

<Review Paper>

버들치, *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry)
기아시 일부형질에서의 효과: 개관

박 인 석

한국해양대학교 해양과학기술대학 해양과학부

Effect of Starvation on Some Parameters in *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry): A Review

In-Seok Park

Division of Ocean Science, College of Ocean Science and Technology,
Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

Abstract - Following the previous experiments, a starvation experiment was conducted to determine the influence of feeding and starvation on the histological and biochemical changes, the morphometric changes in the sectioned body and the morphometric changes in *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry). The influence of starvation on nutritional conditions of the histological changes of hepatocyte and intestinal epithelium as hepatosomatic index (HSI), protein, RNA and DNA concentrations of liver in *R. oxycephalus* was tested. Although the starved group showed higher concentrations of protein, DNA and RNA than the fed group, food deprivation resulted in a decrease in the HSI, hepatocyte nucleus size and nuclear height of the intestinal epithelium. The RNA-DNA ratio appears to be a useful index of nutritional status in *R. oxycephalus* and may be useful for determining if *R. oxycephalus* is in a period of rapid or slow growth at the time of sampling. Additionally, the data have been interpreted in detail and some biologically important relationships discussed. The effects of starvation on the morphometrical changes in sectioned body traits, condition factor, viscera index and dressing percentage were determined for evaluating nutritional conditions of *R. oxycephalus*. Starvation for nine weeks resulted in a decrease in most sectioned traits as well as in condition factor and viscera index ($P < 0.05$). These findings suggest that nutritional parameters used in this study appear to be a useful index for nutritional status in this species. The data has been interpreted in detail and some important body sectioned values of interest to commercial growers discussed. A 75-day study was conducted to determine the effect of starvation on classical and truss parameters in *R. oxycephalus*. Truss dimensions of almost the entire head and trunk region as well as the abdomen were increased significantly through feeding or starvation ($P < 0.05$). Truss dimensions of the caudal region generally decreased through feeding or starvation, particularly those dimensions at the hind part of the trunk. There were some significant decreases in classical dimensions of the head region during feeding, in relation to

* Corresponding author: In-Seok Park. Tel. 051-410-4321,
Fax. 051-405-4322, E-mail. ispark@hhu.ac.kr

body depth characteristics in the trunk and caudal region during starvation, whereas there was only one decreasing classical dimension in the caudal region during feeding. The results of this study indicate that application of the truss network as a character set enforces classical coverage across the body form, discrimination among experimental groups thus being enhanced. Considering that the dimension of the lower part of the head and some truss and classical dimensions were least affected by feeding and starvation, these dimensions may then be useful as a taxonomical indicator to discriminate the species of *Rhynchocypris* sp. The value of trunk region dimensions with a large component of body depth in *R. oxycephalus* is most likely to be compromised by variability related to differences in feeding regimes of fish in different habitats.

Key words : starvation, *Rhynchocypris oxycephalus*, fed group, starved group, nutritional parameters (histological, biochemical and morphometric changes)

버들치, *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry)는 잉어과(Cyprinidae), 황어아과(Leuciscinae)에 속하는 담수어류로 일본의 서부 및 중국의 북서부에 분포하며, 국내에서는 서해안과 남해안의 하천계 지류와 산간 계곡에 서식한다(민과 양 1986; 김 1997; 박 등 1998a). 현재까지 국내에서의 버들치를 대상으로 한 연구로는 분류·분포 및 지리적 변이(민과 양 1986), Flowcytometry와 세포유전학적 분석(이 등 1987; 박 등 2002a)이 이루어진 바 있다.

버들치는 우리나라 수계에서 5번째의 흔한 어류로서(김 1997), 넓은 분포에 따른 채집의 용이성과 아울러, 수질과 수온 변화에도 저항성이 있고 그 최대 크기가 비교적 작고 생활환이 비교적 짧아서 실험동물(Experimental animal)로서의 가치가 충분히 있다(Park *et al.* 2001). 이러한 차원에서 버들치를 대상으로 안전성이 있는 마취제인 염산리도카인-NaHCO₃의 마취효과(박 등 1998e), 버들치속 어류인 버들개 *R. steindachneri* 운송을 위한 마취제 염산리도카인-NaHCO₃의 평가(박 등 1998d), 버들치에서의 외과적 상처치유(박 등 1998c), 버들치의 난발생(Park *et al.* 1999), 버들치 초기 생식소발달과 성분화에 관한 조직학적 연구(박 등 1998a) 및 저온처리에 의한 버들치 척추기형(박 2000)등의 연구들이 이미 수행된 바 있다.

대부분의 어류는 계절적으로 월동(Wintering), 산란이동(Spawning migration) 혹은 지역적인 먹이 감소로 인한 자연 기아(Starvation)시기를 거치게 되며 이러한 기아의 시기는 수 주에서 수 개월(혹은 수 년)에 이른다(Love 1970). 그러나 기아시의 어류는 생화학적 방법, 생리학적 방법 그리고 행동학적 방법으로 기아를 극복하고 견딜 수 있으며 기아시 어체는 생체내 기본 과정인 체내 조직내의 내생적(Endogenous) 축적에너지의 소모로 유지되고, 이러한 체조직 저장에너지의 사용은 성장감소(Degrowth)

로 결과되며, 어체의 화학적 조성고 수분함량에서의 변화와 어체 축적에너지 변화를 동반한다(Weatherley and Gill 1987).

어류는 성성숙 및 섭식량에 따라 간세포내의 지방, Glycogen, 단백질 및 핵산물질 함량이 계절적으로 변하는 것으로 알려져 있다(Oliverew and Leloup 1950; Pickford 1953; Ito *et al.* 1962). 또한 어류의 체조직내 RNA-DNA 비는 섭식률과 성장률에 꽤 민감하다고 보고되고 있으며(Haines 1973; Buckley 1979b), 단백질함량, 간중량지수(Hepatosomatic index)는 어류에서의 영양상태와 기아 그리고 성성숙 상태의 진단을 위해 유용하다(Buckley 1979a, 1980; Bulow *et al.* 1981; 정 등 1991).

또한 어류 중장상피(Midgut epithelia) 세포의 높이 측정은 영양 상태의 파악에 유용하며(Ehrlich *et al.* 1976), 간세포 핵(Hepatocyte nucleus) 크기 조사 역시 영양상태와 기아정도의 진단에 유용하여 Pijerry, *Odontesthes bonariensis* (Strüssmann and Takashima 1989) 및 접농어, *Lateolabrax* sp.와 조피볼락, *Sebastes schegeli* (박 등 1998b)에서 내생적 영양상태에서 외생적 영양상태로의 파악을 가능하게 한 바 있다.

어류 기아시 체축적 에너지의 사용은 성장감소 항목으로 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 조각(Steak), 혼제된 상태로의 개체가 상품화시 소비 취향에 맞는 횡단 절단면에서의 크기와 형태는 판매시의 상품가치를 좌우한다는 견지에서 중요한 요소가 될 수 있다(Gjerede 1989; Gjerede and Schaeffer 1989).

박과 장(1994)은 이러한 횡단 절단면에서의 여러 형질을 산천어, *Onchorhynchus masou* 2배체와 유도 3배체를 대상으로 조사한 바, 유도 3배체는 불임에 기인되어 2배체에 비해 가슴지느러미 및 등지느러미 횡단 절단면에서의 1가지 복강 두께 형질과 일부 횡단 절단 형질에서 높은 값을 보여 유도 3배체의 횡단 절단면이 더욱 원형에 가까운 것임을 시사하는 것으로 이러한 횡단 절단 형태를 상품 판매 견지에서 경제성에 관해 평가한 바 있다.

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) 먹이 양과 질이 다른 환경에 서식하는 동일 종내의 계통 확인을 위해서 다양한 먹이 공급에 덜 영향을 받는 계측형질의 파악은 필요하다(Currens *et al.* 1989). 역으로 계측형질 파악에 의해 다양한 먹이 공급 변화시의 영양상태 분석도 가능하다. Truss dimension (Strauss and Bookstein 1982)와 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 길이 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 기아된 Chinook salmon, *O. tshawytscha*과 기아된 무지개송어 *O. mykiss*의 체형 분석을 한 결과, 몸통 부위의 체폭이 가장 영향을 많이 받았고 꼬리 부분이 가장 적게 영향을 받았음을 보고하였다. 그러므로 어류에서 꼬리부분에서의 측정은 몸통부위에서의 측정에 비해 중간 변이를 이해하는데 더욱 유용하였다.

본 논고는 어류에서의 기아효과를 파악하기 위하여 실험동물로서의 가치를 충분히 보인 버들치를 대상으로 한 기아 실험 결과들인 「기아시 버들치 *Rhynchocypris oxycephalus*의 일부 영양 조건에서의 효과. 1. 생화학적, 조직학적 변화(이 등 1999)」, 「기아시 버들치 *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry)의 일부 영양 조건에서의 효과. 2. 체절단면 계측형질의 변화(박 등 2002b)」 및 「Effect of starvation in morphometric changes in *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry) (Park *et al.* 2001)을 종합 개관하였으며, 이들을 현재까지의 어류 기아시 연구 결과들과 비교·고찰하였다.

1. 버들치 기아시의 생화학적 및 조직학적 변화

사육수온을 $15 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 유지하며 9주간 실험시 버들치 *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry) 포식군(Fed group)과 기아군(Starved group)에서 사망은 나타나지 않았다. 실험 결과 자료의 통계분석을 위해 Student *t*-test 혹은 Duncan's multiple range test를 실시하였다. 기아 일수 경과에 따른 버들치 간조직 세포내 단백질 정량을 Lowery *et al.* (1951)의 방법으로 한 후, 단백질함량 변화를 조사한 결과는 Table 1과 같다. 실험 시작시 포식군의 간조직 세포내 단백질함량은 $28.95 \pm 0.03 \text{ mg g}^{-1}$ 으로서, 포식 3주 후부터 포식 6주째까지는 단백질 함량이 증가하였으나 포식 9주 후부터는 감소현상으로 나타났다. 또한 기아군인 경우 실험 시작시의 단백질함량은 $27.89 \pm 0.29 \text{ mg g}^{-1}$ 으로서, 기아 3주 후부터 기아 9주 후까지 포식군과는 변화 경향이 유사하였으나 해당 단백질함량이 높게 나타났다.

포식군과 기아군에서 공통적으로 실험 9주 후에 단백질함량이 감소하는 원인은, 본 연구 수행 중 사육실 사육 조건하에서 이루어진 성성숙에 밀접한 관계가 있는 것으로 생각되어지며 또한, 기아군에 비해 포식군의 단백질함량이 낮게 나타나는 원인은 포식군 간조직에 지방질 축적으로 인해, 단위 간 중량당 간세포 수의 상대적인 감소에 기인된 것으로 생각되어진다. 반면, 기아군은 기아가 진행될수록 간조직 세포내에 존재하는 지방을 에너지 대사에 소모하여 간세포 조직내 세포질이 줄어들었으며, 이로 인해 간조직 정량시 간중량당 간세포는 상대적으로 숫자가 증가하여, 포식군에 비해 단백질함량에 있어 크게 나타나는 것으로 생각된다.

기아에 따른 영양성분 조사 결과로는 박 등(1995a,b)

Table 1. The change in protein and nucleic acid (total DNA and RNA) contents in the liver tissues of fed group ($n = 80$) and starved group ($n = 80$) of *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry)* (Lee *et al.* 1999)

	Experiment period (weeks)	Protein	DNA	RNA	DNA-RNA ratio
Fed group (mg g^{-1})*	0	28.95 ± 0.03^c	1.63 ± 0.01^c	5.66 ± 0.02^c	3.47
	3	30.92 ± 0.28^b	1.65 ± 0.01^b	6.75 ± 0.01^b	4.09
	6	34.92 ± 0.60^a	0.76 ± 0.04^a	7.31 ± 0.02^a	4.20
	9	22.55 ± 0.50^d	1.60 ± 0.02^d	5.51 ± 0.06^d	3.44
Starved group (mg g^{-1})*	0	27.89 ± 0.29^d	1.63 ± 0.02^d	5.55 ± 0.04^d	3.40
	3	63.20 ± 0.37^e	57.92 ± 0.01^e	80.33 ± 0.02^e	1.39
	6	82.74 ± 0.22^a	98.17 ± 0.02^a	142.79 ± 0.08^a	1.45
	9	79.89 ± 0.19^d	78.43 ± 0.01^b	109.19 ± 0.12^b	1.39

*: Mean \pm SD., means with the same lettered superscripts in a column are not significant at the 5% level by Duncan's multiple range test.

