

기아에 따른 양식 메기, *Silurus asotus*의 성장 및 생리적 반응

이정열* · 허준욱 · 김선규

군산대학교 해양과학대학 해양생명과학부

Effects of Starvation on Growth and Physiological Response in Cultured Catfish, *Silurus asotus*
by Jeong Yeol Lee*, Jun Wook Hur and Sun Gyu Kim (School of Marine Life Science, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea)

ABSTRACT An experiment was conducted for 80 days to determine the effect of feeding and starvation on the survival, growth, gonad-somatic index (GSI), hepato-somatic index (HSI), viscera index (LSI), the morphometric changes and hematological parameter in a cultured catfish, *Silurus asotus*. 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. Blood analysis (cortisol, glucose, aspartate aminotransferase, alanine aminotransferase, red blood cell and hemoglobin) showed significant differences between the fed and starved groups at the end of the experiment. 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 the cultured catfish.

Key words : Catfish, *Silurus asotus*, starvation and feeding, growth

서 론

일부 어류들은 계절적으로 월동(Wintering), 산란회유(Spawning migration) 혹은 먹이 감소로 인한 자연적 기아(Starvation) 시기를 거치게 되고, 또한 양식어류는 양식과정에서 인위적 또는 환경변화에 따라서 기아를 경험하게 된다. 이러한 기아 시간은 짧게는 몇 일에서 몇 개월에 이를 수 있다(Love, 1970). 그러나 기아시 어류는 생화학적 방법, 생리적 방법 그리고 행동적 방법으로 기아를 극복하고 견딜 수 있으며, 어체는 생체내 기본 과정인 체내 조직내의 내생적(Endogenous) 축적 에너지를 소모함으로써 생명현상을 유지하는데, 이러한 체조직내 저장 에너지의 사용은 성장감소(Degrowth)로 나타나며, 어체의 생리·화학적 조성 과 수분함량, 어체내 축적 에너지의 변화를 동반한다(Weatherley and Gill, 1987; 박, 2004).

기아시 어류는 생존율, 성장, 간중량 지수, 외부 계측형질,

내부 장기의 손상 및 형태변화, 체내 생화학적 변화, 혈액성상, 산소소비율, 호흡수 및 암모니아 배설률 등에 영향을 받는다고 넘치, *Paralichthys olivaceus* 및 무지개송어, *Oncorhynchus mykiss*에서 보고된 바 있다(Weatherley and Gill, 1981; Sumpter *et al.*, 1991; 우, 2005).

기아가 진행되면 초기에는 생리적 스트레스에 놓이게 되는데, 어류가 stress에 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 분비하게 한다. CRH는 뇌하수체선에서 부신피질자극 호르몬(Adrenocorticotrophic hormone, ACTH)을 방출되도록 하며, ACTH는 표적기관인 간신선에서 cortisol 방출을 촉진시켜, stress 대사 반응을 나타낸다. 따라서 cortisol은 stress 반응의 중요한 지표가 된다(Specker *et al.*, 1989).

한편, 기아가 장기간 지속되면 영양 결핍이 심하게 되어

*교신저자: 이정열 Tel: 82-63-469-1834, Fax: 82-63-469-1834,
E-mail: yjeong@kunsan.ac.kr

혼수 및 위장관의 이화성 질환의 원인이 되며, 기아에 대한 기본적인 대사반응은 에너지와 신체조직을 보존하기 위하여 나타난다(정 등, 2003). Guyton (1991)은 기아시에 일어나는 생리적 변화로 다음 세 단계를 거치는 것으로 보고하였다. 첫 번째 단계에서는 긴급 용도를 위하여 저장되었던 glycogen이 분해되어 glucose로 사용되며, 두 번째 단계에는 지질이 이용되면서 oxaloacetate에 비해 Acetyl CoA의 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 사망에 이르게 한다. 즉, 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.

메기, *Silurus asotus*는 분류학적으로 메기목(Siluriformes)의 메기과(Siluridae)에 속하는 종으로 우리나라의 전 하천 및 일본, 중국을 비롯한 동북아시아 담수계에 널리 분포한다(김 등, 2005). 또한 이 종은 우리나라 노지양식에서 중요한 양식 종 중 하나이다. 우리나라의 대부분의 양식장에서는 메기를 월동시키지 않고 겨울철 이전에 상품으로 판매를 하고 있으나, 상품화하지 못한 메기는 노지에서 월동을 할 수 밖에 없다. 겨울철에 수온이 하강하면 먹이를 공급하지 못하여 몇 개월간은 기아 상태에 있게 된다. 메기 양식에 대한 기아 등 대사적인 조건이 변화하였을 때 나타나는 생리, 생화학적 및 대사적인 변화 양상에 따른 영향을 조사한 연구는 찾아보기 힘들다. 기아 시간이 길어져 나타나는 영향은 기아가 회복되더라도 성장 및 질병 면역력 등에서 많이 저하되어 있을 것으로 판단된다. 따라서 기아 시간에 따른 어류의 생리학적 변화 등에 대하여 조사하여 어류의 성장에 영향을 미치지 않는 최대 기아 시간을 조사할 필요성이 있다.

본 연구에서는 노지 양식의 대표종인 메기를 대상으로 양식과정에서 나타날 수 있는 기아에 따른 생리, 생화학적 및 대사적 영향을 조사하여 양식 산업에 기초자료로 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험어

본 실험에 사용된 메기는 2006년 1월에 군산대학교 양어장에서 종묘 생산된 육성어로 평균 전장은 22.9 ± 0.9 cm, 평균 전중은 100.7 ± 11.7 g 이었다. 실험 시작시와 종료시 메기의 평균 체장과 평균 체중은 계측판과 전자저울(SB-

8001, Mettler Toledo, Switzerland)을 사용하여 0.1 단위까지 각각 측정하였다.

2. 실험군 (포식군, 기아군) 설정 및 사육관리

순환여과식 시스템을 갖춘 양어장의 5톤 용량의 콘크리트 사각수조($2.5 \times 2.5 \times 0.8$ m)에 실험어 100마리씩을 사용하여 포식군(Fed group)과 기아군(Starvation group)으로 나누어 각각 2반복으로 설정하였다. 먹이는 본 실험 시작 2주 전부터 만복량의 70%를 매일 공급하였다. 실험 시작시 대조군으로 각 실험군에서 20마리씩의 어류를 표본 채집하였다. 실험 기간 중의 사육수 수질 및 사육조건은 Table 1과 같다. 포식군은 하루에 2회(9:00 및 18:00) 만복시까지 사료를 주었으며, 먹이 공급 2시간 후에는 먹고 남은 사료를 수거하여 계량하였다. 기아군은 실험기간 동안 절식시켰다.

