

메기(*Silurus asotus*) 기아 시 외부형태 및 체 절단면 변화

박인석^{*,†}, 구인본^{1,†}, 길현우²

한국해양대학교 해양과학융합학부, ¹㈜서준바이오, ²국립수산과학원 남해수산연구소

The effect of starvation on the characteristics of morphometric measurement and body-sectioned shape in Far Eastern catfish (*Silurus asotus*)

In-Seok Park^{*,†}, In Bon Goo^{1,†} and Hyun Woo Gil²

Division of Convergence on Marine Science, Korea Maritime & Ocean University, Busan 49112, Republic of Korea

¹Sejoonbio Inc., Daejeon 34047, Republic of Korea

²National Institute of Fisheries Science, South Sea Fisheries Research Institute, Yeosu 59675, Republic of Korea

*Corresponding author

In-Seok Park

Tel. 051-410-4321

E-mail. ispark@kmou.ac.kr

[†]This author contributed equally to this work.

Received: 4 January 2021

Revised: 8 March 2021

Revision accepted: 9 March 2021

Abstract: A 210-day experiment was conducted to examine the effects of starvation on survival, external morphometric traits, and sectioned morphometric traits in Far Eastern catfish (*Silurus asotus*). The survival rate decreased to $92.2 \pm 0.47\%$ in the fed group and to $74.4 \pm 2.59\%$ in the starved group. Eight dimensions of *Ls*, DALPO/*Ls*, DADOP/*Ls*, ED/*Ls*, CH/*Ls*, BDAA/*Ls*, BDMA/*Ls*, and BWAA/*Ls* showed significant differences ($p < 0.05$), and 16 other dimensions of DALAD/*Ls*, DPDPL/*Ls*, HPLAA/*Ls*, HALAV/*Ls*, HALOP/*Ls*, DAUPO/*Ls*, DADAV/*Ls*, DADAA/*Ls*, Max BL/*Ls*, Man BL/*Ls*, LD/*Ls*, HWOP/*Ls*, DAUF/HL, DAUS/HL, IW/HL, and DAUE/HL were not significantly different among the initial, fed, and starved groups ($p > 0.05$). The fed group showed higher total height (THX), wider width (WX), and larger area (AX) than those of the starved group in each body section. This research provides information on the morphometric traits and body sections of starved Far Eastern catfish. These results can be used as a basic guide to indicate nutritional status and assist in aquaculture methods for Far Eastern catfish. Moreover, the methods used in this study were considered helpful because the survey analysis method can be used to investigate information on the nutritional status of other fish species.

Keywords: body section, Far Eastern catfish (*Silurus asotus*), morphometric trait, starvation

서 론

메기목(Siluriformes), 메기과(Siluridae)에 속하는 메기(Far Eastern catfish, *Silurus asotus*)는, 국내 연간 생산량이 4,700여 톤(국내 내수면어업 생산량의 15%)에 이르는 주

요 내수면 양식종이다(KOSIS 2019). 대부분의 어류는 계절 변화, 서식 환경 변화 및 산란기 등으로 기아를 겪으며, 이러한 기아의 시기는 수 주에서 수 년에 이를 수 있다(Park 2004; Hur *et al.* 2006a, 2006b; Park *et al.* 2007; Hardy 2012; Park *et al.* 2012). 그러나, 이때 어류는 체내 조직 내

의 내생적 축적에너지의 소모를 비롯한 생화학적, 생리학 적 및 행동학적 변화를 통해 이러한 기아를 극복하는 바, 그 결과로 성장 감소, 어체의 화학적 조성 및 수분 함량 변화와 같은 어체 축적에너지 변화를 동반한다(Weatherley and Gill 1987; Lee *et al.* 1999; Park 2004, 2006; Park *et al.* 2007; Hur *et al.* 2006a, 2006b). 어류를 대상으로 한 기아에 관한 연구는 수분 함량의 체 구성 변화, 혹은 저장 에너지의 변화에 따른 체중 변화 등을 주로 다루고 있다(Park *et al.* 2002). 기아 시 체 축적에너지의 사용은 성장 감퇴로 이어지며, 이러한 현상은 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*)의 기아실험을 통해 보고된 바 있다(Weatherley and Gill 1981).