이 미꾸라지, *Misgurnus mizolepis*와 쟁뚱어, *Boleophthalmus pectinirostris*를 대상으로 동면 시기별 근육성분 분포 및 조직학적 조사 결과, 동면 직후에는 근육성분을 구성하고 있는 영양성분이 동면 전보다 낮게 나타났고, 조직의 구성 역시 동면 직후에는 동면 전보다 근육의 지방질 염색 반응이 다소 약하게 나타나는 것으로 보아 동면시기 즉, 기아시기에 이들 어류들도 근육 조직 내에 축적된 지방을 에너지원으로 사용하고 있는 것으로 보고한 바 있다.

또한 Mustafe and Mittal (1982)는 메기, *Clarias batrachus*의 간조직을 대상으로 단백질함량을 조사한 바, 기아 개체와 먹이를 공급한 개체의 간조직 내 단백질함량은 먹이를 공급한 개체가 기아 개체에 비해 높았으며, 또한 이러한 결과는 먹이 공급원에 함유된 단백질함량에 따라 변한다고 하였다. 아울러 간세포의 RNA량 역시 먹이 공급원의 단백질함량에 의해 결정되는 바, 이러한 결과는 단백질이 없는 먹이 공급이나 완전한 기아시 RNA량에서의 감소 효과로 나타나고 있다(Brachet 1955). 역시 Bouche *et al.* (1970)은 잉어, *Cyprinus carpio*의 간조직에서 단백질함량과 RNA량의 감소는 절식에 의한 기아시 이루어진다고 보고한 바 있다.

어류 기아시 에너지 사용에 있어 다양한 체조성능은 다양한 조직들에서 다양한 율로 사용될 수 있는 것으로 (Weatherly and Gill 1987), 포식군과 기아군의 간조직 세포내 RNA량은 Schneider (1957) 및 DNA량은 Dische (1955)의 방법에 의해 측정 후, 이들의 핵산(DNA, RNA)량의 변화를 조사한 결과는 Table 1에서와 같다. 포식군에서는 단위 간조직 g당 DNA량은 실험 시작시는 $1.63 \pm 0.01 \text{ mg g}^{-1}$, 포식 3주후에 $1.65 \pm 0.01 \text{ mg g}^{-1}$, 포식 6주후에 $1.76 \pm 0.04 \text{ mg g}^{-1}$, 포식 9주후에 $1.60 \pm 0.02 \text{ mg g}^{-1}$ 이었다. 반면 기아군에서의 DNA량은 실험 시작시는 $1.63 \pm 0.02 \text{ mg g}^{-1}$ 로 포식군과 유사하였으나 기아 3주후에 $57.92 \pm 0.01 \text{ mg g}^{-1}$, 기아 6주후에 $98.17 \pm 0.02 \text{ mg g}^{-1}$, 기아 9주후에 $78.43 \pm 0.01 \text{ mg g}^{-1}$ 으로 나타나 DNA량에 있어 포식군은 기아군에 비해 높은 값을 보였다. 이러한 결과는 앞서 단백질함량 결과에서 언급했던 것처럼, 간조직내 지방함량과 단위 간조직 g당 세포 숫자에 기인된 것으로 사료된다.

또한 RNA량 변화에 있어서 포식군은 실험 시작시 $5.66 \pm 0.02 \text{ mg g}^{-1}$ 이었으나 포식 3주후에 $6.75 \pm 0.01 \text{ mg g}^{-1}$, 포식 6주후에 $7.31 \pm 0.02 \text{ mg g}^{-1}$, 포식 9주후에 $5.51 \pm 0.06 \text{ mg g}^{-1}$ 이었다(Table 1). 반면, 기아군에서의 RNA량은 실험 시작시는 $5.55 \pm 0.04 \text{ mg g}^{-1}$ 로 포식군과 유사하였으나 기아 3주후에 $80.33 \pm 0.02 \text{ mg g}^{-1}$, 기아 6주후에 $142.79 \pm 0.08 \text{ mg g}^{-1}$, 기아 9주후에 $109.19 \pm 0.12 \text{ mg}$

g^{-1} 으로 역시 DNA량 조사 결과와 비슷한 경향을 나타내었다(Table 1).

이러한 결과는 포식 개체에 비해 기아 개체의 간세포 단위무게 당 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 단위무게 당 간세포 숫자는 오히려 증가함으로써 간 단위무게 당 단백질함량, DNA량 및 RNA량이 증가된 것임을 시사한다. 만약, 간세포 수 측정에 의한 세포 개개당 단백질 및 핵산 양이 측정된다면, 이러한 단백질함량 및 핵산 양은 기아 일수가 연장될수록 감소될 것으로 사료된다. 포식군과 기아군을 대상으로 한 단백질함량, DNA량 및 RNA량의 유의성 검정 분석 결과 5% 수준에서 유의성이 인정되었으며, 이와 유사한 결과는 Mustafa and Mittal (1982)가 이미 절식시킨 메기의 간조직에서 확인한 바 있다.

포식군과 기아군의 간조직 세포내 RNA-DNA 비를 조사한 결과는 Table 1과 같다. RNA-DNA비에서 포식군은 실험 시작시 3.47로 나타났으며, 실험 기간 중 최대치인 4.20을 나타내며 안정적이었다. 기아군의 RNA-DNA 비는 실험 시작시 3.40로 포식군의 RNA-DNA 비와 유사한 반면, 기아 후 3주~9주에 1.39~1.45의 RNA-DNA비를 나타내었다. 비록 기아군은 포식군에 비해 실험 기간 중 간세포 수 감소에 기인되어 낮은 단백질함량, DNA량 및 RNA량을 보였지만, 포식군의 RNA-DNA비는 기아군의 RNA-DNA 비에 비해 높게 나타나 포식군은 기아군에 비해 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 세포수를 나타내는 지수로 사용된다(Dortch *et al.* 1983). 그러므로 RNA-DNA비 파악은, RNA-DNA비가 조직내 세포의 수와 크기에 영향을 받지 않으므로, RNA량 단독 조사만으로 물질대사 활성을 파악하는 것보다 더욱 정확한 방법이다(Haines, 1973).

실험 기간중 버들치 포식군과 기아군의 간중량지수를 (간중량/체중량)×100의 식으로 계산한 간중량지수 변화는 Table 2와 같다. 포식군에서의 간중량지수 평균값은 실험 시작시 3.75 ± 0.35 이었으나, 포식 3주후(3.94 ± 0.41)와 포식 6주후(3.93 ± 0.39)에 다소 증가후 포식 9주후에는 3.86 ± 0.37 로 다소 감소하였다. 이는 포식 6주째부터 암컷인 경우 일부 난소 성숙 상태이며, 포식 9주후에는 일부 방란한 상태로, 정 등(1991)이 쟁뚱어의 난소

Table 2. The change of hepatosomatic index (HSI) in fed ($n = 80$) and starved ($n = 80$) groups of *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry) (Lee et al. 1999)

HSI (Mean \pm SD)	Experiment period (weeks)	Experiment period (weeks)			
		0	3	6	9
Fed group		3.75 \pm 0.35	3.94 \pm 0.41	3.93 \pm 0.39	3.86 \pm 0.37
Starved group		3.76 \pm 0.37	0.84 \pm 0.29	0.49 \pm 0.07	0.49 \pm 0.25
<i>t</i> -test		*	NS	NS	NS

*: Denotes significant at $P = 0.05$; NS: denotes not significant at $P = 0.05$.

발달 단계에 따라 간중량지수의 변화를 보고한 바 같이, 생식소 발달과 연관된 간중량지수로 생각되어진다.

반면 기아군의 간중량지수는 실험 시작시 3.76 \pm 0.37이었으나, 기아 3주후에는 0.84 \pm 0.29로 현저히 줄어들었으며 기아 6주후에는 0.49 \pm 0.07, 기아 9주후에는 0.49 \pm 0.25로 간중량지수가 아주 낮으며 거의 일정하게 나타났다. 이와같이 기아군에서 기아후 3주부터 낮은 간중량지수를 보이는 이유는, 어체가 기아로 인한 영양물 섭취 결핍으로 간세포 내의 지방질을 분해하여 에너지원으로서의 사용이 한계점에 도달한 원인에 기인한 것으로 사료된다.

또 다른 원인으로는 포식군에서의 결과와 마찬가지로, 기아 6주째에 난소에는 일부 포란되어 있었다는 점에서 추론해 볼 때, 간세포내의 영양물질이 생식에 이용된 것과도 관련이 있을 것라고도 관련이 있을 것으로 추측된다. 더욱이 기아군은 기아 실험 과정에서 특히 담낭이 커졌는 바, 이러한 점으로 미루어보아 기아 개체는 간세포 내에 존재하는 지방 성분을 분해하여 생존을 위한 에너지원으로 이용함으로써 간중량지수의 감소가 동반되었을 것이라는 가능성도 무시할 수는 없다. 이러한 측면을 확인할 수 있는 연구로 Mustafa and Mittal (1982)는 메기에서 일정 기간 기아시킨 군에서는 간중량지수는 감소했으나 먹이 공급을 다시한 후에는 어체 무게뿐만 아니라 간중량지수 역시 증가하였다고 보고한 바 있다.

간세포 핵의 표면적(S)은 $ab\pi/4$ (a는 간세포 핵의 장

경, b는 간세포 핵의 단경)로 계산하였다. 포식군의 실험 시작시의 간세포 핵 표면적은 16.93 \pm 0.92 μm^2 으로 이러한 간세포 핵 표면적은 포식 후 3주에 17.65 \pm 0.11 μm^2 포식 후 6주에 16.59 \pm 0.89 μm^2 으로 큰 변화가 없었다(Table 3). Fig. 1-a는 포식 후 9주의 간세포 조직상으로 간세포 및 핵이 비대화 되었으며 간세포내 지방질이 많이 함유되어 있었다. 기아군의 실험 시작시의 간세포 핵 표면적은 기아 실험 시작시의 포식군 간세포 핵 표면적과 유사하게 나타나 16.58 \pm 0.90 μm^2 이었다(Table 3, Fig. 2-a). 그러나 기아 기간이 경과될수록 이러한 간세포 핵 표면적은 점진적으로 작아져 기아 후 3주에 14.45 \pm 0.67 μm^2 , 기아후 6주에 13.49 \pm 0.76 μm^2 , 기아후 9주에 11.00 \pm 0.88 μm^2 이었다(Table 3, Fig. 2-a).

Fig. 1-b는 기아 후 9주의 간세포 조직상으로, 간세포 및 핵 크기가 Fig. 1-a의 포식 후 9주간의 간세포 및 핵에 비해 작았으며 간세포의 밀도가 조밀하였다. 조피볼락, *Sebastes schlegeli* 자어와 점농어, *Lateolabrax* sp. 자어, 그리고 붉바리, *Epinephelus akaaka*에서 첫먹이 섭취 시기에 파악을 위한 기아시 본 연구 결과에 같은 기아시 간세포 변화 경향이 관찰되었다(박 등 1998b; 이 등 1998). 아울러 기아시 간세포의 미세구조가 잉어(Gas 1973), 금붕어, *Carassius auratus* (Yamamoto 1964) 및 American eel, *Anguilla rostrata* (Moon 1983)에서 보고되었는 바, 일반적으로 간세포 핵 크기가 축소되었으며, 잉어인 경우 기아 초기에 우선 활면소포체의 수화(Hydration)가 동반되었고 이후 간세포 조밀화가 일어난 바 있다(Gas and Serfaty 1972).