3. 생존율 및 성장률 조사

실험 기간 중의 생존율은 매일 죽은 개체를 파악하여 이로부터 누적 생존율로 역산하였다. 실험 시작시와 종료시에 표본 채집된 포식군과 기아군 각 20마리의 메기를 대상으로 체장성장률(Growth rate for total length: GRL), 체중성장률(Growth rate for body weight: GRW), 일간성장률(Specific growth rate: SGR), 비만도(Condition factor: CF) 등을 다음과 같이 측정하였다.

- $GRL(\%) = (\text{실험 종료시 평균 전장} - \text{실험 시작시 평균 전장}) \times 100 / \text{실험 시작시 평균 전장}$
- $GRW(\%) = (\text{실험 종료시 평균 체중} - \text{실험 시작시 평균 체중}) \times 100 / \text{실험 시작시 평균 체중}$
- $SGR(\%) = (\text{실험 종료시 총체중} - \text{실험 시작시 총체중}) / \text{사육일수}$
- $CF = \text{체중} \times 100 / \text{체장}^3$

또한 실험 시작시부터 실험 종료시에 포식군과 기아군에서 표본된 각 10마리의 메기를 대상으로 해부 후 적출된 간, 내장 및 생식소의 무게를 측정하여 간중량지수, 내장피

Table 1. Freshwater quality during the experiment

Parameter	Range
TAN-N (mg/L)	0.012~0.236
NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	0.069~0.180
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	3.32~4.87
Alkalinity (mg CaCO ₃ /L)	53.0~64.7
Hardness (mg CaCO ₃ /L)	213.1~229.0
Chemical oxygen demand (mg O ₂ /L)	2.06~3.37
Water temperature (°C)	22.1~25.4
Dissolved oxygen (ppm)	5.7~7.8
pH	7.1~8.3

The values are monitored for 80 days.

