을 걸을 수 있도록 기회를 주시고, 때로는 엄한 스승으로서 때로는 따뜻하고 인자하신 아버지처럼 학문의 길을 이끌어주신 지도교수 박인석 박사님께 진심어린 존경과 감사의 마음을 전합니다. 바쁘신 와중에도 논문이 마무리 되기까지 꼭 지켜 보시며 격려와 관심을 잊지 않으시고 애정으로 봐주신 심사위원장 조성환 교수님과 심사위원 허준욱 박사님께 감사드립니다.

학부에 입학하고 부터 지금까지 많은 관심과 격려로 토닥여 주신 한국해양대학교 해양환경·생명과학부의 강효진 교수님, 노일 교수님, 서영완 교수님께 감사드립니다. 항상 저를 지켜봐 주시고 칭찬과 충고를 해주신 이호진 교수님, 안종웅 교수님, 임선영 교수님, 최철영 교수님 그리고 이경은 교수님께도 진심으로 감사드립니다.

학위과정을 같이 시작하였으나 함께 끝내지 못하여 못내 아쉬워하며 걱정과 격려로 끝까지 용기와 힘을 북돋워준 친구들 김유아님, 정지혜님, 박기의님 그리고 부경대학교 최별님께도 진심으로 감사드립니다. 가족보다도 더 많은 시간을 함께 하며, 서로를 지탱해 주는 기둥처럼 가끔은 따뜻한 후원자로서 때로는 엄한 조언자로서 함께 해준 이수진님께 진심으로 감사드립니다.

논문을 마무리 짓는 동안 자나 깨나 항상 옆에서 지켜봐 주고 어려움 없이 끝낼 수 있도록 언제나 변함없이 묵묵히 도와준 후배 김은미님을 비롯한 한국해양대학교 수산유전육종학 실험실원들께 진심으로 감사드립니다. 또한 학위과정 동안 행정적

으로 미흡한 저에게 도움을 주고 친구로서 힘이 되어준 조교 정현인님께 감사드립니다. 논문이 마무리되기 까지 많은 걱정과 관심으로 격려를 해준 해양과학부 99학번 동기들, 후배님들 그리고 한국해양대학교 불교학생회 선·후배님들께 진심으로 감사드립니다.

그리고 학문의 길과 바탕을 일깨워 주시고 부족함이 많은 저를 항상 걱정과 격려로 채워주신 부경대학교 김동수 교수님과 남윤권 교수님께 감사드립니다. 논문을 위해 실험 장치를 기꺼이 빌려 주시고, 실험하는 동안 편하게 실험할 수 있도록 배려해 주시고, 충고와 격려를 해주신 장영진 교수님께 진심으로 감사드립니다. 학위 논문을 위해 실험적으로 도움을 주시고 격려를 해주신 군산대학교 박관하 교수님과 한국해양대학교 송영채 교수님께도 감사를 드립니다.

논문 뿐만 아니라 어떠한 일에서도 충고와 조언을 구할 때 성심성의껏 본인의 일처럼 걱정해주신 부경대학교 이상윤 박사님, 최윤희 박사님, 임재현 박사님 그리고 지금은 국립수산과학원에 계신 노재구 박사님께 감사드립니다. 또 모자란 저에게 항상 친구같이 따뜻하게 가르쳐 주며 언제나 저의 건강을 걱정해준 박지은 선배님, 많은 관심과 충고를 아끼지 않으시는 민병화 선배님께도 진심으로 감사드립니다.

학위과정 동안 어려운 일, 기쁜 일, 힘든 일들을 본인의 일처럼 여기고 함께 걱정하고 기뻐했던 부경대학교 손동현 선배님, 이승기 선배님, 강선영님께 감사드리며, 논문을 위해 실험하는 동안 불편함이 없도록 많은 도움을 주시고 자신의 논문처럼 많은 관심을 가져주신 부경대학교 정민환 선배님, 노경언 선배님께 진심으로 감사드립니다.