어류의 형태적 특징은 성별이나 종을 구별하고, 잡종과 같은 혼란스러운 종을 식별하거나, 그룹과 종의 정형화된 형태의 연구나 생물계통 연관관계를 확인하고 분류하는 데 활용된다(Park and Zhang 1994; Park 2004, 2020a, 2020b; Park *et al.* 2004; Park and Oh 2020). 이러한 형태학적 차이는 일반적인 수치 혹은 특수한 해부학적 형태로 이해되고 비교된다(Strauss and Bond 1990). 비록 어류는 유전적요소에 의해서도 체형이 결정되지만(Riddell *et al.* 1981), 먹이의 양과 질 등의 환경적요인에 의한 체형의 변이가 나타나기 때문에(Ihssen *et al.* 1981), 이러한 체형의 파악은 동일종 내에서의 환경적 변이를 파악할 수 있는 점을 고려하며, 만약 다른 환경에 서식하는 동일종 내의 계통 확인을 위해서는 먹이 변화에 영향을 적게 받는 계측형질의 파악이 필요하다(Currens *et al.* 1989). 역으로, 이러한 계측형질 파악을 통해 먹이 공급 변화에 따른 어류의 영양상태 확인도 가능하다(Park *et al.* 2002). 결과적으로, 다양한 섭이 조건에서 어떠한 형태학적 특성이 영향을 받는지를 이해한다면, 섭이 조건이 다른 서식지의 동종 내에서 유전적으로 분리된 그룹에 대한 평가를 향상시킬 수 있다(Currens *et al.* 1989).

Classical dimension과 truss dimension이 어류의 체형 분석을 위해 주로 사용되며(Hubbs and Lagler 1947; Strauss and Bookstein 1982; Park 2004; Park *et al.* 2007), truss dimension은 어체의 기능적 단위나 해부학적 지점들 간의 측정 거리를 기준으로, 체폭과 어체 축과 연관된 길이를 포함하여 계군 간 구별 시에는 이론적으로 어체 축 길이에 집중되는 classical dimension에 비해 어류 체형 분석에 있어 우수하다(Strauss and Bond 1990; Park *et al.* 2007). Currens *et al.* (1989)은 classical dimension과 truss dimension을 사용하여 기아시킨 chinook salmon (*O. tshawytscha*)과 무지개송

어의 체형을 분석한 결과, 몸통 부위의 체폭이 가장 영향을 많이 받았고 꼬리 부분이 가장 적게 영향을 받았음을 도출하여, 어류의 꼬리 부분에서의 측정은 몸통 부위에서의 측정에 비해 중간 변이를 이해하는 데 더욱 유용하다고 보고한 바 있다. 한편, 체 절단면에서 관찰할 수 있는 어체 크기, 형태와 같은 여러 형질은 소비자가 수산물 선택을 고려할 때 중요시하는 요소들로, 이러한 소비자들의 취향에 부합하는 수산물과 아울러 상품가치가 높은 수산물 생산을 고려할 수 있다는 관점에서, 체 절단면에 대한 연구는 중요한 요소가 될 수 있다(Park *et al.* 2002).

메기에서 기아 효과는 일부 내장의 중량지수를 비롯한 일부 조직의 변화에 대한 연구가 보고된 바 있어(Goo *et al.* 2020), 본 연구에서는 이미 수행된 이러한 연구에 첨가하여 계측형질 조사를 통해 섭이환경 차이에 의한 외형 변화를 파악하고, 각 지점의 체절단면 변화 관찰을 통해 메기에서의 기아에 따른 형태적 특성 변화를 조사하였다.

재료 및 방법

1. 실험어

본 연구에 사용한 메기(*Silurus asotus*)는 2017년 4월에 한국해양대학교의 수산유전육종학실험실의 어류사육실

Table 1. Composition of the experimental diets used in the starvation experiment*1

Nutrition	Content (%)
Crude protein	40.0
Crude fat	4.0
Crude fiber	5.0
Ash	15.0
Calcium	1.0
Phosphorus	1.0
Mineral premix*2	1.0
Vitamin premix*3	1.0

*1Ehwa Feed Corporation (EP-No. 10; Busan, Republic of Korea).