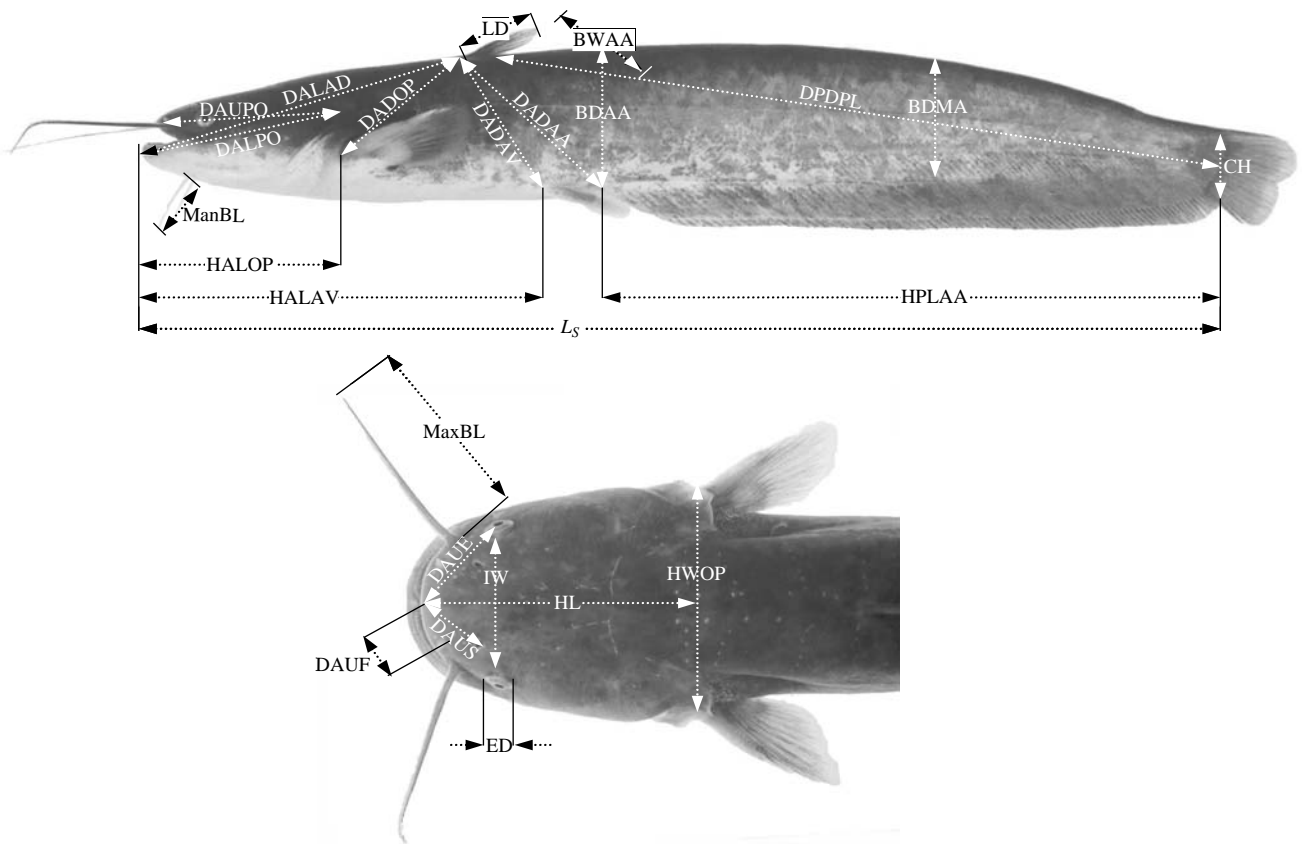


Fig. 1. Morphometric measurements used in this study (Park *et al.*, 2004). Upper: lateral view of whole body; Lower: dorsal view of head part. Standard length (L_s), Direct distance between the anterior edge of the lower lip and the anterior insertion of the dorsal fin (DALAD), Horizontal distance between the anterior edge of the lower lip and the most posterior aspect of operculum (DALPO), Horizontal distance between the anterior edge of the lower lip and the origin of the pectoral fin (HALOP), Horizontal distance between the anterior edge of the lower lip and the anterior insertion of the ventral fin (HALAV), Direct distance between the anterior edge of the upper lip and the most posterior aspect of operculum (DAUPO), Direct distance between the posterior insertion of the dorsal fin and the most posterior in lateral line (DPDPL), Direct distance between the most posterior in lateral line and the anterior insertion of the anal fin (HPLAA), Direct distance between the anterior insertion of the dorsal fin and the origin of the pectoral fin (DADOP), Direct distance between the anterior insertion of the dorsal fin and the anterior insertion of the ventral fin (DADAA), Body depth at the anterior insertion of the anal fin (BDAA), Body depth at the midpoint of the anal fin base (BDMA), Caudal peduncle height (CH), Head width between the origin of the pectoral fins (HWOP), Body width at the anterior insertion of the anal fin (BWAA), Maxilla barbel length (MaxBL), Mandible barbel length (ManBL), Head length between the anterior edge of the upper lip and the midpoint of head width (HL), Direct distance between the anterior edge of the upper lip and the eye (DAUE), Direct distance between the anterior edge of the upper lip and the first nostril (DAUF), Direct distance between the anterior edge of the upper lip and the second nostril (DAUS), Eye diameter (ED), Interorbital width (IW), and Length of the dorsal fin (LD).

지수 및 생식소중량지수를 다음과 같이 조사하였다.

- 간중량지수=(간 무게/체중)×100,
- 내장피지수=(내장피 무게/내장피 제거 체중)×100,
- 생식소중량지수=(생식소 무게/생식소 제거 체중)×100으로 계산하였다.

4. 외형 계측형질 조사

실험 시작시 및 종료시 포식군과 기아군에서 각 20마리씩 표본하여 각 개체들의 외형을 박 등(2004)의 방법에 따라 각 외부 계측형질을 측정하였다(Fig. 1). 외형계측은

digital vernier caliper (No 500-181, Mitutoyo, Japan)를 사용하여 0.01 cm 단위로 측정하였으며, 각 외형 계측형질은 전장에 대한 상대비로 나타내었다.

5. 혈액 성분 조사

실험 시작시와 실험 중간 일인 40일, 그리고 종료시인 80일째에 포식군과 기아군에서 각각 채집된 10마리의 메기를 대상으로 혈액 성상을 분석하였다.

혈액은 20 IU/mL heparin sodium (Sterile Solution HEPARIN Inj., Choongwae Pharma Corporation, Korea) 처리한 플

Table 2. Performance of cultured catfish, *Silurus asotus* in fed and starved groups for 80 days

Items	Rearing period (days)	Fed	Starved
Total length (cm)	0	22.9±0.9	22.9±0.9
	80	36.4±1.7	33.9±1.7
Body weight (g)	0	100.7±11.7	100.7±11.7
	80	290.7±27.0 ^b	114.0±21.4 ^a
GRL	80	59.0±5.8	48.1±13.2
GRW	80	188.7±10.2 ^b	13.2±5.6 ^a
SGR	80	2.4±0.2 ^b	0.2±0.1 ^a
Survival (%)	0	98.2±0.3 ^b	80.2±4.5 ^a
	80	98.2±0.3 ^b	80.2±4.5 ^a
Condition factor	0	8.4±0.5	8.4±0.5
	80	6.0±0.4 ^b	2.9±0.3 ^a
HSI	Male	0	2.3±0.6
		80	2.4±0.4 ^{ab}
	Female	0	2.2±0.4
		80	2.6±0.4 ^b
LSI	Male	0	5.2±0.5
		80	5.8±0.8 ^b
	Female	0	4.7±1.0
		80	5.1±0.2 ^b
GSI	Male	80	2.2±0.1
	Female	80	6.1±3.2 ^b

Values are means of experiments run on two occasions (\pm SD, $n=20$) Means within each column followed by the same alphabetic letter (between groups at equivalent days) are not significantly different ($P>0.05$). Condition factor: (body wt./total length³) \times 1000. GRL (growth rate for total length)=(final mean total length)-(initial mean total length) \times 100/(initial mean total length), GRW (growth rate for total weight)=(final mean body weight)-(initial mean body weight) \times 100/(initial mean body weight), SGR (specific growth rate)=(final mean body weight-initial mean body weight) \times 100/(rearing day/100), GSI: gonad somatic index=(gonad weight/gutted body weight), HSI: hepatosomatic index=(hepatosomatic weight/gutted body weight), LSI: viscera index=(viscera weight/gutted body weight) \times 100.

라스틱 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 성분 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°C 의 냉동고(CLN-500 UW Nihon Freezer, Nihon Co., Japan)에 보관하였다.

혈액 분석에 있어서 hematocrit, red blood cell (RBC), hemoglobin과 같은 혈액 성분은 자동혈액분석기(Excell 500, USA)로 측정하였다. 혈장 cortisol 농도는 Coat-A-Count TKCO Cortisol RIA Kit (DPC, Los Angeles, USA)로 항원·항체반응을 유도한 다음, 1470 WIZARD Automatic Gamma Coun-

Table 3. Means and standard deviations for morphometric dimension of cultured catfish, *Silurus asotus* in fed and starved groups at the end of this experiment (80th day)

Morphometric dimension	Initial (%)	Fed (%)	Starved (%)
DALAD/Ls	26.96±6.59	29.76±1.14	29.52±1.30
DPDPL/Ls	72.21±0.53	71.6±1.36	68.00±2.90
HPLAA/Ls	61.35±0.37	62.53±1.38	61.53±1.18
HALAV/Ls	36.69±0.34	38.01±1.49	36.35±2.37
HALOP/Ls	20.24±0.46	19.87±1.05	20.22±0.30
DALPO/Ls	21.87±0.76	20.70±0.36	20.62±1.87
DADOP/Ls	15.17±0.31	14.48±1.30	13.06±1.52
DADAV/Ls	15.79±0.35 ^a	15.33±0.99 ^a	11.15±1.22 ^b
DADAA/Ls	17.95±0.46 ^a	17.10±0.34 ^a	14.37±0.38 ^b
MaxBL/Ls	28.06±2.68 ^a	24.49±4.17 ^{ab}	24.07±1.07 ^b
ManBL/Ls	8.48±1.23 ^a	8.62±1.61 ^{ab}	6.84±1.06 ^b
ED/Ls	2.72±0.67	2.24±0.07	2.46±0.08
LD/Ls	7.72±0.54	7.52±0.62	7.99±0.20
CH/Ls	6.20±0.46	6.31±0.66	5.00±0.68
BDAA/Ls	13.98±0.41 ^a	14.29±0.40 ^a	9.81±0.65 ^b
BDMA/Ls	12.45±0.36 ^a	12.84±0.57 ^a	8.10±0.71 ^b
HWOP/Ls	15.37±0.45	14.28±0.68	12.48±1.69
DAVPO/Ls	19.72±1.05	18.84±0.41	19.37±1.68
DAUE/Ls	8.30±0.28	7.51±1.02	7.88±0.31
DAS/Ls	5.58±0.60	5.15±0.52	4.78±0.18
IW/Ls	11.20±0.25	10.41±1.01	10.62±0.62
HL/Ls	18.20±0.39	18.00±1.18	18.22±0.68