마지막으로 너무 사랑하는 우리 가족들, 공부를 한다는 핑계로 도와 드리지도 못하는 모자란 만딸을 사랑으로 믿고 고생하시는 우리 엄마, 지금은 병원에 계셔서 많이 약해 지셨지만 이 못난 딸을 사랑으로 지켜봐 주시는 아빠 그리고 언제나 친구 같지만 때로는 조언자로 한몫 톡톡히 하는 사랑하는 내 동생 선남이에게 사랑한다는 말과 함께 감사함을 전합니다. 학위과정 동안 인생의 선배로서 가끔은 고민을 털어 놓는 친구처럼 항상 옆에서 정신적으로 많은 힘이 되어준 우리 막내 이모와 이모부님께 진심으로 감사의 마음을 전하며, 이 모든 분들께 논문을 바칩니다.

VII. 참고 문헌

- Barton BA and CB Schreck, 1987. Metabolic cost of acute physical stress in juvenile steelhead. *Trans. Am. Fish. Soc.* **116**: 257-263.
- Barton BA and GK Iwama, 1991. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. *Annu. Rev. Fish Dis.* **1**: 3-26.
- Bilinski E and LJ Gardner, 1968. Effect of starvation free fatty acid level in blood plasma and muscular tissues of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Fish. Res. Bd Can.* **25**: 1555-1560.
- Brachet J, 1955. The biological role of the pentose nucleic acids. The Nucleic Acids, Chargaff E and JN Davidson (eds.), in *Chemistry and Biology*, Vol. 2, Academic Press, New York, 576 pp.
- Brett JR and NR Glass, 1973. Oxygen consumption and critical swimming speeds of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) in relation to size and temperature. *J. Fish. Res. Bd Can.* **30**: 397-387.
- Brett JR and TDD Groves, 1979. Physiological energetics. Hoar WS, DJ Randall and JR Brettin (eds.), in *Fish Physiology*, Vol. VIII, Academic Press. New York, pp. 279-352.
- Brouche G, Y Creach and N Gas, 1970. Fasting and renutrition of carp (*Cyprinus carpio* L.). I. Influence on the nucleic acids of liver. *Arch. Sci. Physiol.* **24**: 243-251.
- Buckley LJ, 1979a. Biochemical changes during ontogenesis of cod (*Gadus morhua* L.) and winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*) larvae. in *Symposium on the Early Life History of Fish*. Woods Hole, ICES/ELH

- Symp./SD, Massachusetts, U.S.A., 1027 pp.
- Buckley LJ, 1979b. Relationships between RNA-DNA ratio, prey density, and growth rate in Atlantic cod (*Gadus morhua*) larvae. *J. Fish. Res. Bd. Can.* **36**: 1497-1502.
- Buckley LJ, 1980. Change in ribonucleic acid, deoxyribonucleic acid and protein content during ontogenesis in winter flounder, *Pseudopleuronectes americanus*, and the effect of starvation. *Fish. Bull.* **77**: 703-708.
- Bulow FJ, 1970. RNA-DNA ratios as indicators of recent growth rates of a fish. *J. Fish. Res. Bd. Can.* **27**: 2343-2349.
- Bulow FJ, ME Zeman, JR Winningham and WF Hudson, 1981. Seasonal variations in RNA-DNA ratios and in the indicators of feeding, reproduction, energy storage and condition in a population of bluegill, *Lepomis macrochirus* Rafinesque. *J. Fish. Biol.* **18**: 237-244.
- Chan DKO and NYS Woo, 1978. Effect of cortisol on the metabolism of the eel, *Anguilla japonica*. *Gen. Comp. Endocrinol.* **35**: 205-215.
- Chavin W and JE Young, 1970. Factors in the determination of normal serum glucose levels of goldfish, *Carassius auratus* L. *Comp. Biochem. Physiol.* **33**: 629-653.
- Currens KP, CS Sharpe, R Hjort, CB Schreeck and HW Li, 1989. Effect of different feeding regimes on the morphometrics of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and rainbow trout (*O. mykiss*). *Copeia* **3** : 689-695.
- Dalla V, JP Villani, E Gasteiger and H Niederstätter, 1998. Oxygen consumption in sea bass fingerling *Dicentrarchus labrax* exposed to