*2Vitamin premix contained the following amount which were diluted in cellulose (g kg⁻¹ mix): L-ascorbic acid, 121.2; DL- α -tocopheryl acetate, 18.8; thiamin hydrochloride, 2.7; riboflavin, 9.1; pyridoxine hydrochloride, 1.8; niacin, 36.4; Ca-D-pantothenate, 12.7; myo-inositol, 181.8; D-biotin, 0.27; folic acid, 0.68; p-aminobenzoic acid, 18.2; menadione, 1.8; retinyl acetate, 0.73; cholecalciferol, 0.003; and cyanocobalamin, 0.003.

*3Mineral premix contained the following ingredients (g kg⁻¹ premix): NaCl, 43.3; MgSO₄·7H₂O, 136.5; NaH₂PO₄·2H₂O, 86.9; KH₂PO₄, 239.0; CaH₄(PO₄)·2H₂O, 135.3; ferric citrate, 29.6; ZnSO₄·7H₂O, 21.9; Ca-lactate, 304.0; CuCl, 0.2; AlCl₃·6H₂O, 0.15; KI, 0.15; Na₂Se₂O₃, 0.01; MnSO₄·H₂O, 2.0; and CoCl₂·6H₂O, 1.0.

에서 부화하여 2019년 3월에 체장이 18 cm 전·후로 성장한 1,000마리로, 이 중 200마리씩을 무작위로 선별하여 기아군, 섭이군 및 초기군으로 설정하여 실험을 진행하였다. 실험은 2019년 4월부터 진행하였으며, 실험 전 실험어의 조건을 동일하게 맞추어 실험 결과의 신뢰도를 높이기 위하여, 2019년 3월에 모든 실험어에 대하여 시판 중인 사료 (Table 1)를 체중 1~3%에 해당하는 양을 2주간 급이하였다 (Goo *et al.* 2020).

실험 시작 시 실험어를 전자저울 (JW-1; Acom, Poshen, Republic of Korea)과 digital vernier caliper (CD-20CP; Mitutoyo, Kawasaki, Japan)를 사용하여 체중과 체장을 0.1 g, 0.1 cm 단위로 각각 측정하였으며, 초기군, 섭이군 및 기아군의 평균 체중과 평균 체장은 각각, 359 ± 9.9 g, 18 ± 3.6 cm ($n=200$), 354 ± 7.7 g, 18 ± 2.8 cm ($n=200$), 356 ± 9.7 g, 18 ± 2.3 cm ($n=200$)였다. 2019년 4월 4일, 본 실험 시작에 앞서 24시간 절식하여 사료로 인한 측정 시의 교란을 배제 하면서 최초 샘플하였다 (Park *et al.* 2001).

2. 기아실험

초기군, 섭이군 및 기아군은 실험 시작 시 Goo *et al.* (2020)의 방법에 의거, 최종 농도 1,000 ppm의 NaHCO_3 (Sigma, USA)와 200 ppm의 염산리도카인 (Lidocaine-HCl, Hongseung, Republic of Korea)을 이용하여 마취 후 선별하였으며, 이들을 순환여과시스템하에서 사육하였다. 사육수조는 1.1톤 원형 FRP 수조 (지름 118 cm, 깊이 100 cm)로 각 실험군당 2개 조를 이용하였으며, 그물을 덮어 실험어의 탈출을 방지하였다. 광주기는 40 W 형광등 (5,400 K)을 이용하여 타이머를 통해 12L : 12D 주기를 유지하였고 암기에는 어떠한 불빛도 조사하지 않았으며, 수온은 $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 를 유지하였다. 실험기간 동안 섭이군은 매일 2회 (10:00~11:00, 18:00~19:00) 사료를 충분히 급이한 반면, 기아군은 실험기간 동안 사료를 급이하지 않으면서 기아군에서 외부 행동 관찰시 활력이 급격히 저하하는 시기인 실험 후 210일까지 본 실험을 진행하였다.