Values are means of experiments run on two occasions (\pm SD, $n=20$) Means within each column followed by the same alphabetic letter (between groups at equivalent days) are not significantly different ($P>0.05$).

ter (EG and G Wallac, Turku, Finland)를 사용하여 radioimmunoassay (RIA)에 의해 측정하였다. Glucose, aspartate aminotransferase (AST) 및 alanine aminotransferase (ALT)는 Automatic Chemistry Analyzer (Hitachi 7180, Hitachi, Japan)에 의하여 분석하였다.

6. 통계처리

실험에서 얻어진 자료 값 사이의 유의차 유무는 SPSS-통계 패키지 (SPSS 9.0, SPSS Inc., USA)에 의한 one-way analysis of variance (ANOVA) 및 Duncan's multiple range test로 검정하였다.

결 과

1. 생존율 및 성장

생존율, 성장 및 사료효율 등의 결과는 Table 2에서 보는 것과 같다. 실험 종료시 (80일째) 포식군에서 생존율은 98.2 \pm 0.3%를 나타내었고, 기아군은 80.2 \pm 4.5%로 포식군 보다 낮은 값을 보였다 ($P<0.05$).

전장은 실험 시작시 22.9 \pm 0.9 cm로 부터 포식군과 기아

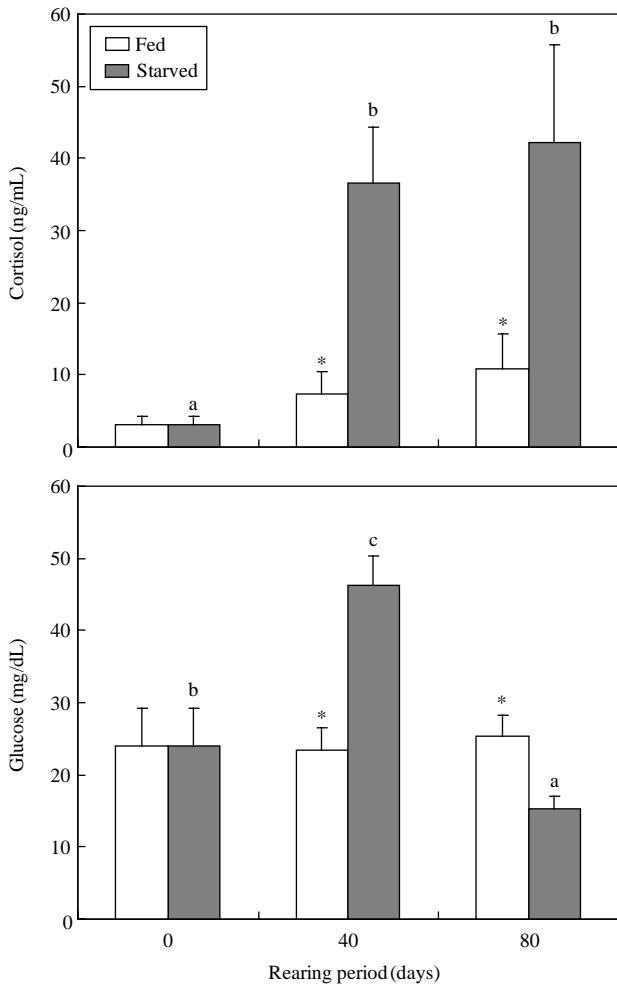


Fig. 2. Variations of plasma cortisol and glucose of cultured catfish, *Silurus asotus* in fed and starved groups for 80 days. Values are means of experiments run on two occasions (\pm SD, $n=10$). Shared alphabetic letters on shaded bars indicate lack of significant difference (Duncan's multiple range test $P>0.05$). *indicates significant differences between groups at equivalent days ($P<0.05$).

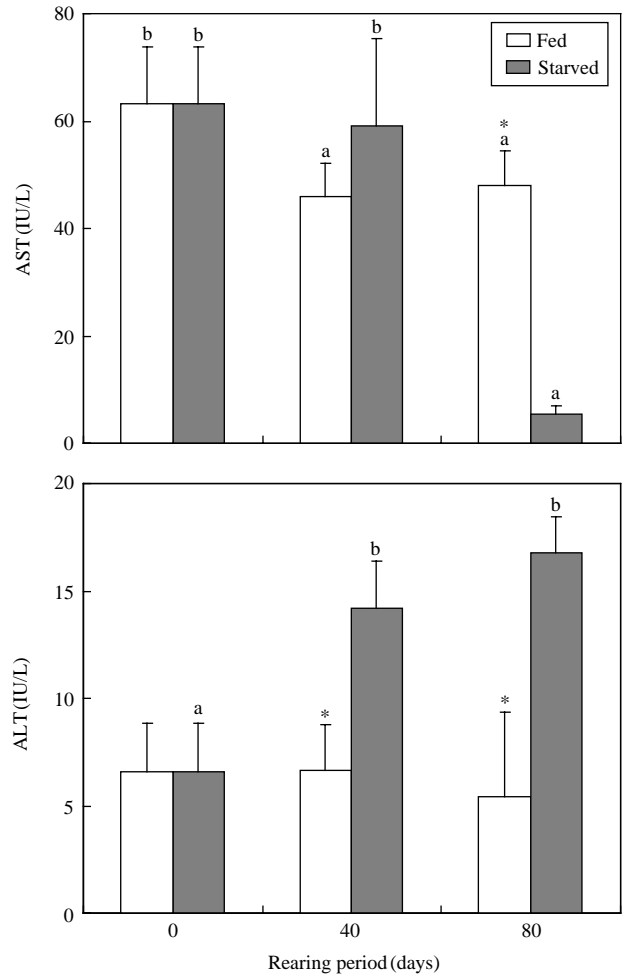


Fig. 3. Variations of plasma aspartate aminotransferase (AST) and alanine aminotransferase (ALT) of cultured catfish, *Silurus asotus* in fed and starved groups for 80 days. Values are means of experiments run on two occasions (\pm SD, $n=10$). Shared alphabetic letters on shaded bars indicate lack of significant difference (Duncan's multiple range test $P>0.05$). *indicates significant differences between groups at equivalent days ($P<0.05$).