포식군의 실험 시작시 점액 세포인 중장 상피세포 핵 높이는 8.67 \pm 0.31 μm 으로, 이러한 중장 상피세포 핵 높이는 포식 후 3주에 8.69 \pm 0.29 μm , 포식 후 6주에 8.73 \pm 0.03 μm , 포식 후 9주에 8.70 \pm 0.32 μm 로 큰 변화가 없었다(Table 3). Fig. 1-c는 포식 후 9주의 중장 상피세포의 조직상으로 중장 상피세포 크기 및 핵 높이가 컸고, 중장 상피세포의 밀도가 조밀하게 나타남과 아울러 큰 공포(Vacuole)가 다소 존재하였다. 기아군의 실험 시작시

Table 3. The change of hepatocyte nuclear area and intestinal epithelium height in fed ($n = 80$) and starved ($n = 80$) groups of *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry) (Lee et al. 1999)

	Experiment period (weeks)	Experiment period (weeks)			
		0	3	6	9
Hepatocyte nuclear area (μm^2)* ¹	Fed group	16.93 \pm 0.92	17.65 \pm 0.11* ³	16.59 \pm 0.89* ³	17.67 \pm 0.93* ³
	Starved group	16.58 \pm 0.90	14.45 \pm 0.67* ³	13.49 \pm 0.76* ³	11.00 \pm 0.88* ³
Nuclear height of intestinal epithelium (μm^2)* ¹	Fed group	8.67 \pm 0.31	8.69 \pm 0.29* ²	8.73 \pm 0.30* ³	8.70 \pm 0.32* ³
	Starved group	8.68 \pm 0.28	7.93 \pm 0.31* ²	6.73 \pm 0.30* ³	6.17 \pm 0.35* ³

*¹: Means \pm SD, *²: Denotes significant at $P = 0.05$, *³: Denotes significant at $P = 0.01$.

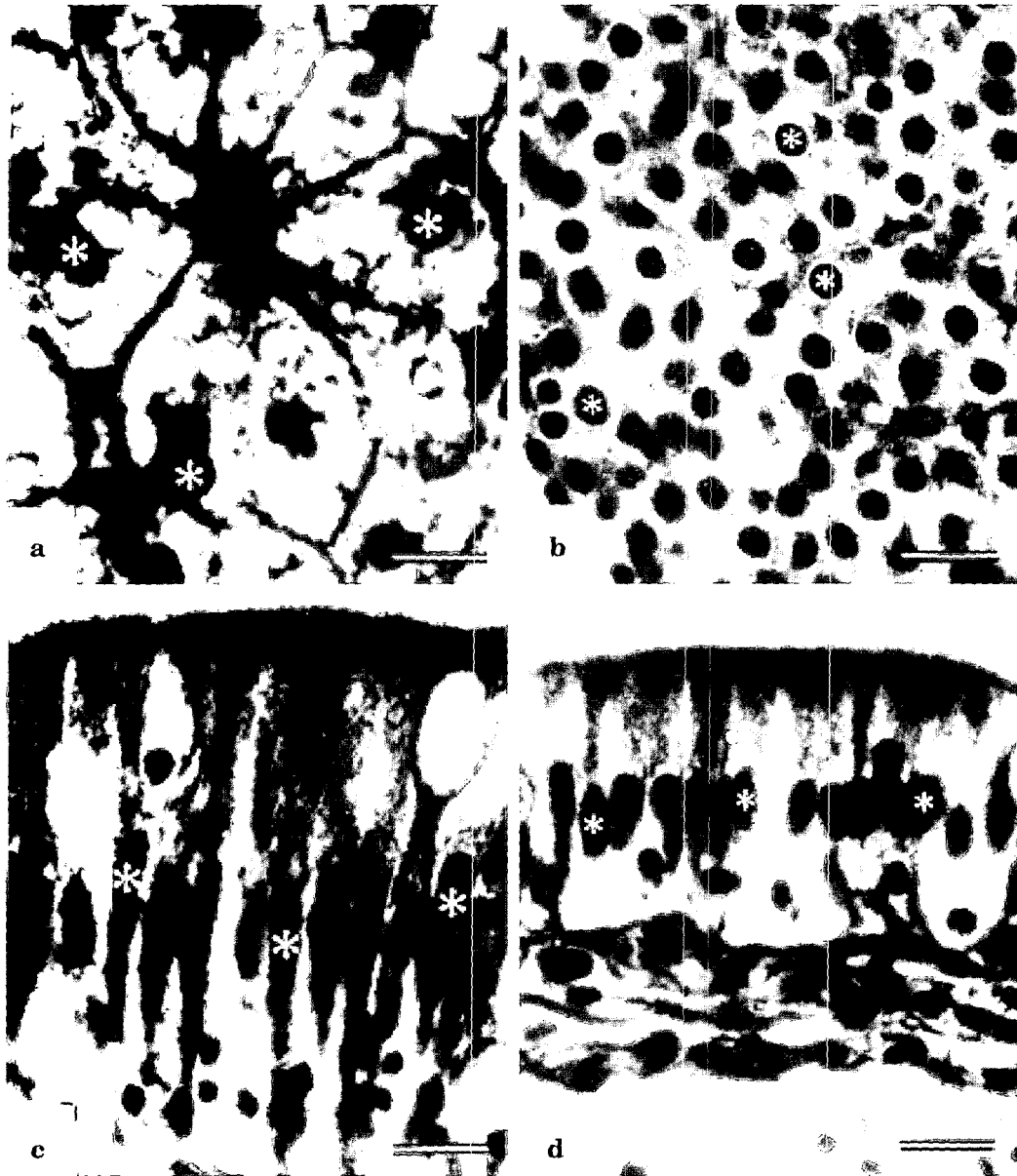


Fig. 1. Histological appearance of hepatocytes of (a) fish fed for 9 weeks and (b) fish starved for 9 weeks, and middle intestinal epithelium of (c) fish fed for 9 weeks (d) fish starved for 9 weeks. Bars represent 10 μm . Note the reduction in hepatocyte nuclear size (*) and height of middle intestinal epithelium (*) (Lee *et al.* 1999).

의 중장 상피세포 핵 높이는 기아 실험 시작시의 포식군 중장 상피세포 핵 높이와 유사하게 나타나 $8.68 \pm 0.28 \mu\text{m}$ 이었다 (Table 3, Fig. 2-b).

그러나 기아 기간이 경과될수록 이러한 중장 상피세포 핵 높이는 점진적으로 작아져, 기아 후 3주에 $7.93 \pm 0.31 \mu\text{m}$, 기아 후 6주에 $6.73 \pm 0.28 \mu\text{m}$, 기아 후 9주에 $6.17 \pm 0.35 \mu\text{m}$ 이었다 (Table 3, Fig. 2-b). Fig. 1-d는 기아 후 9주의 중장 상피세포 조직상으로, 중장 상피세포 크기 및 핵 높이가 Fig. 1-c의 포식 후 9주의 중장 상피세포 크기

및 핵 높이에 비해 작았으며, 중장 상피세포의 밀도가 희박하게 나타났다. 이와같이 기아시 조직학적 변화가 중장 상피세포, 포피 및 근육 섬유에서 나타난 바 있으며, 기아시 Killfish, *Fundulus heterenlitus*의 장과 직장에서 상피세포 및 핵의 밀도와 분포 변화가 본 연구 결과와 같이 나타난 바 있고 아울러 고밀도의 공포가 관찰된 바 있다 (Pickford 1953). 장기적인 기아시 조직학적인 퇴행적 변화는 13°C의 수온조건으로 무지개송어, *O. mykiss*를 3개월간 기아시 상피, 간과 일부의 포피세포, 근섬유

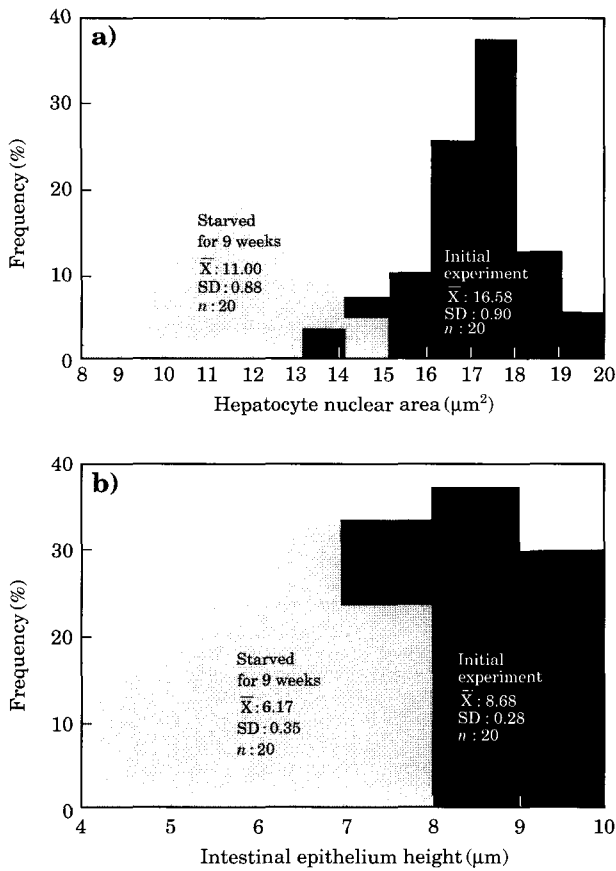


Fig. 2. Frequency distribution of (a) hepatocyte nuclear areas and (b) middle intestinal epithelium heights from the same individuals depicted in Fig. 1. Nuclear areas and middle intestinal epithelium heights from two replicate photographs of each individual were pooled and grouped in 1- μm^2 area classes and 1- μm length classes, respectively (Lee *et al.* 1999).

에서 나타나고 있다(Robertson *et al.* 1963).

실험 시작 9주후에 포식군과 기아군의 표본을 대상으로 각각 복부를 절개하여 내부 장기를 육안으로 관찰한 결과, 포식군의 간은 그 크기가 커졌으며 간의 색깔은 황갈색으로 나타났다. 또한 간 주변은 복강 지방이 현저히 축적되었고 많은 지방 축적으로 인해 간은 지방간화가 진행되었다. 반면 기아군의 간은 정상적인 선홍색이었으며, 간의 크기는 현저하게 줄어들어 그 크기가 아주 작아진 데 반해, 담낭의 크기는 진한 초록색으로 크기가 크게 증가하였다.

이렇게 기아군에서의 담낭이 커진 결과는, 기아시 담낭 내 담즙산염이 간 지방질을 유화하여 장에서 흡수케하여 대사활동에 필요한 에너지 전환을 이루지 못한 보상으로 나타난 현상으로 사료되나 차후, 이와 관련된 연구가 요

구 된다. 아울러 차후 기아시 성성숙과 간세포 수를 고려한 본 연구에서 다른 실험 항목들에 대한 면밀한 검토가 요구되며, 무지개송어와 Pike, *Esox lucius*의 기아시 Haematocrit치가 감소하고(Kawatsu 1966; Ince and Thorpe 1976), 이러한 감소는 어류에서의 새로운 적혈구 세포 생산 능력 감소에 기인 된다는 사실을 감안하여(Love 1970), 기아시 영양에 관련된 화학적 조성, 혈액 내 Hormone 농도 변화 양상에 관한 연구도 필요하리라 사료된다.

2. 버들치 기아시의 체절단면 계측형질 변화

3대째 사육실에서 사육중인 버들치 *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry)로부터 종묘생산된 2년 산 버들치를 실험에 사용하였다. 박 등(1998e)의 방법으로 마취한 후, 실험에 사용될 버들치의 평균 체장과 체중을 각각 측정하였다. 포식군(Fed group)과 기아군(Starved group)을 설정하여 각각 55마리씩을 수용하여 실험을 시작하였다. 실험은 순환 여과식 수조에서 적정공기 공급하에서 실시하였으며, 사육 수질을 고려하여 필요시 환수하였다. 실험 기간 중 수온은 $15 \pm 0.2^\circ\text{C}$ 로 유지하였고, 포식군은 배합사료를 매일 오전 10시와 오후 4시에 충분히 공급하였으며 기아군은 절식하였다. 기아 실험 종료는 실험 후 기아군의 활력이 떨어지는 시기로 정하였으며, 기아 실험 종료시에 포식군과 기아군을 중성포르말린 용액(100 mL Formalin, 6.5 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, 4.5 g KH_2PO_4 , 900 mL DW)에 고정하였다. 이때, 포식군은 표본 하루 전에 절식시킨 후 고정하였다.