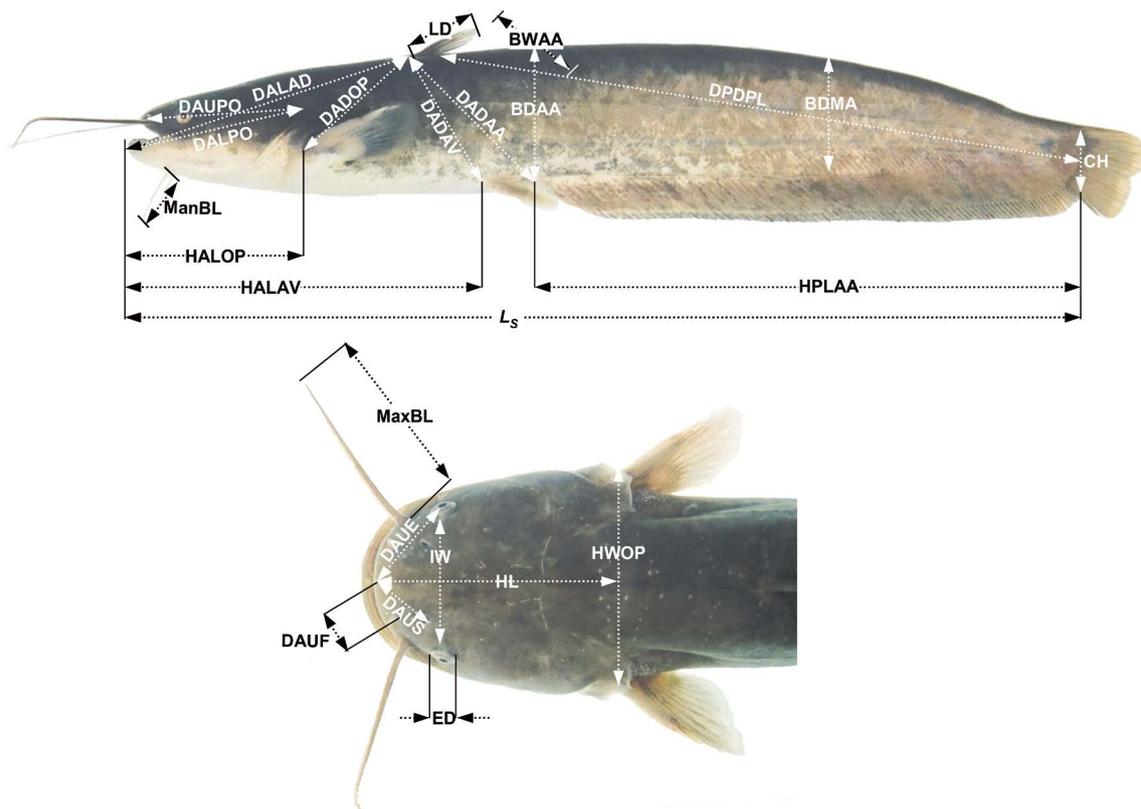


Fig. 1. Morphometric measurements of each landmark of Far Eastern catfish, *Silurus asotus* used in this study (according to Park *et al.* 2004). Upper: lateral view of the whole body; Lower: dorsal view of the head part.

생존율은 폐사한 실험어의 수를 실험기간 동안 누적하여 계산하였다. 실험 종료 후, 시료 확보 시 사료로 인해 팽창된 장이 결과를 교란하는 것을 방지하기 위해, 섭이군은 시료 확보 전 24시간 절식하였으며 (Park *et al.* 2001), 섭이군과 기아군 각각에서 60마리씩 시료 확보하여 최종 농도 1,000 ppm의 NaHCO₃와 200 ppm의 염산리도카인 (Hongseung, Korea)을 이용하여 마취 적정 시간보다 장시간 충분히 마취 후 죽인 다음 사진 촬영 및 측정하였고, 이후 10% 중성포르말린 (Sigma, USA) 수용액에 고정하였다.

3. 외부 계측형질 측정

Park *et al.* (2004)에서 연구된 바와 같이, classical dimension과 truss dimension에 대한 각 측정지점 사이의 25가지 계측형질을 측정하였다 (Table 2, Fig. 1). Ls, HPLAA, HALAV 및 HALOP는 수평거리 (horizontal distance)로 나

타내었으며, 나머지 항목은 각 측정지점 간의 직접거리 (direct distance)로 나타내었다. 각 계측형질은 Ls (체장)에 대한 상대비로 전환하여 분석하였으며, DAUF, DAUS, IW 및 DAUE는 두장에 대한 상대비로 측정값을 변환한 후 분석하였다.