군이 각각 36.4 ± 1.7 , 33.9 ± 1.7 cm로 성장하였으며, 전장 성장률은 각각 $59.0 \pm 5.8\%$, $48.1 \pm 13.2\%$ 로 나타났다. 체중은 실험 시작시 100.7 ± 11.7 g으로 부터 포식군은 290.7 ± 27.0 g, 기아군은 114.0 ± 21.4 g으로 차이를 나타내었다 ($P < 0.05$). 체중 성장률은 기아군이 $13.2 \pm 5.6\%$ 로 포식군 $188.7 \pm 10.2\%$ 보다 유의하게 낮았다. 일부 어류에서는 포식군과 비교하여 차이를 보이지 않은 개체가 있었으나, 전체적인 평균 계산에서는 제외시켰다. 비만도는 실험 종료시 포식군과 기아군에서 각각 6.0 ± 0.4 , 2.9 ± 0.3 으로 차이를 보였다 ($P < 0.05$).

간중량지수의 경우, 암컷은 실험 시작시 $2.3 \pm 0.6\%$ 로 부터 종료시 포식군 $2.4 \pm 0.4\%$ 로 차이를 보이지 않았으나, 기아군은 $1.0 \pm 0.3\%$ 로 낮아졌다. 수컷에서도 암컷과 같이

기아군은 실험 시작시보다 종료시에 낮아진 값을 보였다. 이러한 경향은 실험 종료시 내장피지수와 생식소중량지수에서도 나타났다 ($P < 0.05$).

2. 외형 계측형질

포식군 및 기아군의 외형 계측형질을 측정된 결과는 Table 3과 같다. 포식군의 경우 실험 종료시 시작시와 모든 항목에서 차이를 보이지 않았으나, 기아군은 DADVA/Ls, DADAA/Ls, MaxBL/Ls, ManBL/Ls, BDAA/Ls, BDMA/Ls 항목에서 실험 개시시와 차이를 보였다 ($P < 0.05$). 또한 DADVA/Ls, DADAA/Ls, BDAA/Ls, BDMA/Ls 항목에서는 포식군과도 차이를 나타내었다 ($P < 0.05$).

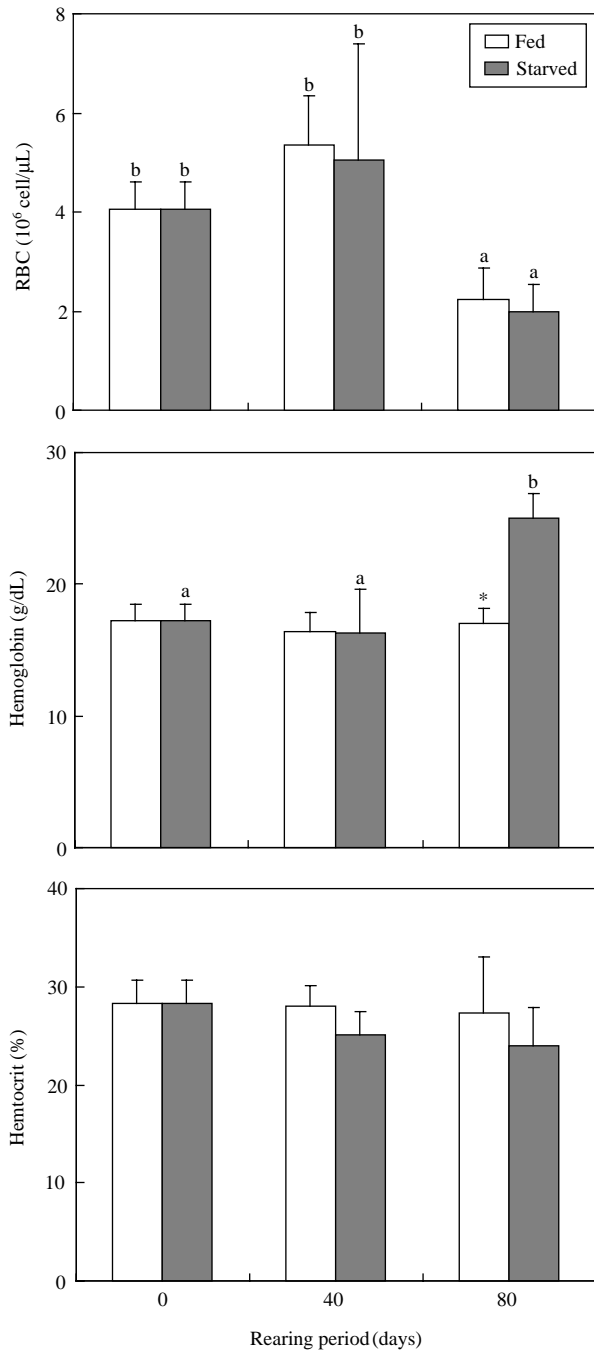


Fig. 4. Variations of blood red blood cell, hemoglobin and hematocrit of cultured catfish, *Silurus asotus* in fed and starved groups for 80 days. Values are means of experiments run on two occasions (\pm SD, $n=10$). Shared alphabetic letters on shaded bars indicate lack of significant difference (Duncan's multiple range test $P>0.05$). *indicates significant differences between groups at equivalent days ($P<0.05$).

3. 혈액성상의 변화

Fig. 2에서와 같이 80일 동안의 포식군과 기아군의 혈장 cortisol 농도는 실험 시작시 3.1 ± 1.2 ng/mL로부터 40일째

에 포식군은 7.3 ± 3.0 ng/mL, 80일째 10.8 ± 4.8 ng/mL로 증가하였으나, 유의한 차이는 나타나지 않았다($P>0.05$). 기아군의 경우, 40일째 36.6 ± 7.8 ng/mL로 증가하였으며, 80일째에는 40일째보다 더욱 높아진 42.1 ± 13.6 ng/mL로 실험 시작시와 차이를 보였으며, 포식군과도 차이를 나타내었다($P<0.05$).