고정된 표본의 체장은 버어니어 캘리퍼스 cm 단위로 측정하였다. 전자저울(Denver model X2-210, USA)을 사용하여 체중(Ungutted body weight)은 g 단위로, 복강 지방 및 장이 포함된 내장피 무게(Viscera weight)는 g 단위로 측정하였다. 아울러 체중에서 생식소, 간, 내장피 무게를 뺀 내장피 제거 체중(Gutted body weight)을 측정하였다. 비만도(Condition factor)는 $(\text{체중}/\text{체장}^3) \times 100$ 으로 내장피 지수(Viscera index)는 $(\text{내장피 무게}/\text{내장피 제거 체중}) \times 100$ 으로, Dressing비(Index)는 $(\text{내장피 제거 체중}/\text{체중}) \times 100$ 으로 계산하였다.

고정된 표본을 Fig. 3에서와 같이 가슴지느러미 기저 뒷부분(P), 등지느러미 기저 앞부분(D), 꼬리지느러미 기저 앞부분(A) 및 가슴지느러미 기저 뒤와 등지느러미 기저 앞 사이 중간 부위(M)에서 각각 0.5 cm 이내 두께로 횡단 절단하였다. 각 횡단 절단면의 체 둘레 측정은 가슴지느러미 기저 뒤 횡단면(Body circumference at peivic fins: CIP), 등지느러미 기저 앞 횡단면(Body circumfer-

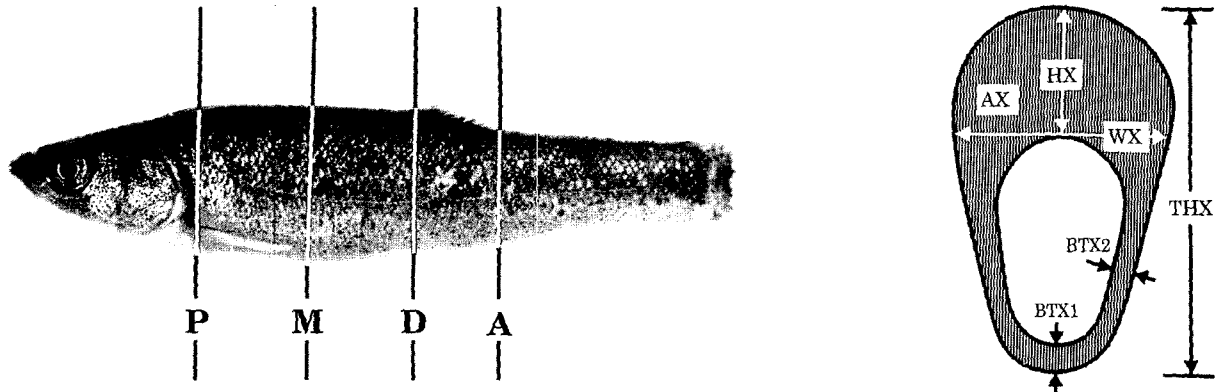


Fig. 3. Total height (THX), height (HX), width (WX), area (AX) and belly thickness (BTX 1 and BTX 2) measured in *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Darby) on a cross section slice taken just posterior to the base of the pectoral fins ($X = P$), midpoint between just posterior to the base of the pectoral fins and just anterior to the base of the dorsal fin ($X = M$), just anterior to the base of the dorsal fin ($X = D$) and just anterior to the base of the anal fin ($X = A$) (after Park and Zhang 1994; Park *et al.* 2002b).

ence at dorsal fin: CID) 및 뒷지느러미 기저 앞 횡단면 (Body circumference at anal fin: CIA)에서 각각 cm 단위로 실시하였다 (Fig. 3).

가슴지느러미 기저 뒤, 등지느러미 기저 앞, 뒷지느러미 기저 앞에서의 각 횡단면 면적 (Area at pelvic fins: AP, Area at dorsal fins: AD, Area at anal fin: AA)을 Planimeter로 mm^2 단위로 각각 측정하였으며, 가슴지느러미 기저 뒤, 등지느러미 기저 앞, 뒷지느러미 기저 앞 각 횡단면의 전체 높이 (Total height at pelvic fins: THP, Total height at dorsal fin: THD, Total height at anal fin: THA), 높이 (Height at pelvic fin: HP, Height at dorsal fin: HD) 및 폭 (Width at pelvic fins: WP, Width at dorsal fins: WD, Width at anal fins: WA)을 mm 단위로 각각 측정하였다.

각 횡단면의 복강 두께 1 (Belly thickness 1: BTX 1)은 가슴지느러미 기저 뒤 (Belly thickness 1 at pelvic fins: BTP 1)와 등지느러미 기저 앞 (Belly thickness 1 at dorsal fin: BTD 1)에서 mm 단위로 각각 측정하였다 (Fig. 3). 역시 각 횡단면의 복강 두께 2 (Belly thickness 2: BTX 2)를 가슴지느러미 기저 뒤 (Belly thickness 2 at pelvic fins: BTP 2)와 등지느러미 기저 앞 (Belly thickness 2 at dorsal fin: BTD 2)에서 mm 단위로 각각 측정하였다 (Fig. 3). 복강 두께 (Belly thickness: BT)는 가슴지느러미 기저 뒤와 등지느러미 기저 앞 사이 중간 부위 (Fig. 3의 M 위치) 횡단면 복측을 mm 단위로 측정하였다. 평균 복강 두께 (Average belly thickness: ABT)는 mm 단위로 $(BT + BTP 1 + BTP 2 + BTD 1 + BTD 2) / 5$ 식으로 계산하였다. 체형 (Body shape: BS) 측정시 체형 1

(Body shape 1: BS 1)은 $(CID/BL) \times 100$ 으로, 체형 2 (Body shape 2: BS 2)는 $(THD/BL) \times 100$ 으로 체형 3 (Body shape 3: BS 3)은 $(WD/BL) \times 100$ 으로 계산하였다.

아울러 각 횡단면의 횡단형 (Section shape: SS) 측정도 백분율로 계산하였다. 즉, 횡단형 1-1 (Section shape 1-1: SS 1-1)은 $(WP/THP) \times 100$ 으로 횡단형 1-2 (Section shape 1-2: SS 1-2)는 $(WD/THD) \times 100$ 으로 횡단형 2-1 (Section shape 2-1: SS 2-1)은 $(HP/WP) \times 100$ 으로, 횡단형 2-2 (Section shape 2-2: SS 2-2)는 $(HD/WD) \times 100$ 으로, 횡단형 3-1 (Section shape 3-1: SS 3-1)은 $(BT/WP) \times 100$ 으로, 횡단형 3-2 (Section shape 3-2: SS 3-2)는 $(BTP 1/WP) \times 100$ 으로, 횡단형 3-3 (Section shape 3-3: SS 3-3)은 $(BTP 2/WP) \times 100$ 으로 횡단형 4-1 (Section shape 4-1: SS 4-1)은 $[0.5(\pi \times HP \times 0.5 \cdot WP)/AP] \times 100$ 으로 그리고 횡단형 4-2 (Section shape 4-2: SS 4-2)는 $[0.5(\pi \times HD \times 0.5 \cdot WD)/AD] \times 100$ 으로 계산하였다. 기아균 및 포식균을 대상으로 한 본 실험에 사용된 모든 계측 형질에 대한 유의성 검정은 $P = 0.05$ 수준에서 Student's *t*-test (Zar 1984)로 하였다.

버들치의 기아 실험 시작시의 평균 체장과 체중은 각각 4.06 ± 0.10 cm, 2.41 ± 0.56 g 이었으며, 기아균은 기아 실험 9주 후에 활력이 떨어져 기아 실험을 종료하였다. 기아 실험 9주 후의 생존율은 포식균이 54/55 (98.2%), 기아균이 53/55 (96.4%) 이었다. Table 4에서와 같이 평균 체장과 체중은 포식균과 기아균이 각각 5.46 ± 0.10 cm, 3.54 ± 0.74 g과 4.40 ± 0.15 cm, 1.35 ± 0.43 g으로 유의한 차이를 보였다 ($P < 0.05$). 이에 따르는 비만도는 포식균이 2.13 ± 0.16 , 기아균이 1.55 ± 0.13 로 포식균은 기아균

에 비해 1.37배의 높은 비만도를 보였다($P < 0.05$). 기아시 포식군과 기아군에서의 체장, 체중 및 비만도 결과를 고려시 기아는 체장에서의 변화보다는 체중에서의 큰 변화 즉, 체중 감소를 나타내었다. 이러한 비만도 감소는 기아시 나타나는 현저한 특징으로서, 무지개송어 *Slamo gairdneri*에서 13주 기아시 기아군은 포식군에 비해 32.5%의 체중 감소를 보인 바 있다(Weatherley and Gill 1981).

포식군과 기아군의 내장피 무게 및 내장피 제거 체중은 각각 0.49 ± 0.15 g, 0.17 ± 0.05 g과 2.84 ± 0.60 g, 1.08 ± 0.34 g으로 포식군이 기아군에 비해 높은 값의 내장피 무게와 내장피 제거 체중을 보였다($P < 0.05$). 이에 따른 내장피지수 역시 포식군이 기아군에 비해 높게 나타나 포식군은 17.49 ± 3.83 , 기아군은 15.30 ± 1.42 로 포식군은 기아군에 비해 1.43배 높은 내장피지수를 보였다($P < 0.05$) (Table 4). 기아군에 비한 포식군의 내장피지수가 2.88배인 것에 견주어 기아군에 대한 포식군의 내장피 제거 체중이 2.63배로 낮아진 것은 이 등(1999)이 버들치를 대상으로한 기아시의 결과와 유사한 양상으로, 이러한 원인은 기아군에 비해 포식군 내장 자체의 높은 지방 함량에 기인된 것으로 사료된다. 포유류의 지방 저장 장소인 지방조직과는 달리 어류에서의 지방은 복강지방 및 간과 골격근에 광범위하게 축적되며, 이러한 복강지방은 장·단기 기아 중 일차적인 체내 기본 대사 에너지원으로 완전히 사용될 수 있는 반면, 장은 기아 중 역시 감소 경향을 보이지만 그 정도가 다소 약하게 나타난다(Weatherly and Gill 1987; 이 등 1998, 1999). 9주간의 버들치 기아시 이러한 일차적인 복강 내장피의 현저한

감소 경향은 Dressing 비에 영향을 끼쳐, Dressing 비는 앞서의 여러 형질들에서의 결과와 상반되게 포식군과 기아군이 유사하게 나타나 포식군은 78.80 ± 3.38 , 기아군은 81.45 ± 2.27 이었다($P > 0.05$) (Table 4).

각 횡단 절단면에서 계측 형질의 결과는 Table 5와 같다. 가슴지느러미 기저 뒤 횡단면의 체 둘레(CIP)는 포식군이 3.11 ± 0.21 cm로 기아군의 체 둘레 2.35 ± 0.23 cm에 비해 1.32배, 등지느러미 기저 앞 횡단면의 체 둘레(CID)는 포식군이 3.38 ± 0.20 cm로 기아군의 체 둘레 2.18 ± 0.24 cm에 비해 1.55배, 뒷지느러미 기저 앞 횡단면의 체 둘레(CIA)는 포식군이 2.52 ± 0.22 cm로 기아군의 체 둘레 1.78 ± 0.17 cm에 비해 1.42배 컸다($P < 0.05$). 기아군에 비한 포식군의 크기 비 순서는 등지느러미 기저 앞 횡단면 체 둘레, 뒷지느러미 기저 앞 횡단면 체 둘레, 가슴지느러미 기저 뒤 횡단면 체 둘레 순이었다(Table 5).