4. 체 절단면 형태 측정

체 절단면은 고정된 표본을 Park (2020)의 방법에 의거, Fig. 2에서와 같이 가슴지느러미 기저 앞부분 (P), 등지느러미 기저 앞부분 (D), 뒷지느러미 기저 앞부분 (A) 및 뒷지느러미 중간 부분 (M)에서 각각 0.5 cm 이내 두께로 횡단절단하여 조사하였다. 각 체 절단면에 대한 둘레를 가슴지느러미 기저 앞 체 절단면의 둘레 (body circumference anterior to the base of the pelvic fin: CIP), 등지느러미 기저 앞 체 절단면의 둘레 (body circumference anterior to the base

Table 2. Dimensions of the morphometric characteristics used in this study*

Dimensions	
Standard length	Ls
Direct distance between the anterior edge of the lower lip and the anterior insertion of the dorsal fin	DALAD
Direct distance between the posterior insertion of the dorsal fin and the most posterior in lateral line	DPDPL
Horizontal distance between the most posterior in lateral line and the anterior insertion of the anal fin	HPLAA
Horizontal distance between the anterior edge of the lower lip and the anterior insertion of the ventral fin	HALAV
Horizontal distance between the anterior edge of the lower lip and the origin of the pectoral fin	HALOP
Direct distance between the anterior edge of the lower lip and the most posterior aspect of operculum	DALPO
Direct distance between the anterior edge of the upper lip and the most posterior aspect of operculum	DAUPO
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	DADAV
Direct distance between the anterior insertion of the dorsal fin and the anterior insertion of the anal fin	DADAA
Maxilla barbel length	MaxBL
Mandible barbel length	ManBL
Eye diameter	ED
Length of the dorsal fin	LD
Caudal peduncle height	CH
Body depth at the anterior insertion of the anal fin	BDAA
Body depth at the midpoint of the anal fin base	BDMA
Body width at the anterior insertion of the anal fin	BWAA
Head width between the origin of the pectoral fins	HWOP
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 first nostril	DAUF
Direct distance between the anterior edge of the upper lip and the second nostril	DAUS
Interorbital width	IW
Direct distance between the anterior edge of the upper lip and the eye	DAUE

*Each dimension is demonstrated in Fig. 1.

of the dorsal fin: CID), 뒷지느러미 기저 앞 체 절단면의 둘레 (body circumference anterior to the base of the anal fin: CIA) 및 뒷지느러미 가운데 지점 체 절단면의 둘레 (body circumference at the midpoint of the anal fin: CIM)로 mm 단위로 측정하였다 (Fig. 2).

또한, 가슴지느러미 기저 앞, 등지느러미 기저 앞, 뒷지느러미 기저 앞 및 뒷지느러미 가운데 지점에서의 각 횡단면 면적 (area anterior to the base of the pectoral fin: AP; area anterior to the base of the dorsal fin: AD; area anterior to the base of the anal fin: AA; area at the midpoint of the anal fin: AM)을 mm² 단위로 디지털면적기 (X-Plan 460D III; Ushikata, Japan)를 이용하여 각각 측정하였으며, 각각의 체 절단면에 대하여 전체 높이 (total height anterior to the base of the pectoral fin: THP; total height anterior to the base of the dorsal fin: THD; total height anterior to the base of the anal fin: THA; total height at the midpoint of the anal fin: THM), 체 높이 (height anterior to the base of the pectoral fin: HP; anterior to the base of the dorsal fin: HD; height anterior to the base of the anal fin: HA) 및 폭 (width anterior to the base of the pectoral fin: WP; width anterior to the base of the dorsal fin: WD; width anterior to the base of the anal fin: WA; width

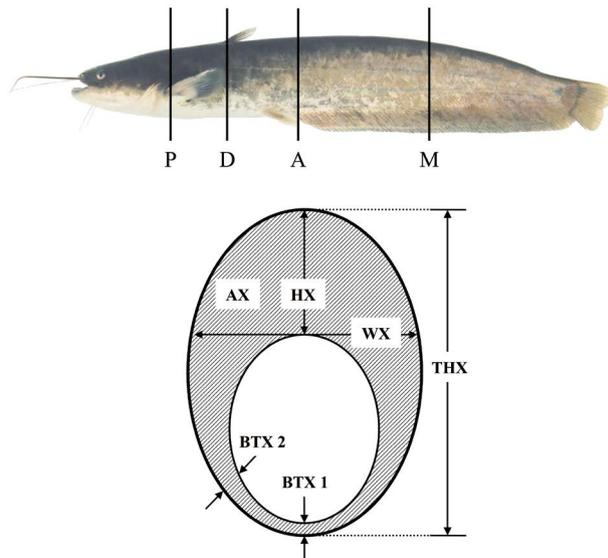


Fig. 2. Total height (THX), width (WX), area (AX), height (HX), and belly thickness (BTX 1 and BTX 2) measured in Far Eastern catfish, *Silurus asotus* on a cross-sectional slice (lower figure) taken just anterior to the base of the pelvic fin (X=P), just anterior to the base of the dorsal fin (X=D), just anterior to the base of the anal fin (X=A), and just anterior to the midpoint of the anal fin (X=M) (upper figure).

at the midpoint of the anal fin: WM)을 mm 단위로 측정하였다 (Fig. 2).