실험 시작시 혈장 glucose 함량은 24.0 ± 5.3 mg/dL 였는데, 포식군은 40일과 80일째에 각각 23.4 ± 3.2 , 25.3 ± 2.8 mg/dL로 차이를 보이지 않았으나, 기아군은 40일째에 46.3 ± 4.0 mg/dL로 유의하게 높아졌으며, 80일째에는 15.3 ± 1.7 mg/dL로 낮아졌다($P<0.05$). 또한 실험 40일과 80일째에는 기아군과 포식군 사이에도 유의한 차이를 나타내었다.

혈장 AST는 Fig. 3에서 보는 것과 같이, 포식군에서 실험 기간 동안 $45.9 \pm 6.3 \sim 63.3 \pm 10.5$ IU/L로 차이를 보이지 않았으나, 기아군은 실험 시작시 63.3 ± 10.5 IU/L로부터 실험 종료시에는 5.3 ± 1.7 IU/L로 유의하게 낮아졌다($P<0.05$). ALT는 포식군에서 실험 기간 동안 차이를 보이지 않았으며, 기아군은 실험 시작시 6.6 ± 2.3 IU/L로부터 40일과 80일째에 각각 14.2 ± 2.2 , 16.8 ± 1.7 IU/L로 높아졌다($P<0.05$).

포식군과 기아군의 혈액 RBC, hematocrit 및 hemoglobin의 변화는 Fig. 4와 같다. 포식군의 RBC 변화는 실험 40일째에 $5.4 \pm 1.0 \times 10^6$ cell/ μ L로 실험 시작시 $4.1 \pm 0.6 \times 10^6$ cell/ μ L에 비해 차이를 보이지 않았으나, 80일째에는 $2.2 \pm 0.6 \times 10^6$ cell/ μ L로 유의하게 낮아진 값을 보였다($P<0.05$). 기아군에서도 포식군과 유사한 경향을 보였다. Hematocrit는 기아군에서 실험 시작시 $17.2 \pm 1.2\%$ 로부터 80일째에는 $25.0 \pm 1.8\%$ 로 유의하게 증가하였다($P<0.05$). 또한 실험 종료시인 80일째에 기아군과 포식군 사이에 유의한 차이를 보였다. 그러나 Hemoglobin 함량은 실험 기간 동안 기아군과 포식군 사이에서 차이를 나타내지 않았다($P>0.05$).

고 찰

어체에 가해지는 여러 자극에 대하여 일어나는 비특이적인 생물반응을 stress라고 하였으며, 이러한 stress의 원인이 되는 인자나 자극을 stress 요인으로 정의하고 있다(Selye, 1958). Stress를 유발하는 요인은 크게 물리적, 화학적 및 생물학적 외적 요인과 어체내에서 일어나는 내적 요인으로 구분할 수 있다(Selye, 1958). 먹이를 먹지 못하는 기아시에도 어체의 기본 신진 대사를 유지하기 위해서는 필요한 에너지가 소비되는데, 이때 소비되는 외부 먹이로부터 공급되

는 에너지가 없으므로 체내 저장 에너지가 소비된다. 따라서 어류에서 기아에 대한 연구는 야생 어류 및 양식 어류의 영양 상태 및 그들의 성장을 이해하는데 도움이 된다(Weatherley and Gill, 1987; 박 등, 1998; 이 등, 1998; Park *et al.*, 2001).

본 실험에서의 기아의 기간은 80일이었지만 자연상태에서 기아 기간은 더 긴 기간 동안 일어날 수 있으며, 이때 어류는 축적 에너지를 소모하여 생존을 유지하기 때문에 성장감소를 동반한다(Love, 1970; Weatherley and Gill, 1987). 본 연구에서 포식군은 실험 종료시 98.2%의 생존율을 유지한 반면, 기아군은 80.2%의 생존율을 보였다. 또한 포식군은 최초 실험시에 비해 전장 성장률이 59.0%, 체중에서는 188.7%의 증가를 보인 반면, 기아군은 전장에서는 48.1%로 포식군과 차이를 보이지 않았으나, 체중에서는 13.2%로 낮게 나타났다. 기아에 따른 체중 감소는 Weatherley and Gill (1981)이 무지개송어를 대상으로 3주와 13주 기아시 각각 14.5%와 32.5%의 체중 감소를 보고하였으며, 넙치를 대상으로 12주 기아를 시킨 경우에는 전장 92%, 체중 56%가 각각 감소하였다고 보고하였다(우, 2005). 그런데 무지개송어와 넙치는 다르게 본 실험의 메기에서 체중감소가 나타나지 않은 것은 약해진 메기를 다른 메기들이 공식한 결과로 추측된다. 이는 실험시 다른 개체를 공격하는 습성이 관찰되었으며, 실험 종료시 기아군에서 체 표면에 상처가 나 있거나 꼬리가 잘려진 개체가 나타나는 것으로 보아서 이를 추측하여 볼 수 있다. 또한 일부 개체에서는 포식군과 같은 성장을 나타낸 개체도 나타나 이를 증명해 주고 있다.

전장, 체중 및 비만도의 경우, 기아군은 전장의 변화보다는 체중의 변화가 더 크게 나타났다. 이러한 결과는 무지개송어 1년생에서 6주 기아시 전장 변화보다는 체중의 감소를 보였다는 보고(Sumpter *et al.*, 1991)와 비슷한 결과를 보인 것이라 하겠다. 또한 기아군에서의 비만도 감소는 기아시에 나타나는 현저한 특징으로, 무지개송어에서도 비슷한 결과(Weatherley and Gill, 1981; Sumpter *et al.*, 1991)가 보고된 바 있다.

포식군에 비하여 기아군의 내장괴지수가 낮아진 것은 근육 축적 에너지 소모에 따른 결과라고 보여 진다. 이와 같은 결과도 버들치, *Rhynchocypris oxycephalus*에서 보고(박 등, 2002)된 바 있다. 또한 간중량지수에서 포식군은 실험 기간 중 비교적 일정한 경향을 보이는데 비해 기아군은 감소 경향을 뚜렷하게 나타내었다. 이와 같이 기아군에서 낮은 간중량지수를 보인 이유는, 어체가 기아로 인해 영양물 섭취에 결핍현상을 가져와 간세포 내의 지방질을 분해하여 에너지원으로 사용하는데 한계점에 도달하지 않았나 생각된다. See bass, *Dicentrarchus labrax*를 사용하여 35일 동안

기아 실험에서 간중량지수는 실험 개시시 보다 유의하게 감소하여 본 연구와 유사한 결과를 보고한 바 있다(Pastoureau, 1991). 마찬가지로 생식소중량지수에서도 기아군의 생식소 발달이 포식군보다 떨어진 것은 기아에 의해 생식소 발달이 영향을 받은 것으로 추측된다.