가슴지느러미 기저 뒤 횡단면의 면적(AP)은 포식군이 4.84 ± 0.53 mm²로 기아군의 면적 2.81 ± 0.52 mm²에 비해 1.72배, 등지느러미 기저 앞 횡단면의 면적(AD)은 포식군이 5.55 ± 0.94 mm²로 기아군의 면적 2.50 ± 0.44 mm²에 비해 2.22배, 뒷지느러미 기저 앞 횡단면의 면적(AA)은 포식군이 43.20 ± 11.00 mm²로 기아군의 면적 21.02 ± 4.21 mm²에 비해 2.06배 컸다($P < 0.05$) (Table 5). 등지느러미 기저 앞 횡단면의 면적에서 기아군에 비한 포식군의 증가비 2.22배는 모든 측정 형질에서의 기아군에 비한 포식군의 증가비들과 비교시 가장 높은 값을 나타내었으며, 기아군에 비한 포식군의 크기 비 순서는 등지느러미 기저 앞 횡단면 면적, 뒷지느러미 기저 앞 횡단면 면적, 가슴지느러미 기저 뒤 횡단면 면적 순이었다.

가슴지느러미 기저 뒤 횡단면의 전체 높이(THP)는 포식군이 11.17 ± 0.99 mm로 기아군의 전체 높이 8.11 ± 0.82 mm에 비해 1.38배, 등지느러미 기저 앞 횡단면의 전체 높이(THD)는 포식군이 12.11 ± 0.86 mm로 기아군의 전체 높이 7.79 ± 1.08 mm에 비해 1.55배, 뒷지느러미 기저 앞 횡단면의 전체 높이(THA)는 포식군이 9.48 ± 0.92 mm로 기아군의 전체 높이 5.98 ± 0.73 mm에 비해 1.59배 크게 나타났으며($P < 0.05$) 기아군에 비한 포식군의 크기 비는 뒷지느러미 기저 앞 횡단면 전체 높이, 등지느러미 기저 앞 횡단면 전체 높이, 가슴지느러미 기저 뒤 횡단면 전체 높이 순이었다(Table 5). 가슴지느러미 기저 뒤 횡단면의 높이(HP)는 포식군이 3.89 ± 0.34 mm로 기아군의 높이 2.88 ± 0.29 mm에 비해 1.35배, 등지느러미 기저 앞 횡단면의 높이(HD)는 포식군이 5.22 ± 0.42 mm로 기아군의 높이 3.30 ± 0.36 mm에 비해 1.58배 크게 나타나($P < 0.05$), 기아군에 비한 포식군의 크기 비는 등지느러미 기저 앞 횡단면 높이가 가슴지느러미

Table 4. Means and standard deviations for phenotypic traits of fed and starved group in *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Darby), and results of *t*-tests for difference between groups ($n = 55$) (Park *et al.* 2002b)

Trait	Fed group (Means \pm SD)	Starved group (Means \pm SD)	<i>t</i> -test	Ratio (Fed group/ Starved group)
Body length	5.46 ± 0.10	4.40 ± 0.15	*	1.24
Ungutted body weight (g)	3.54 ± 0.74	1.35 ± 0.43	*	2.62
Viscera weight (g)	0.49 ± 0.15	0.17 ± 0.05	*	2.88
Gutted body weight (g)	2.84 ± 0.60	1.08 ± 0.34	*	2.63
Condition factor	2.13 ± 0.16	1.55 ± 0.13	*	1.37
Viscera index	17.49 ± 3.83	15.30 ± 1.42	*	1.43
Dressing percentage	78.80 ± 3.38	81.45 ± 2.27	*	0.97

*: Denotes significant at $P = 0.05$; NS: denotes not significant at $P = 0.05$.

Table 5. Means and standard deviations for phenotypic traits of fed and starved group in *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Darby), and results of *t*-test for difference between groups (Park *et al.* 2002b)

	CIP (cm)	CID (cm)	CIA (cm)	AP (mm ²)	THP (mm)	HP (mm)	WP (mm)	BTP 1 (mm)
Fed group	3.11±0.21	3.38±0.20	2.52±0.22	4.84±0.53	11.17±0.99	3.89±0.34	7.72±1.32	0.49±0.02
Starved group	2.35±0.23	2.18±0.24	1.78±0.17	2.81±0.52	8.11±0.82	2.88±0.29	6.08±0.76	0.39±0.07
<i>t</i> -test	*	*	*	*	*	*	*	*
Ratio (fed group/ starved group)	1.32	1.55	1.42	1.72	1.38	1.35	1.27	1.26
	BTP2 (mm)	AD (mm ²)	THD (mm)	HD (mm)	WD (mm)	BTD 1 (mm)	BTD 2 (mm)	AA (mm ²)
Fed group	0.77±0.08	5.55±0.94	12.11±0.86	5.22±0.42	8.56±0.67	0.51±0.02	0.78±0.06	43.20±11.00
Starved group	0.50±0.12	2.50±0.44	7.79±1.08	3.30±0.36	5.36±0.67	0.32±0.06	0.45±0.07	21.01±4.21
<i>t</i> -test	*	*	*	*	*	*	*	*
Ratio (fed group/ starved group)	1.54	12.22	1.55	1.58	1.60	1.59	1.73	2.06
	THA (mm)	WA (mm)	BT (mm)	ABT (mm)	BS 1	BS 2	BS 3	SS 1-1
Fed group	9.48±0.92	6.61±0.85	0.47±0.04	0.61±0.04	61.61±3.21	22.07±0.65	15.62±0.57	70.30±11.90
Starved group	5.98±0.73	4.19±0.52	0.27±0.04	0.39±0.07	49.45±2.35	17.66±0.75	11.96±0.43	74.39±1.52
<i>t</i> -test	*	*	*	*	*	*	*	NS
Ratio (fed group/ starved group)	1.59	1.58	1.74	1.56	1.25	1.25	1.31	0.95
	SS 1-2	SS 2-1	SS 2-2	SS 3-1	SS 3-2	SS 3-3	SS 4-1	SS 4-2
Fed group	71.02±2.11	51.60±10.40	61.44±0.98	6.25±1.39	6.55±1.31	10.17±2.01	504.00±114.00	646.40±29.30
Starved group	67.28±3.02	47.99±1.8+9	62.74±1.96	4.27±0.30	6.54±0.64	8.35±1.07	484.50±25.60	549.50±53.00
<i>t</i> -test	NS	NS	NS	*	NS	*	NS	*
Ratio (fed group/ starved group)	1.06	1.08	0.98	1.46	1.00	1.22	1.04	1.18

*: Denotes signification at P=0.05; NS: Denotes not significant at P=0.05. Abbreviation. CIP: Body circumference at pelvic fin; CID: Body circumference at dorsal fin; CIA: Body circumference at anal fin; AP: Area on section at pelvic fin; THP: Total height on section at pelvic fin; HP: Height on section at pelvic fin; WP: Width on section at pelvic fin; BTP 1: Belly thickness 1 on section at pelvic fin; BTP 2: Belly thickness 2 on section at pelvic fin; AD: Area on section at dorsal fin; THD: Total height on section at dorsal fin; HD: Height on section at dorsal fin; WD: Width on section at dorsal fin; BTD 1: Belly thickness 1 on section at dorsal fin; BTD 2: Belly thickness 2 on section at dorsal fin; AA: Area on section at anal fin; THA: Total height on section at anal fin; WA: Width on section at anal fin; BT: Belly thickness; ABT: Average belly thickness; BS 1: Body shape 1; BS 2: Body shape 2; BS 3: Body shape 3; SS 1-1: Section shape 1-1; SS 1-2: Section shape 1-2; SS 2-1: Section shape 2-1; SS 2-2: Section shape 2-2; SS 3-1: Section shape 3-1; SS 3-2: Section shape 3-2; SS 3-3: Section shape 3-3; SS 4-1: Section shape 4-1; SS 4-2: Section shape 4-2.

기저 뒤 횡단면 높이에 비해 높았다(Table 5).

가슴지느러미 기저 뒤 횡단면의 폭(WP)은 포식군이 7.72±1.32 mm로 기아군의 폭 6.08±0.76 mm에 비해 1.27배, 등지느러미 기저 앞 횡단면의 폭(WD)은 포식군이 8.56±0.67 mm 기아군의 폭 5.36±0.67 mm에 비해 1.60배, 뒷지느러미 기저 앞 횡단면의 폭(WA)은 포식군이 6.61±0.85 mm로 기아군의 폭 4.19±0.52 mm에 비해 1.58배 크게 나타나(P<0.05), 기아군에 비한 포식군의 크기 비는 등지느러미 기저 앞 횡단면 폭, 뒷지느러미 기저 앞 횡단면 폭, 가슴지느러미 기저 뒤 횡단면 폭 순이었다(Table 5). 각 지느러미 기저 횡단면 전체 높이에 서만 기아시 뒷지느러미, 등지느러미, 가슴지느러미 순인 것을 제외하고는, 체 둘레, 면적, 높이 및 폭에서 공하 기아시 등지느러미, 뒷지느러미, 가슴지느러미 순으로 기아에 기인된 형질 변화가 일어나, 기아시 주로 복강 부위인 등지느러미 부위의 형질변화가 우선적으로 일어나고 가

슴지느러미부위의 형질변화가 다음 단계로 일어나는 부위임을 알 수 있었다. 본 연구 결과와 같은 경향으로서 버들치 기아시 기아에 따른 일차적 영향 부위는 복강 부위였으며(이 등 1998), 버들치 기아시 Truss dimension 측정시 몸통 윗부분과 Classical dimension 측정시 체고 부위가 역시 현저하게 감소한 바 있다(Park *et al.* 2001).

가슴지느러미 기저 뒤 횡단면의 복강 두께 1(BTP 1)은 포식군이 0.49±0.02 mm로 기아군의 복강 두께 1의 0.39±0.07 mm에 비해 1.26배, 그리고 등지느러미 기저 앞 횡단면의 복강 두께 1(BTD 1)은 포식군이 0.51±0.02 mm로 기아군의 복강 두께 1이 가슴지느러미 기저 뒤 횡단면 복강두께 1의 0.32±0.06 mm에 비해 1.59배 크게 나타나(P<0.05), 기아군에 비한 포식군의 크기 비는 등지느러미 기저 앞 횡단면 복강 두께 1이 가슴지느러미 기저 뒤 횡단면 복강두께 1에 비해 높았다(Table 5). 가슴지느러미 기저 뒤 횡단면의 복강 두께 2(BTP 2)

는 포식군이 0.07 ± 0.08 mm로 기아군의 복강 두께 2의 0.50 ± 0.12 mm에 비해 1.54배, 그리고 등지느러미 기저 앞 횡단면의 복강 두께 2 (BTD 2)는 포식군이 0.78 ± 0.06 mm로 기아군의 복강 두께 2의 0.45 ± 0.07 mm에 비해 1.73배 크게 나타나 ($P < 0.05$) (Table 5), 가슴지느러미 기저 뒤 횡단면과 등지느러미 기저 앞 횡단면에서의 복강 두께 1의 결과와 마찬가지로 기아군에 비해 포식군의 크기 비는 등지느러미 기저 앞 횡단면의 복강 두께 2가 가슴지느러미 기저 뒤 횡단면의 복강 두께 2에 비해 높았다. 이와같이 가슴지느러미 기저 뒤 횡단면 그리고 등지느러미 기저 앞 횡단면에서의 복강 두께 1과 복강 두께 2가 기아군에 비해 포식군이 높은 것은, 기아군의 기아시 복강 체벽으로부터의 에너지원 흡수에 기인된 것으로 사료된다.

이와같은 복강 두께 1과 복강 두께 2에서의 차이는 불임 3배체의 산천어, *Oncorhynchus masou*와 은어, *Plecoglossus altivelis*에서 나타난 바, 3배체가 각각의 2배체에 비해 높은 복강 두께 1과 복강 두께 2를 보인다 있으며 높은 값의 [(복강 중부 횡단면 면적-복강면적)/복강 중부 횡단면 전체 면적]을 보인다 있다 (Ueno *et al.* 1986; 박과 장 1994). 복강 두께 (BT)와 평균 복강 두께 (ABT)는 포식군이 기아군에 비해 각각 높은 비를 나타내어, 복강 두께인 경우 1.74배 (포식군: 0.47 ± 0.04 mm; 기아군: 0.27 ± 0.04 mm) ($P < 0.05$), 평균 복강 두께인 경우 1.56배 (포식군: 0.61 ± 0.04 mm; 기아군: 0.39 ± 0.07 mm) ($P < 0.05$) 컸다 (Table 5). 평균 복강 두께는 개체의 전반적인 복강 두께 증가를 위한 육종 목표, 즉 상품화의 수단이 될 수 있다는 점을 고려시 (Gjerde and Schaeffer 1989), 기아군은 포식군에 비해 낮은 평균 복강 두께, 즉 낮은 상품성을 보이고 있다.