더불어 복강이 위치한 가슴지느러미 기저 앞 체 절단면 (belly thickness 1, anterior to the base of the pectoral fin: BTP 1; belly thickness 2, anterior to the base of the pectoral fin: BTP 2)과 등지느러미 기저 앞 체 절단면 (belly thickness 1, anterior to the base of the dorsal fin: BTD 1; belly thickness 2, anterior to the base of the dorsal fin: BTD 2)는 Fig. 2에서와 같이 복강 두께를 mm 단위로 측정하였으며, 평균 복강 두께 (average belly thickness: ABT)는 mm 단위로 (BTP 1 + BTP 2 + BTD 1 + BTD 2)/4 식으로 계산하였다 (Park 2020). 체형 (body shape: BS) 측정 시 체형 1 (Body shape 1: BS 1)은 (CID/Ls) × 100으로, 체형 2 (body shape 2: BS 2)는 (THD/Ls) × 100으로, 체형 3 (body shape 3: BS 3)은 (WD/Ls) × 100으로 계산하였다 (Park 2020).

아울러 각 체 절단면의 체 절단형 (section shape: SS) 측정도 백분율로 계산하였다. 즉, 체 절단형 1-1 (section shape 1-1: SS 1-1)은 (WP/THP) × 100으로, 체 절단형 1-2 (section shape 1-2: SS 1-2)는 (WD/THD) × 100으로, 체 절단형 2-1 (section shape 2-1: SS 2-1)은 (HP/WP) × 100으로, 체 절단형 3-1 (section shape 3-1: SS 3-1)은 (ABT/WP) × 100으로, 체 절단형 3-2 (section shape 3-2: SS 3-2)는 (BTP 1/WP) × 100으로, 체 절단형 3-3 (section shape 3-3: SS 3-3)은 (BTP 2/WP) × 100으로 그리고 체 절단형 4-1 (section shape 4-1: SS 4-1)은 $\{0.5(\pi \times HP \times 0.5 \times WP)/AP\} \times 100$ 으로 계산하였다 (Park 2020).

5. 통계분석

본 실험에 사용한 모든 계측형질에 대하여 일원분산분석 (one-way ANOVA)을 사용하여 그룹 간 그 유의성을 비교하였으며 ($p < 0.05$, $n = 60$; SPSS 9.0, SPSS Inc., USA), 평균값은 Duncan's multiple range test (Duncan 1955)를 통해 $p < 0.05$ 수준에서 유의한 차이를 판별하였다. 모든 실험은 3반복으로 수행하였다.

결 과

메기 (*Silurus asotus*)의 기아실험 시작 후 210일이 경과한 2019년 11월에 기아군이 급격히 활력을 잃었으며, 이에 따라 실험을 종료하였다. 실험기간 동안의 생존율은 Fig. 3에

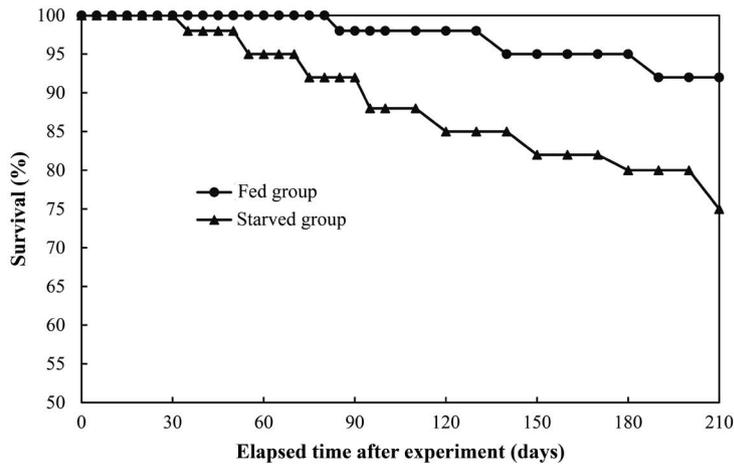


Fig. 3. Survival rates of fed and starved Far Eastern catfish, *Silurus asotus* during the 210-day experimental period. The aggregate survival rates of the fed and starved groups during the experimental period were determined in triplicate groups (according to Goo *et al.* 2020).