포식과 기아시 외형 계측형질 중 다른 부분에서는 기아에 따른 영향이 없었으나, DADVA, DADAA, BDAA 및 BDMA에서 실험 시작시 측정된 개체와 종료시 포식군에 비하여 낮아진 값을 보였다. 이 부분은 메기의 체형상 머리 뒷부분부터 미병고까지의 체고에 해당된다. 이와 같은 경향은 버들치에서 9주간 포식과 기아시 외형 계측시 몸통 부위에서도 나타나고 있으며(Park *et al.*, 2001), jack mackerel, *Trachurus symmetricus*, ayre, *Clupea hatrnigus* 및 연어과 어류의 복면 형태 변화로 나타나고 있다(Ehrlich *et al.*, 1976; Theilacker, 1987; Currens *et al.*, 1989). Currens *et al.* (1989)은 연어과 어류에서 몸통 부위는 포식과 기아시에 지방축적과 지방손실이 가장 크게 일어나는 장소라고 지적한 바 있다.

기아시 혈액 내 glucose, 유리지방산 및 hematocrit에 대하여 Atlantic cod, *Gadus morhua* L., European eel, *Anguilla anguilla*, pick, *Esox lucius*, toadfish, *Opsanus tau*, goldfish, *Carassius auratus*, American eel, *Anguilla rostrata* (Karma, 1966; Kawatsu, 1966; Bilinski and Gardner, 1968; Tashima and Cahill, 1968; Chavin and Young, 1970; Larsson and Lewander, 1973; Ince and Thorpe, 1976; Moon, 1983) 등에서 기아의 영향을 보고한 바 있다. 그러나 이전의 연구에서는 단기적인 기아의 효과이기 때문에 본 연구의 80일과는 차이를 보일 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 혈액학적 지표는 일일변화 및 어체의 생리적 상태에 따라 변동 될 수 있는 항목이기 때문에 성장 등 다른 분석 항목과 비교 검토하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

본 연구에서 나타난 혈장 cortisol 농도는 기아군에서는 계속하여 높아지는 경향을 보였다. Glucose의 경우, 포식군은 cortisol과 유사경향을 보였으나, 기아군에서는 40일째는 상승하였으나, 80일째는 실험개시시 보다 낮은 값을 보였다. 일반적으로 cortisol의 경우 여러 가지 요인에 의한 급성 stress의 경우, 모든 어류에서 빠른 시간내에 stress 반응을 나타내는 것으로 알려져 있다(Pickering and Pottinger, 1989). 특히, 연어류에서는 1시간 이내에 40~200 ng/mL로 증가하는 것으로 알려져 있으며, 회복은 보통 48시간으로 보고하고 있다. Stress를 받을 때 분비되는 cortisol의 작용으로 글루코스신생합성(Gluconeogenesis) 효소에 대한 활성이 높아져 glucose가 분비되는 것으로 보고하였다. 기아로 인한 stress의 경우에는 직접적으로 생명에 위협을 줄 수 있는 것이기 때문에 초기에는 신속하게 대응하기 위하

여 cortisol 및 대사 관련 항목에서 증가를 보이거나, 장기적인 기아의 영향은 이러한 반응이 소실된다고 하였다(정 등, 2003). 그러나 장기적인 기아의 영향에 의해서도 cortisol 농도가 증가하였다는 것이 무지개송어에서 보고(Blom *et al.*, 2000)된 바 있다.

본 연구에서도 장기적인 영향에 의해 cortisol의 변화는 무지개송어와 유사한 경향을 보였으나, glucose의 경우 cortisol과 동반상승을 나타내지 않고 감소하는 경향을 보였다. 이는 기아에 의한 생체대사 하강으로 glucose 생성 및 소비속도가 낮아진 것으로 추측하여 볼 수 있다. Harris and Bird (2000)에 의하면 cortisol 농도가 증가하면 면역능력이 저하되어 성장 및 생존에 악영향을 미치는 것으로 보고하였다. 본 연구에서도 기아군의 cortisol 증가는 성장 감소에 영향을 준 것으로 보인다.

AST와 ALT의 경우, 아민기 전이효소의 일종으로 간, 비장 등의 세포에 분포하여 생물체가 건강할 때는 혈중내 활성이 낮아졌다가 조직의 괴사가 일어나거나, 병적 증상이 나타날 때 활성이 높아지는 것으로 알려져 있다(Davis and Parker, 1990). 본 연구에서 나타난 실험 종료시 AST와 ALT의 값은 실험 시작시와 큰 차이를 보여 기아 stress에 따른 간 및 비장 등의 조직에서 생리적 부담을 받은 것으로 생각된다.

기아에 따른 혈액 성분 중 hematocrit에 대하여 무지개송어와 pick (Kawatsu, 1966; Ince and Thorpe, 1976)는 증가하는 것으로 보고하였으며, Trairas, *Hoplias malabaricus*는 90일까지는 실험 시작시와 차이가 없으나 150일부터 감소하는 것으로 보고하였다(Rios *et al.*, 2005). 또한 European eel (Larsson and Lewander, 1973)에 대하여는 감소하는 것으로 보고하여, 어종에 따라서 차이를 보이는 것으로 나타났다. Love (1970)는 기아시 hematocrit 값의 증가는 어류의 새로운 RBC의 생성에 대한 능력을 증가시킬 수 있음을 예견하였으나, 본 연구에서는 hematocrit가 실험 시작시와 차이를 보이지 않았으나, RBC의 값은 감소되어 이것에 대한 자세한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구 결과 기아에 따른 메기의 영향은 생존율, 성장, 외형 계측형질 및 혈액학적인 측면에서 포식군 보다는 기아군에서 문제를 일으키는 것으로 여러 항목에서 나타났다. 장기적인 기아는 양식 현장에서 자주 일어나는 현상은 아니다. 그러나 생물검정 측면에서 기아에 대한 생물체의 생리학적 변화는 면역, 생존율 및 성장 등에 중요한 요인으로 작용하기 때문에 여러 가지 측면에서 연구가 진행되어야 할 것이다. 본 연구에서 나타난 양식 메기 기아시의 영향은 추후 이러한 연구를 위한 기초 자료로 유용하게 활용될 것으로 생각된다.