- acute salinity and temperature change: metabolic basis for maximum stocking density estimations. Aquaculture* **169**: 303-313.
- Davis KB and NC Parker, 1990. *Physiological stress in striped bass: effect of acclimation temperature. Aquaculture* **91**: 349-358.
- Donaldson EM, 1981. *The pituitary-interrenal axis as an indicator of stress in fish. Pickeringed AD (eds.), in Stress in Fish, Academic Press, London, pp. 11.*
- Dortch Q, TL Roberts, JR Clayton and SI Ahmed, 1983. *RNA/DNA ratios and DNA concentrations as indicators of growth rate and biomass in planktonic marine organism. Mar. Ecol. Prog. Ser.* **13**: 61-71.
- Duncan DB, 1955. *Multiple-range and multiple F tests. Biometrics* **1**: 1-42.
- Ehrlich KF, JHS Blaxter and R Pemberton, 1976. *Morphological and historical changes during the growth and starvation of herring and plaice larvae. Mar. Biol.* **35**: 105-118.
- Erez J, MD Krom and T Neuwirth, 1990. *Daily oxygen variations in marine fish ponds, elat, Israel. Aquaculture* **84**: 289-305.
- Forsberg OI, 1994. *Modelling oxygen consumption rates of post-smolt Atlantic salmon in commercial-scale land-based farms. Aqua. Int.* **2**: 180-196.
- Gardner JA and G King, 1923. *Respiratory exchange in freshwater fish. Part VI. On pike (Esox lucius). Biochem J.* **17**: 170-173.
- Gjerde B, 1989. *Body traits in rainbow trout: Phenotypic means and standard deviation and sex effects. Aquaculture* **80**: 7-24.
- Gjerde B and LR Schaeffer, 1989. *Body traits in rainbow trout. II. estimates*

- of heritabilities and of phenotypic and genetic correlations. *Aquaculture* **80**: 25-44.
- Guyton AC, 1991. *Textbook of Medical Physiology*. 8th, Wonsiewicz MJ and Hallowell R (eds.), WB Saunders Company, Philadelphia, 782 pp.
- Haines TA, 1973. An evaluation of RNA-DNA ratio as a measure of long-term growth in fish populations. *J. Fish. Res. Bd Can.* **30**: 195-199.
- Harris, J and DJ Bird, 2000. Modulation of the fish immune system by hormones. *Vet. Immunol. Immunopathol.* **77**: 163-176.
- Higgs DA and JG Eales, 1978. Radiothyroxine kinetics in yearling brook trout, *Salvelinus fontinalis* (Mitchill), on different levels of dietary intake. *Can. J. Zool.* **56**: 80-85.
- Hubbs CL and KF Lagler, 1947. *Fishes of the Great Lakes Region*. *Cranbrook Instit. Sci. Bull.* **26**: 186.
- Humphries JM, FL Bookstein, B Chernoff, GR Smith, RL Elder and SC Poss, 1981. Multivariate discrimination by shape in relation to size. *Syst. Zool.* **30**: 291-308.
- Hussen PE, HE Booke, JM Casselman, JM McGlade, NR Payne and FM Utter, 1981. Stock identification: materials and methods. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **38**: 1838-1855.
- Ince BW and A Thorpe, 1976. The effects of starvation and force-feeding on the metabolism of the northern pike, *Esox lucius* L. *J. Fish Biol.* **8**: 79-88.
- Itazawa Y and I Hanyu, 1991. *Fish Physiology*. Koseisha Koseikaku, Tokyo, Japan, 621 pp.