체형 1 (BS 1), 체형 2 (BS 2) 및 체형 3 (BS 3)에서 포식군은 각각 61.61 ± 3.21 , 22.07 ± 0.65 , 15.62 ± 0.57 , 기아군은 각각 49.45 ± 2.35 , 17.66 ± 0.75 , 11.96 ± 0.43 로 포식군은 기아군에 비해 이러한 형질에서 1.25~1.31배 컸다 ($P < 0.05$) (Table 5). 체형 1, 체형 2 및 체형 3은 체장을 고려한 형질들로서, 이러한 형질들에서 기아군에 비해 포식군의 비가 등지느러미 기저 앞 횡단면 체 둘레, 등지느러미 기저 앞 횡단면 전체 높이 및 등지느러미 기저 앞 횡단면 폭에서 각각 낮게 나타남과, 비만도인 경우 포식군이 기아군에 비해 1.13배 높게 나타남 (Table 4)을 함께 고려한다면, 버들치 기아시 체장 변화는 여타 체형질 변화보다는 현저하지 않음을 시사한다.

횡단형 1-1 (SS 1-1)은 포식군이 70.30 ± 11.90 , 기아군이 74.39 ± 1.52 , 횡단형 1-2 (SS 1-2)는 포식군이 71.02 ± 2.11 , 기아군이 67.28 ± 3.02 로 포식군과 기아군이 각

횡단면에서 서로 유사하였다 (Table 5). 횡단형 2-1 (SS 2-1)과 횡단형 2-2 (SS 2-2)에서 포식군은 각각 51.60 ± 10.40 , 61.44 ± 0.98 , 기아군은 각각 47.99 ± 1.89 , 62.74 ± 1.96 으로 포식군과 기아군은 거의 유사하여 (Table 5), 버들치 기아시 횡단형 2-1 및 횡단형 2-2에서의 변화, 즉 횡단형태의 변화는 나타나지 않음을 알 수 있었다. 가슴지느러미 기저 뒤 절단면 폭에 대한 복강 두께 백분율인 횡단형 3-1 (SS 3-1)은 포식군이 6.25 ± 1.39 , 기아군이 4.27 ± 0.30 으로, 기아군에 비해 포식군이 1.46배로 컸다 ($P < 0.05$) (Table 5). 가슴지느러미 기저 뒤 절단면 폭에 대한 가슴지느러미 기저 뒤 절단면 복강 두께 1, 가슴지느러미 기저 뒤 절단면 복강 두께 2의 각각 백분율이 횡단형 3-2 (SS 3-2), 횡단형 3-3 (SS 3-3)은 포식군이 각각 6.55 ± 1.31 , 10.17 ± 2.01 , 기아군이 횡단형 3-2에서는 서로 유사하나 횡단형 3-3에서는 1.22배 차이를 보인다 ($P < 0.05$) (Table 5).

가슴지느러미 기저 뒤 횡단면 복강 두께 1, 가슴지느러미 기저 뒤 횡단면 복강 두께 2에서의 측정된 형질이 기아군에 비해 포식군이 높게 나타난 반면, 상대 형질인 횡단형 3-2에서는 포식군과 기아군이 거의 유사하게 나타남과 더불어 횡단형 2-1과 횡단형 2-2에서의 포식군과 기아군 결과를 병행하여 고려시, 기아는 본 연구에서와 같은 일정 형질인 횡단 형태의 급격한 변화는 수반하지 않음을 알 수 있다. 횡단 형질 3-1에서 포식군이 기아군에 비해 높은 값, 즉 1.46배를 나타낸 바 ($P < 0.05$), 이와같은 비교적 높은 횡단형 값은 그 횡단형이 더욱 원형에 가깝다는 것을 말한다 (Gjerde 1989).

이러한 원형 정도의 척도인 횡단형은 차후, 영양 상태 파악을 위한 본 연구 기법이 적용될 대상 어류에 대한 소비자 취향에 전적으로 좌우되겠지만, 상품성에 큰 영향을 줄 형질로 사료된다. 횡단 형질 3-1과 횡단 형질 3-3을 제외한 형질인 횡단형 1-1, 횡단형 1-2, 횡단형 2-1, 횡단형 2-2 및 횡단형 3-2에서는 버들치 기아에 따른 유의한 차이, 즉 큰 형태 변화는 보이지 않았다. 횡단형 4-1 (SS 4-1)은 포식군이 504.00 ± 114.00 , 기아군이 484.50 ± 25.60 으로 포식군과 기아군은 거의 유사한 반면, 횡단형 4-2 (SS 4-2)는 포식군이 646.40 ± 29.30 , 기아군이 549.50 ± 53.00 으로 포식군이 기아군에 비해 1.18배 높았다 ($P < 0.05$) (Table 5).

본 연구의 버들치 기아시 조사된 비만도, 내장과 지수, Dressing 비 및 횡단면에서 나타난 여러 형질들을 여타 어류의 기아 연구시 적용된다면, 기아시 어류들 간의 공통된 특정 변화형질을 파악할 수 있을 것이며, 이렇게 파악된 특정 형질은 그 대상 어류의 생태계에서의 영양 상태 파악을 위한 한 지표로도 활용될 수 있으리라 사료된다.

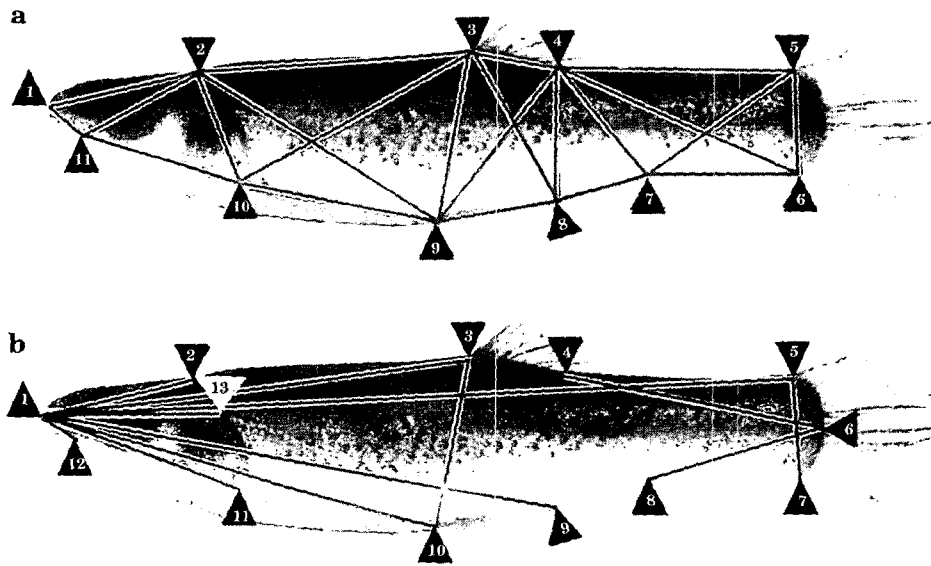


Fig. 4. Truss and classical dimensions of distances measured for the starvation experiment in *Rhynchoypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry). Morphological landmarks are numbered and morphometric distances between landmarks are shown. (a) Truss dimension, 1: Most anterior extension of the head; 2: Posterior end of supraoccipital; 3: Origin of dorsal fin; 4: Insertion of dorsal fin; 5: Dorsal origin of caudal fin; 6: Ventral origin of caudal fin; 7: Insertion of anal fin; 8: Origin of anal fin; 9: Origin of pelvic fin; 10: Origin of pectoral fin; 11: Posterior end of maxillary. (b) Classical dimension, 1: Most anterior extension of the head; 2: Posterior end of supraoccipital; 3: Origin of dorsal fin; 4: Insertion of dorsal fin; 5: Dorsal origin of caudal fin; 6: Most posterior scale in lateral line; 7: Ventral origin of caudal fin; 8: Insertion of anal fin; 9: Origin of anal fin; 10: Origin of pelvic fin; 11: Origin of pectoral fin; 12: Posterior end of maxillary; 13: Most posterior aspect of operculum (Park *et al.* 2001).

다. 본 연구 결과와 더불어, 어류에서 기아시 다양한 물질 대사 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 필요하며 기아시 간 (Moon 1983)과 Agranular endoplasmic reticulum (Gas 1973)을 대상으로한 조직학적 미세구조 연구가 첨가적으로 필요하리라 사료된다.

3. 버들치 기아시의 계측형질 변화

Love (1970, 1980)의 개관에 의하면, 많은 어종은 자연 상태에서 장기간의 기아에도 견딜 수 있다고 하였다. 본 연구 결과 버들치, *Rhynchoypris oxycephalus* (Sauvage and Darby)는 75일간의 기아에도 비록 활력은 저하되었지만, 모두 생존하였다. 본 실험시 비록 기아군 (Starved group)의 체장 성장은 포식군 (fed group)의 체장 성장에 비하여 저조 하였지만, 기아군은 실험시작시 대조군에 비하여는 체장 성장을 보였다. 기아실험 시작시의 대조군의 체장은 5.46 ± 0.24 cm (Mean \pm SD) 이었으며 기아실험 종료시의 포식군과 기아군의 체장은 각각 $7.53 \pm$

0.47 cm, 6.05 ± 0.46 cm이었다.

각 계측형질 (Fig. 4와 Table 6)은 전장에 대한 상대비로 Arc sin square root로 전환 후 ANOVA 검정을 실시하였다. 다중비교를 위하여 Sidak pairwise test를 실시하였으며 유의성은 0.05나 0.01보다 작을 경우 유의하다고 인정하였다. 먹이공급에서의 차이는 Table 6에서와 같은 Classical dimension과 Truss dimension에 유의한 영향을 주었다 (Table 7과 Table 8에 요약).