요 약

메기, *Silurus asotus*에서 포식과 기아가 생존과 성장, 내장피지수, 간중량지수, 생식소중량지수, 외형계측형질 변화 및 혈액 parameter들에 미치는 영향을 파악하기 위해 80일 동안 기아 실험을 수행하였다. 기아군의 생존과 성장은 포식군의 생존과 성장에 비해 낮았다($P < 0.05$). 기아는 체중 성장률, 일간성장률과 비만도에서 성장 정지 효과를 나타낸 반면, 포식군은 지속적인 성장을 보였다. 외형 계측형질 중 복강 부위 횡단길이 관련에서 포식군은 실험 시작시와 차이를 보이지 않았으나, 기아군은 차이를 나타냈다($P < 0.05$). 실험 기간 중 혈액성상(cortisol, glucose, AST, ALT, RBC 및 hemoglobin)에서 포식군과 기아군 사이에 유의한 차이를 보였다. 본 연구 결과, 포식과 기아 파악에 사용된 모든 parameter들은 본 종의 영양 상태 확인의 지표로 유용하며, 양식 메기의 성장 시기 평가 결정에 유용하리라 사료된다.

사 사

이 논문은 2007학년도 군산대학교 연구교수로서 지원된 연구비에 의해 수행된 연구로서 이에 감사드립니다.

인 용 문 헌

- 김익수 · 최 윤 · 이충렬 · 이용주 · 김병직 · 김지현. 2005. 원색한 국어류대도감. 교학사, 615pp.
- 박인석 · 임재현 · 허준욱. 2004. 한국의 메기과(Siluridae) 어류 계측형질 특징. 한국어류학회지, 16: 1-6.
- 박인석. 2004. 버들치, *Rhynchocypris oxyphalus* (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 · 김윤혜 · 이용호. 2002. 기아시 버들치 *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry)의 일부 영양 조건에서의 효과. 2. 체 절단면 계측형질의 변화. 한국어류학회지, 14: 11-18.
- 우선량. 2005. 넙치, *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel) 기아시의 영향. 한국해양대학교 석사학위논문, 한국해양대학교, 76pp.
- 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.
- Bilinski, E. and L.J. Gardner. 1968. Effect of starvation of free fatty acid level in blood plasma and muscular tissues of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). J. Fish. Res. Bd Can., 25: 1555-1560.
- Blom, S., T.B. Andersson and L. Forlin. 2000. Effects of food deprivation and handling stress on head kidney 17 α -hydroxyprogesterone 21-hydroxylase activity, plasma cortisol and the activities of liver detoxification enzymes in rainbow trout. Aquat. Toxicol., 48: 265-274.
- Chavin, W. and J.E. Young. 1970. Factors in the determination of normal serum glucose levels of goldfish, *Carassius auratus* L. Comp. Biochem. Physiol., 33: 629-653.
- Currens, K.P., C.S. Sharpe, R. Hjort, C.B. Schreek and H.W. Li. 1989. Effect of different feeding regimes on the morphometrics of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and rainbow trout (*O. mykiss*). Copeia (1989): 689-695.
- Davis, K.B. and N.C. Parker. 1990. Physiological stress in striped bass: effect of acclimation temperature. Aquaculture, 91: 349-358.
- Ehrlich, K.F., J.H.S. Blaxter and R. Pemberton. 1976. Morphological and historical changes during the growth and starvation of herring and plaice larvae. Mar. Biol., 35: 105-118.
- Guyton, A.C. 1991. Textbook of Medical Physiology. 8th, Wonsiewicz MJ and Hallowell R (eds.), WB Saunders Company, Philadelphia, 782pp.
- Harris, J. and D.J. Bird. 2000. Modulation of the fish immune system by hormones. Vet. Immunol. Immunopathol., 77: 163-176.
- Ince, B.W. 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.
- Karma, S.K. 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, R.M. 1970. Depletion. in The Chemical Biology of Fishes with a Key to the Chemical Literature, Academic Press, London, pp. 222-257.
- Moon, T.W. 1983. Metabolic reserves and enzyme activities with food deprivation in immature American eels, *Anguilla rostrata* (Lesueur). Can. J. Zool., 61: 802-811.
- Park, I.-S., J.M. Im, D.K. Ryu, Y.K. Nam and D.S. Kim, 2001. Effect of starvation on morphometric changes in *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry). J. Appl. Ichthyol., 17: 277-281.
- Pickering, A.D. and T.G. Pottinger. 1989. Stress responses and disease resistance in salmonid fish: Effects of chronic elevation of plasma cortisol. Fish Physiol. Biochem., 7: 253-258.
- Rios, F.S., E.T. Oba, M.N. Fernandes, A.L. Kalinin and F.T. Rantin. 2005. Erythrocyte senescence and haematological changes induced by starvation in the neotropical fish traira, *Hoplias malabaricus* (Characiformes, Erythrinidae). Comp. Biochem. Physiol., 140: 281-287.
- Pastoureaud, A. 1991. Influence of starvation at low tern erates on utilization of energy reserves, appetite recovery and growth character in sea bass, *Dicentrarchus labrax*. Aquaculture, 99: 167-178.
- Selye, H. 1958. The stress of life. Longmans Green and Co, Toronto, pp. 1-50.
- Specker, C.B., C.S. Bradford, M.S. Fitzpatrick and R. Patino. 1989. Regulation of the interrenal of fishes: Non-classical control mechanism. Fish Physiol. Biochem., 7: 259-265.
- Sumpter, J.P., P.Y. Le Bail, A.D. Pickering, T.G. Pottinger and J.F. 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 C.F. Cahill. 1968. Effects of insulin in the toadfish, *Opsanus tau*. Gen. Comp. Endocrinol., 11: 262-271.
- Theilacker, G.H. 1987. Effect of starvation in the histological and morphological characteristics of jack mackerel, *Trachurus symmetricus* larvae. Fish. Bull. U.S., 76: 403-414.
- Weatherley, A.H. and H.S. 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, A.H. and H.S. Gill. 1987. The biology of fish growth. 4. Protein, lipid and caloric contents. Academic press, London, pp. 139-146.