- Ito T, A Watanabe and Y Takahshi, 1962. Histologische and cytologische untersuchungen der leber bei fisch und cyclostoma, nebst bemerkungen uber die fett-speicherung - zellen. *Arch. Histol. Jap.* **22**: 429-463.
- Karma SK, 1966. Effects of starvation and refeeding on some liver and blood constituents of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *J. Fish. Res. Bd Can.* **23**: 975-982.
- Kawatsu H, 1966. Studies on the anaemia of fish. 1. Anaemia of rainbow trout caused by starvation. *Bull. Freshwater Fish. Res. Lab. Tokyo* **15**: 167-173.
- Larsson A and K Lewander, 1973. Metabolic effects of starvation in the eel, *Anguilla anguilla* L. *Comp. Biochem. Physiol.* **44A**: 367-374.
- Love RM, 1970. Depletion. in *The Chemical Biology of Fishes with a Key to the Chemical Literature*, Academic Press, London, pp. 222-257.
- Lowery OH, JN Rosebrough, AL Farr and RJ Randall, 1951. Protein measurement with frolin phenol reagent. *J. Biol. Chem* **130**: 265-275.
- Min BS, 1988. Maturation and spawning of flounder (*Paralichthys olivaceus*) under captive conditions. *J. Aquacult.* **1**: 25-39.
- Moon TW, 1983. Metabolic reserves and enzyme activities with food deprivation in immature American eels, *Anguilla rostrata* (Lesueur). *Can. J. Zool.* **61**: 802-811.
- Murat JC, EM Plisetskaya and NYS Woo, 1981. Endorine control of nutrition in cyclostomes and fish. *Comp. Biochem. Physiol.* **68**: 149-158.
- Mustafa S and A Mittal, 1982. Protein, RNA and DNA levels in liver and

- brain of starved catfish, *Clarias batrachus*. *J. Ichthyol.* **28**: 396-400.
- Ohnishi ST and Barr JK, 1978. A simplified method of quantitating protein using the biuret and phenol reagents. *Anal. Biochem.* **86**: 193.
- Oliveraw M and J Leloup, 1950. Variations du rapport hepatomatique chez la rousseye (*Scyllium canicula* L.) au cours de development et la reproduction. *Vie. Milieu.* **1**: 377-420.
- Park I-S, JM Im, DK Ryu, YK Nam and DS Kim, 2001. Effect of starvation on morphometric changes in *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry). *J. Appl. Ichthyol.* **17**: 277-281.
- Pickering AD and TG Pottinger, 1989. Stress responses and disease resistance in salmonid fish: Effects of chronic elevation of plasma cortisol. *Fish Physiol. Biochem.* **7**: 253-258.
- Pickford CE, 1953. A study of the hypophysectomized male killfish, *Fundulus heteroclitus* (Linn.) *Bull. Bingham Oceanogr. Coll.* **14**: 5-14.
- Rao MM, 1971. Influence of activity and salinity on the weight dependent oxygen consumption of the rainbow trout *Salmo gairdneri*. *Mar. Biol.* **8**: 205-212.
- Riddell BE, WC Leggett and RL Saunders, 1981. Evidence of adaptive polygenic variation between two populations of Atlantic salmon (*Salmo solar*) native to tributaries of the S. W. Miramichi River. *N. B. Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **38**: 321-333.
- Schneider WC, 1957. Determination of nucleic acids in tissues by pentose analysis. Colowick SP and NO Kaplan (eds.), in *Methods in Enzymology*, Vol. 3, Academic Press, New York, 1154 pp.

- Selye H, 1958. *The stress of life*. Longmans Green and Co, Toronto, pp. 1-50.
- Smart G, 1981. Aspects of water quality producing stress in intensive fish farming. Pickering AD (eds.), in *Stress in Fish*, Academic Press, London, pp. 277-293.
- Specker CB, CS Bradford, MS Fitzpatrick and R Patino, 1989. Regulation of the interrenal of fishes: Non-classical control mechanism. *Fish Physiol. Biochem* **7**: 259-265.
- Strauss RE and CE Bond, 1990. Taxonomic methods, morphology. Schreck CB and PB Moyle (eds.), in *Methods for Fish Biology*. Amer. Fish. Soc., Bethesda, Maryland, pp. 125-130.
- Strauss RE and FL Bookstein, 1982. The Truss: body form reconstructions in morphometrics. *Syst. Zool.* **31**: 113-135.
- Sumpter JP, PY Le Bail, AD Pickering, TG Pottinger and JF Carragher, 1991. The Effect of starvation on growth and plasma growth hormone concentrations of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Gen. Comp. Endocr.* **83**: 94-102.
- Tashima L and CF Cahill, 1968. Effects of insulin in the toadfish, *Opsanus tau*. *Gen. Comp. Endocrinol.* **11**: 262-271.
- Taylor EB and JD McPhail, 1985. Variation in burst and prolonged swimming performance among British Columbia populations of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **42**: 2029-2033.
- Theilacker GH, 1987. Effect of starvation in the histological and morphological characteristics of jack mackerel, *Trachurus symmetricus*