Truss dimension인 경우 대조군에 비교시 포식군 (증가 항목: 1×2 , 2×3 , 2×9 , 2×10 및 4×7 ; 감소 항목: 4×5 , 4×6 , 4×9 , 5×6 , 6×7 , 7×8 , 5×7 , 8×9 및 10×11)과 기아군 (증가 항목: 1×2 , 2×3 , 2×10 , 3×10 , 4×7 , 3×4 및 10×11 ; 감소 항목: 3×8 , 3×9 , 4×6 , 4×9 , 5×6 , 6×7 , 7×8 및 9×10)은 유의한 차이를 보였다 ($P < 0.01$ 혹은 $P < 0.05$) (Table 7). 포식과 기아의 영향으로 Truss dimension인 경우 두부의 1×2 와 2×10 항목, 몸통부위 2×3 항목 및 꼬리부위의 4×7 항목이 공통적으로 증가한 반면, 몸통부위의 4×9 항목과 꼬리부위의 4×6 , 5×6 , 6×7 및 7×8 항목이 공통적으로 감소하였다. 기아실험 종료시 Truss dimension인 경우 두부와 몸통

Table 6. Dimensions of body shape used in this study (Park *et al.* 2001)

Dimensions	
Truss dimensions	
Most anterior extension of the head × posterior end of supraoccipital	1 × 2
Most anterior extension of the head × posterior end of maxillary	1 × 11
Posterior end of supraoccipital × origin of dorsal fin	2 × 3
Posterior end of supraoccipital × origin of pelvic fin	2 × 9
Posterior end of supraoccipital × origin of pectoral fin	2 × 10
Posterior end of supraoccipital × posterior end of maxillary	2 × 11
Origin of dorsal fin × insertion of dorsal fin	3 × 4
Origin of dorsal fin × origin of anal fin	3 × 8
Origin of dorsal fin × origin of pelvic fin	3 × 9
Origin of dorsal fin × origin of pectoral fin	3 × 10
Insertion of dorsal fin × dorsal origin of caudal fin	4 × 5
Insertion of dorsal fin × ventral origin of caudal fin	4 × 6
Insertion of dorsal fin × insertion of anal fin	4 × 7
Insertion of dorsal fin × origin of anal fin	4 × 8
Insertion of dorsal fin × origin of pelvic fin	4 × 9
Dorsal origin of caudal fin × ventral origin of caudal fin	5 × 6
Dorsal origin of caudal fin × insertion of anal fin	5 × 7
Ventral origin of caudal fin × insertion of anal fin	6 × 7
Insertion of anal fin × origin of anal fin	7 × 8
Origin of anal fin × origin of pelvic fin	8 × 9
Origin of pelvic fin × origin of pectoral fin	9 × 10
Origin of pectoral fin × posterior end of maxillary	10 × 11
Classical dimension	
Most anterior extension of the head × posterior end of supraoccipital	1 × 2
Most anterior extension of the head × origin of dorsal fin	1 × 3
Most anterior extension of the head × dorsal origin of caudal fin	1 × 5
Most anterior extension of the head × origin of anal fin	1 × 9
Most anterior extension of the head × origin of pelvic fin	1 × 10
Most anterior extension of the head × origin of pectoral fin	1 × 11
Most anterior extension of the head × posterior end of maxillary	1 × 12
Most anterior extension of the head × most posterior aspect of operculum	1 × 13
Origin of dorsal fin × origin of pelvic fin	3 × 10
Insertion of dorsal fin × most posterior scale in lateral line	4 × 6
Dorsal origin of caudal fin × ventral origin of caudal fin	5 × 7
Most posterior scale in lateral line × insertion of anal fin	6 × 8

부위에서의 증가와 꼬리부위에서의 감소의 형태학적 경향을 보이고 있다.

Truss dimension인 경우 머리부위와 몸통부분, 어류의 복면은 포식과 기아시 유의한 증가를 보였다. Truss dimension인 경우 꼬리부분 특히, 몸통부위의 뒤쪽에서 포식과 기아시 감소하는 경향을 보였다. 본 연구 결과와 유사한 결과는 *Trachurus symmetricus*, Ayre, *Clupea hatrnigus*과 여타 연어과 어류의 복면형태 변화로 나타나고 있다(Ehrlich *et al.* 1976; Theilacker 1987; Currens *et al.* 1989). 본 연구 결과는 무지개송어, *Oncorhynchus mykiss*과 Chinook salmon, *O. tshawytscha*에서 먹이공급을 달리하였을 경우 머리부위의 Truss dimension은 일반적으로 컸으며, 몸통부위의 Truss dimension은 작았다는 Currens *et al.* (1989)의 보고와도 일치한다.

Classical dimension인 경우 대조군에 비교시 포식군(증가 항목: 4×6; 감소 항목: 1×2, 1×13, 1×5 및 1×12)과 기아군(감소 항목: 1×2, 1×10, 3×10 및 5×7)은 유의한 차이를 보였다($P < 0.01$ 혹은 $P < 0.05$) (Table 3). Classical dimension인 경우 포식과 기아시 두부의 1×2 항목이 공통적으로 감소하였다. 기아실험 종료시 표본으로서 Classical dimension인 경우 두부에서의 증가와 꼬리부위에서의 감소의 형태학적 경향을 보이고 있다. Truss dimension인 경우 1×11과 4×8 항목, Classical dimension인 경우 1×3, 1×9, 1×11 및 6×8 항목은 포식과 기아시 거의 영향을 받지 않았다(Table 7과 Table 8).

포식시 Classical dimension인 경우 몸통과 꼬리부위의 체고 형질들에 비하여 머리부위의 형질이 유의하게 감소한 반면, 꼬리부위에서의 Classical dimension의 유일한 감소형질은 등지느러미 기저끝과 측선의 가장 뒷비늘까지의 거리이었다. 본 연구 결과 Truss dimension과 Classical dimension인 경우 머리부위와 몸통부위가 포식과 기아시 일반적으로 영향을 받았다. 이러한 결과로 포식군과 기아군간의 차이는 지방대사에서의 생리학적 차이에 의한 것으로 설명 가능하며, 체형 중에서도 특히 체고가 영양상태를 나타낸다고 Theilacker (1978)가 이미 보고한 바 있다. Currens *et al.* (1989)은 연어과 어류에서 몸통부위는 먹이공급과 기아시 지방 축적과 지방 손실이 가장 크게 일어나는 장소라고 지적한 바 있다.

이 등(1999)은 버들치의 9주간 기아시 Hepatosomatic index가 크게 감소(87%)한 결과는 가용할 수 있는 영양의 전환으로 보고하였다. Sturgeon, *Acipenser transmontanus*과 무지개송어에서 장기간의 기아시 흰색 근육으로 이루어진 복강보다는 복강지방과 간이 영양원으로 더욱 쉽게 사용될 수 있다는 유사한 보고가 있다(Weatherley

Table 7. Means and standard deviations for truss dimension of control, fed and starved groups in *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry), and results of student's *t*-test for differences between groups^a (Park *et al.* 2001)

Dimension	Control group (Mean ± SD)	Fed group (n = 50)		Starved group (n = 50)	
		(Mean ± SD)	<i>t</i> -test	(Mean ± SD)	<i>t</i> -test
1 × 2	22.58 ± 0.78	23.26 ± 0.67	**	24.42 ± 1.22	**
1 × 11	19.76 ± 1.84	19.29 ± 3.14	NS	19.92 ± 1.77	NS
2 × 3	38.67 ± 1.27	40.53 ± 1.08	**	40.30 ± 1.07	**
2 × 9	38.33 ± 1.05	39.22 ± 1.35	**	38.07 ± 1.16	NS
2 × 10	23.07 ± 1.29	24.51 ± 1.17	**	23.75 ± 0.67	**
2 × 11	22.06 ± 1.25	22.28 ± 1.76	NS	21.71 ± 1.75	NS
3 × 4	19.88 ± 0.72	19.85 ± 0.85	NS	20.20 ± 0.82	*
3 × 8	28.35 ± 0.74	28.04 ± 0.53	NS	27.41 ± 0.73	**
3 × 9	28.17 ± 0.83	28.18 ± 1.12	NS	25.65 ± 0.59	**
3 × 10	35.85 ± 0.65	36.97 ± 0.62	NS	35.99 ± 1.28	**
4 × 5	34.56 ± 1.47	33.53 ± 0.92	**	34.35 ± 0.62	NS
4 × 6	40.00 ± 1.34	35.51 ± 0.79	**	34.62 ± 1.68	**
4 × 7	24.99 ± 0.87	25.69 ± 0.95	**	26.04 ± 1.22	**
4 × 8	23.56 ± 4.52	25.30 ± 1.27	NS	23.20 ± 1.73	NS
4 × 9	36.00 ± 1.34	34.51 ± 0.79	**	44.62 ± 1.68	**
5 × 6	20.94 ± 0.61	20.51 ± 0.75	**	20.55 ± 0.52	**
5 × 7	30.05 ± 1.69	29.03 ± 1.62	*	29.99 ± 0.80	NS
6 × 7	27.14 ± 1.51	24.73 ± 1.31	**	24.80 ± 1.13	**
7 × 8	21.51 ± 4.35	19.27 ± 0.75	**	19.77 ± 1.18	*
8 × 9	24.43 ± 1.06	23.88 ± 0.80	*	24.21 ± 1.20	NS
9 × 10	30.55 ± 3.71	31.31 ± 1.37	NS	29.05 ± 2.12	*
10 × 11	24.61 ± 1.38	24.05 ± 1.27	*	25.07 ± 0.62	*

^aFor dimensions refer to text for details. Data were analysed using one-way ANOVA on data transformed to arcsine of square root. *t*-test: *: P < 0.05; **: P < 0.01; NS: not significant.

Table 8. Means and standard deviations for classical dimensions of the control, fed and starved groups in *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry), and results of Students's *t*-test for differences between groups^a (Park *et al.* 2001)

Dimension	Control group (Mean ± SD)	Fed group (n = 50)		Starved group (n = 50)	
		(Mean ± SD)	<i>t</i> -test	(Mean ± SD)	<i>t</i> -test
1 × 2	24.35 ± 1.51	22.45 ± 1.53	**	23.26 ± 0.66	**
1 × 3	48.14 ± 1.01	48.49 ± 1.10	NS	48.54 ± 1.05	NS
1 × 5	79.41 ± 4.72	77.19 ± 1.50	*	77.47 ± 5.48	NS
1 × 9	53.77 ± 3.77	54.13 ± 0.59	NS	58.29 ± 0.86	NS
1 × 10	45.54 ± 1.06	45.25 ± 0.69	NS	44.19 ± 0.78	**
1 × 11	29.85 ± 0.74	28.81 ± 0.56	NS	29.97 ± 0.76	NS
1 × 12	19.53 ± 2.09	18.66 ± 2.21	*	19.11 ± 1.51	NS
1 × 13	27.05 ± 1.21	26.14 ± 0.82	**	25.98 ± 4.48	NS
3 × 10	28.28 ± 0.87	28.15 ± 1.11	NS	25.66 ± 0.62	**
4 × 6	36.20 ± 0.86	37.28 ± 2.48	*	37.66 ± 5.73	NS
5 × 7	21.08 ± 1.10	20.89 ± 2.07	NS	20.56 ± 0.52	*
6 × 8	30.45 ± 2.05	30.06 ± 1.50	NS	30.20 ± 1.41	NS

^aFor dimension refer to test for details. Data were analysed using one way ANOVA on data transformed to arcsine of square root. *t*-test: *: P < 0.05; **: P < 0.01; NS: not significant.

and Gill 1981; Hung *et al.* 1997). 30년 이상 동안 대부분의 계측형질에 관한 연구는 Hubbs and Lagler (1947)가 사용한 어체의 길이, 체고 및 체폭에 관한 Classical

dimension의 일부 형질 특히, 머리부위와 꼬리부위에 기준하였다. 균일하고 다양한 거리 측정으로 어체의 형태나 윤곽을 파악하기 위하여 Humphries *et al.* (1981)은 어체

형을 따라서 Truss dimension이라 불리는 십자형 계측을 제안하였다. 본 연구 결과는 Strauss and Bond (1990)이 간과하였듯이 Truss dimension은 길이 방향과 수직 방향은 물론 경사 방향에서의 형태 차이 파악을 가능케 한다.

포식과 기아시 머리뒷부위에서 Truss dimension인 경우 등지느러미 기저 끝×항문지느러미 기저 시작, Classical dimension인 경우 주둥치×등지느러미 기저 시작, 주둥치×항문지느러미 기저 시작과 측선의 가장 뒷 비늘×항문지느러미 기저 끝의 계측형질이 거의 영향을 받지 않았다. 이러한 계측항목들은 먹이 가용 여부나 먹이 질의 환경적 차이에 연관되어 다른 체형질과는 달리 영향을 덜 받았으며, 이러한 포식과 기아시 Truss dimension과 Classical dimension에서의 비영양 형질은 연어과 자어에서 꼬리부위가 분류학적 차이의 기준으로 사용된 것처럼 버들치속에서의 중간 구분의 기준으로 유용하게 사용될 수 있을 것이다 (Currens *et al.* 1989). 아울러 버들치에서의 체고 형질을 비슷한 몸통부위의 형질들은 다른 서식지에 따른 상이한 먹이 섭취에 의한 다양한 차이 파악에도 유용한 가치가 있을 것이다.

적 요

기아시와 포식시 버들치, *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry)에 미치는 영향을 파악하기 위하여 조직학적 및 생화학적 변화, 체절단면 계측형질 변화 그리고 계측형질 변화에 대하여 조사하였다.

기아에 따른 버들치의 생화학적, 조직학적 변화를 파악하기 위해, 간의 간중량지수, 단백질함량, RNA량 및 DNA량 조사와 더불어 간세포 및 중장 상피세포의 조직학적 조사를 실시한 결과, 기아군은 포식군에 비해 간의 단백질함량, RNA량 및 DNA량에서 높은 값을 보였지만, 먹이 공급 중단은 버들치의 간중량지수, 간세포 핵 크기 및 중장 상피세포 핵 높이에 있어서 감소를 나타내었다. 본 실험에서 조사된 RNA-DNA 비는 버들치의 영양상태 파악 지수로 유용하였으며 또한, 버들치 표본 시기에서의 높은 성장 단계인지 혹은 낮은 성장 단계인지의 성장 활성 파악을 가능케 하였다. 본 연구 결과의 자료를 구체적으로 해석 하였으며, 아울러 다수의 생물학적 중요 연관 사항들을 고찰하였다.

버들치 기아시의 영양상태 평가를 위하여 비만도, 내장 피지수, Dressing 비를 비롯한 체형단 절단면에서의 형태적 변화를 조사하였다. 9주간의 기아시 비만도, 내장피지수 및 대부분의 체형단 절단면 계측형질들에서의 감소를

보였다 ($P < 0.05$). 본 연구 결과, 실험에 적용된 영양성 Parameter는 본 종의 영양상태 파악에 유용한 지표임을 시사한다. 연구 결과를 자세히 해석하여, 버들치에서의 주요 체 절단 형질의 산업성을 논의하였다.

버들치에서의 75일간 기아가 Classical dimension과 Truss dimension에 미치는 영향을 파악하였다. Truss dimension인 경우 포식시와 기아시 복강을 비롯한 머리부위와 몸통부위가 유의하게 증가하였다 ($P < 0.05$). Truss dimension의 꼬리부위 특히, 몸통의 뒷부분이 포식과 기아시 일반적으로 감소하였다. Classical dimension인 경우 포식시 꼬리부위가 감소한 반면, 기아시 몸통부위와 꼬리부위에서의 체고 관련 형질에 연관시 머리부위에서의 형질들이 유의하게 감소하였다. 본 연구 결과 Truss dimension은 Classical dimension을 보완하여 어체의 수직방향 연관 형질 파악도 가능케 하였다. Truss dimension과 Classical dimension인 경우 포식시와 기아시 머리 아랫부위는 거의 영향이 없어, 본 형질은 버들치속 어류의 분류학적측면에서 유용하게 사용될 수 있을 것이다. 버들치에서 체고와 연관된 몸통부위 형질들은 상이한 서식지에 기인된, 다양한 먹이공급 차이의 파악에 유용하리라 사료된다.

감사의 글

본 논고는 2002년도 한국학술진흥재단 지원인 「2002년도 한국해양대학교 해양과학기술연구소 중점연구소 지원사업 (KRF-2002-005-F00004)」에 의하여 수행되었음. 본 논고는 작성시 도움을 준 전임연구교수 허준욱 박사님과 한국해양대학교 해양과학부 학생들, 대학원 석사과정의 조진희 선생께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김익수. 1997. 한국동식물도감, 제37권 동물편 (담수어류). 교육부. pp.257-261.
- 민미숙, 양서영. 1986. 한국산 버들치속 어류 2종의 분류·분포 및 지리적 변이에 관하여. 한국동물학회지. 2:63-78.
- 박인석, 장창익. 1994. 산천어, *Oncorhynchus masou* 2배체와 유도 3배체의 형태학적 차이. 한국어류학회지. 6:206-221.
- 박일웅, 홍재식, 이근광, 김명곤, 김종배, 강귀환. 1995a. 동면어류의 시기별 근육성분 분포에 관한 조직학적 관찰. 1. 미꾸라지 (*Misgurnus mizolepis*) 근육조직 중 탄수화물, 단백질 및 지방산 분포의 변화. 한국어류학회지. 7:184-194.
- 박일웅, 홍재식, 이근광, 김종배, 강귀환, 김현우. 1995b. 동면어

- 류의 시기별 근육성분 분포에 관한 조직학적 관찰. 2. 쟁뚱어 (*Boleophthalmus pectinirostris*) 근육조직 중 탄수화물, 단백질 및 지방산 분포의 변화. 한국어류학회지. 7:195-202.
- 박인석, 김정혜, 방인철, 김동수. 1998a. 버들치, *Rhynchocypris oxycephalus* 초기 생식소 발달과 성분화에 관한 조직학적 연구 발생과 생식. 2:69-74.
- 박인석, 이창규, 임재현, 김정혜, 김선웅. 1998b. 조피볼락, *Sebastes schlegeli* 자어와 점농어, *Lateolabrax* sp. 자어의 기아시 성장 및 간세포 핵 크기 변화. 한국양식학회지. 11:345-352.
- 박인석, 임재현, 김정혜, 김동수. 1998c. 버들치, *Rhynchocypris oxycephalus*에서의 외과적 상처 치유. 한국양식학회지. 11:167-172.
- 박인석, 임철호, 최문술. 1998d. 버들개, *Rhynchocypris steindachneri* 운송을 위한 마취제 lidocaine-hydrochloride의 평가. 한국수산학회지. 3:785-790.
- 박인석, 김정혜, 정장방, 임재현. 1998e. 버들치, *Rhynchocypris oxycephalus*와 버들개, *R. steindachneri*에 대한 리도카인의 마취 효과. 한국양식학회지. 11:59-66.
- 박인석. 2000. 저온처리에 의한 버들치, *Rhynchocypris oxycephalus* 척추 기형. 한국어병학회지. 13:147-151.
- 박인석, 최 윤, 김용호, 남윤권, 김동수. 2002a. 버들치, *Rhynchocypris oxycephalus*와 버들개, *R. steindachneri*의 Flow cytometry 및 세포유전학적 분석. 한국양식학회지. 13:193-196.
- 박인석, 임재현, 정창화, 노재구, 김윤해, 이영호. 2002b. 기아시 버들치 *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry)의 일부 영양조건에서의 효과. 2. 체 절단면 계측형질의 변화. 한국어류학회지. 14:11-18.
- 이근광, 김용호, 박인석. 1999. 기아시 버들치, *Rhynchocypris oxycephalus*의 일부 영양 조건에서의 효과. 1. 생화학적, 조직학적 변화 특징. 한국어류학회지. 11:33-41.
- 이금영, 장선일, 윤명자, 노준노, 전상린, 강영희, 板井降彦. 1987. 한국 및 일본산 버들치속(잉어과) 어류 4종의 핵형 분석. 한국육수학회지. 20:49-60.
- 이창규, 박인석, 허성범. 1998. 기아시 불바리 자어의 간세포 핵 변화. 한국양식학회지. 11:11-17.
- 정의영, 이근광, 오영남. 1991. 자성쟁뚱어의 난소 발달단계에 따른 간세포의 활성변화 및 간조직의 단백질, 핵산함량에 관한 연구. 한국어류학회지. 3:48-57.
- Bouche G, Y Creach and N Gas. 1970. Fasting and re-nutrition of carp (*Cyprinus carpio* L.). 1. Influence on the nucleic acids of liver. Arch. Sci. Physiol. 24:243-251.
- Brachet J. 1955. The biological role of the pentose nucleic acid. The Nucleic Acids, Chemistry and Biology, Vol. 2., In: Chargaff E. and J.N. Davidson (eds.), Academic Press, New York, 576 pp.
- 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, Massachusetts, U.S.A., April 1979., ICES/ELH Symp./SD. 1027 pp. (Mimeo).
- 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.
- Currens KP, CS Sharpe, R Hjort, CB Schreck 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.
- Dische Z. 1955. The nucleic acids. Academic Press, New York, pp.140-149.
- 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 organisms. Mar. Ecol. Prog. Ser. 13:61-71.
- 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.
- Gas N 1973. Cytophysiology of the liver of carp (*Cyprinus carpio* L.). II. Modes of alteration of the ultrastructures during prolonged experimental starvation. J. Physiol. (Paris) 66:283-302.
- Gas N. and A Serfaty. 1972. Cytophysiology of the liver of carp (*Cyprinus carpio* L.). Consecutive modifications to the ultrastructure during maintenance of conditions of winter starvation. J Physiol. (Paris) 64:57-67.
- 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.
- 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.
- 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, KF Lagler. 1947. *Fishes of the Great Lakes Region*. Cranbrook Instit. of Sci. Bull. 26:186 pp.
- 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.
- Hung SSO, W Lin, H Li, T Storebakken and Y Cui. 1997. Effect of starvation on some morphological and biochemical parameters in white sturgeon. *Acipenser transmontanus*. *Aquaculture* 151:357-363.
- Ihssen 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.
- Ito T, A Watanabe and Y Takahashi. 1962. Histologische and cytologische untersuchungen der leber bei fisch und cyclostoma, nebst bemerkungen uber die fett-speicherung-zellen, *Arch. Histol. Jap.* 22:429-463.
- 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.
- Love RM. 1970. Depletion. In: *The Chemical Biology of Fishes with a Key to the Chemical Literature*. Academic Press. London. pp.222-257.
- Love RM. 1980. Feeding and Starvation. In: *The Chemical Biology of Fishes*. Vol. 2. Advances 1968. Academic Press. London. pp.133-229.
- Lowery OH, JN Rosebrough, AL Farr and RJ Randall. 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 103:265-275.
- Moon TW. 1983. Changes in tissue ion contents and ultrastructure of food-deprived immature American eels, *Anguilla rostrata* (LeSueur). *Can. J. Zool.* 61:812-821.
- Murat JC, EM Plisetskaya and NYS Woo. 1981. Endocrine 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.
- Olivereaw M and J Leloup. 1950. Variations du rapport hepatomatique chez la rousseye (*Scyllium canicula* L.) au cours de developement et la reproduction. *Vie Milieu* 1:377-420.
- Park I-S, JH 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.
- Park I-S, J-H Kim, JH Lee and C-H Kim. 1999. Egg development of *Rhynchocypris oxycephalus* (Teleostei, Cyprinidae). *Yellow Sea* 5:46-50.
- Pickford CE. 1953. A study of the hypophysectomized male killfish, *Fundulus heteroclitus* (Linn.). *Bull. Bling-ham Oceanogr. Coll.* 14:5-14.
- Riddell BE, WC Leggett and RL Saunders. 1981. Evidence of adaptive polygenic variation between two populations of Atlantic salmon (*Salmo salar*) native to tributaries of the S. W. Miramichi River, N. B. Can. *J. Fish. Aquat. Sci.* 38:321-333.
- Robertson OH, S Hane, BC Wexler and AP Rinfret. 1963. The effect of hydrocortisone on immature rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Gen. Comp. Endocrinol.* 3:422-436.
- Schneider WC. 1957. Determination of nucleic acids in tissues by pentose analysis. *Methods in Enzymology*. Vol. 3., In: Colowick S.P. and N.O. Kaplan (eds.), Academic Press, New York, 1154 pp.
- Strauss RE and CE Bond. 1990. Taxonomic methods, morphology. In: Schreck CB. and PB Moyle (eds.), *Methods for Fish Biology*. Amer. Fish. Soc., Bethesda, Maryland. pp.125-130.
- Strauss RE. and FL. Bookstein. 1982. The truss: body from reconstructions in morphometrics. *Syst. Zool.* 31:113-135.
- Strüssmann CA and F Takashima. 1989. PNR, histology and morphometry of starved pejerrey *Odontesthes bonariensis* larvae. *Nippon Suisan Gakk.* 55:237-246.
- 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 on the histological and morphological characteristics of jack mackerel, *Trachurus symmetricus* larvae. *Fish. Bull. U.S.* 76: 403-414.
- 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.

Winans GA. 1984. Multivariate morphometric variability in Pacific salmon : technical demonstration. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 41:1150-1159.

Yamamoto T. 1964. Some observations on the fine structure of the liver cells in the starved goldfish (*Carassius auratus*), with special reference to the morphology of fat mobilization during starvation to the liver. Arch.

Histol. Jap. 24:335-345.

Zar JH. 1984. Biostatistical analysis. 2nd ed., Prentice-Hall Inc. NJ. 718pp.

Manuscript Received: July 20, 2004
Revision Accepted: August 20, 2004
Responsible Editorial Member: Ju Chan Kang
(Pukyong Univ.)