- larvae, *Fish. Bull. U.S.* **76**: 403-414.
- Ueno K, Y Ikenaga and H Kariya, 1986. Potentiality of application of triploidy to the culture of ayu, *Plecoglossus altivelis* Temminck et Schlegel. *Jpn. J. Genet.* **61**: 71-77.
- Weatherley AH and HS Gill, 1981. Recovery growth of following periods or restricted rations and starvation in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *J. Fish Biol.* **18**: 195-208.
- Weatherley AH and HS Gill, 1987. The biology of fish growth. 4. Protein, lipid and caloric contents. Academic press, London, pp. 139-146.
- Wi JH and YJ Chang, 1976. A basic study on transport of live fish (I). *Bull. Fish. Res. Dev. Insti. Kor.* **15**: 91-108.
- Winans GA, 1984. Multivariate morphometric variability in Pacific salmon: technical demonstration. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **41**: 1150-1159.
- Withey KG and RL Saunders, 1973. Effect of reciprocal photoperiod regime on standard rate of oxygen consumption of postsmolt Atlantic salmon (*Salmo salar*). *J. Fish. Res. Bd. Can.* **30**: 1898-1900.
- 박인석, 2004. 버들치, *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry) 기아시 일부 형질에서의 효과: 개관. *환경생물*, **22**: 351-368.
- 박인석 · 이창규 · 임재현 · 김정혜, 1998. 조피볼락, *Sebastes schlegeli* 자어와 점농어, *Lateolabrax* sp. 자어의 기아시 성장 및 간세포 핵크기 변화. *한국양식학회지*, **11**: 345-352.
- 박인석 · 임재현 · 정창화 · 노재구 · 김윤해 · 이용호, 2002. 기아시 버들치 *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry)의 일부 영양 조건에서의 효과. 2. 체 절단면 계측형질의 변화. *한국어류학회지*, **14**: 11-18.

- 박인석 · 장창익, 1994. 산천어, *Oncorhynchus masou* 2배체와 유도 3배체의 형태학적 차이. 한국어류학회지, **6**: 206-221.
- 이근광 · 김용호 · 박인석, 1999. 기아시 버들치 *Rhynchocypris oxycephalus*의 일부 영양 조건에서의 효과. 1. 생화학적, 조직학적 변화 특징. 한국어류학회지, **11**: 33-41.
- 이창규 · 박인석 · 허성범, 1998. 기아시 붉바리 자어의 간세포 핵 변화. 한국양식학회지, **11**: 11-17.
- 정민호 · 윤정문 · 이태희, 2003. 맥문동이 기아 stress로 유발된 생쥐의 혈중 corticosterone 농도 변화에 미치는 영향. 대한본초학회지, **18**: 279-287.
- 정의영 · 이근광 · 오영남, 1991. 자성짱뚱어의 난소 발달단계에 따른 간세포의 활성변화 및 간조직의 단백질, 핵산함량에 관한 연구. 한국어류학회지, **3**: 48-57.
- 최윤 · 김지현 · 박종영, 2002. 한국의 바닷물고기. 교학사, 서울, 645 pp.
- 해양수산부, 2002. 해양수산통계연보. 대한민국 해양수산부, 327 pp.
- 해양수산부, 2004. 해양수산통계연보. 대한민국 해양수산부, 343 pp.