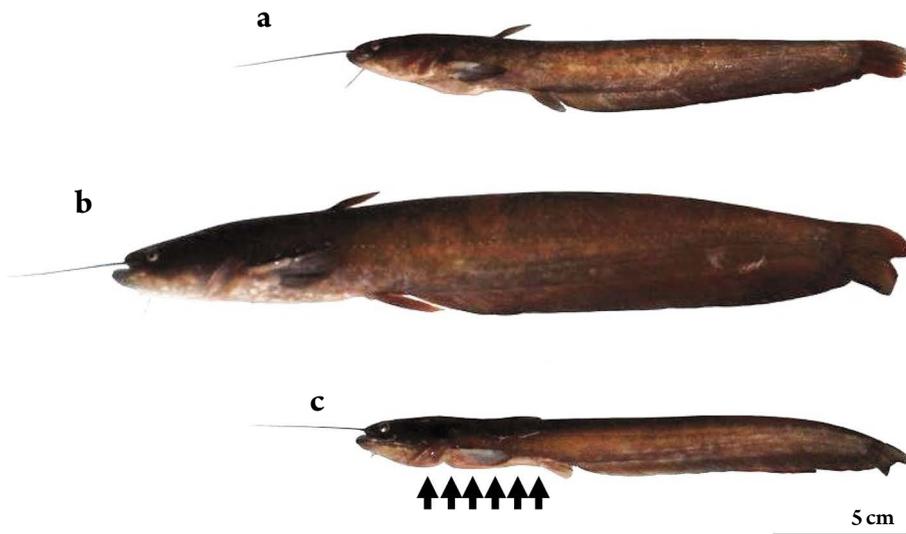


Fig. 4. Typical external morphology of Far Eastern catfish, *Silurus asotus* at the conclusion of the starvation experiment. Initial (a), fed (b), and starved groups (c) in the 210-day period. Note that the lateral ventral region in the starved group is thin (arrows in Fig. 4c) (according to Goo *et al.* 2020).

나타난 바와 같이 섭이군은 $92.2 \pm 0.47\%$, 기아군은 $74.4 \pm 2.59\%$ 였다 ($p < 0.05$).

기아실험에 따른 외부 계측형질 측정 결과는 Table 3과 같으며, *Ls*, DALPO/*Ls*, DADOP/*Ls*, ED/*Ls*, CH/*Ls*, BDAA/*Ls*, BDMA/*Ls* 및 BWAA/*Ls*의 8개 항목에서 유의한 차이를 보였으며 ($p < 0.05$), 다른 16개 항목 DALAD/*Ls*, DPDPL/*Ls*, HPLAA/*Ls*, HALAV/*Ls*, HALOP/*Ls*, DAUPO/*Ls*, DADAV/*Ls*, DADAA/*Ls*, Max BL/*Ls*, Man BL/*Ls*, LD/*Ls*, HWOP/*Ls*, DAUF/HL, DAUS/HL, IW/HL 및 DAUE/

HL에서는 세 그룹 간 유의한 차이가 없었다 ($p > 0.05$). *Ls*, DADOP/*Ls*, ED/*Ls*, CH/*Ls*, BDAA/*Ls*, BDMA/*Ls* 및 BWAA/*Ls* 항목에서는 초기군과 기아군 간 유의한 차이를 보이지 않았으나 ($p > 0.05$), 이들은 섭이군과는 유의한 차이를 보였으며 ($p < 0.05$), DALPO/*Ls*는 세 군 모두에서 유의한 차이를 보였으며 ($p < 0.05$). *Ls*는 섭이군에서 성장으로 인해 유의한 차이를 보였으며 ($p < 0.05$), 기아군에서는 *Ls*의 평균값은 감소하였으나, 초기군과는 유의한 차이를 보이지 않았다 ($p > 0.05$). 체고 및 체폭과 관련된 항

Table 3. Morphometric dimensions of Far Eastern catfish, *Silurus asotus* treated for 210 days in the starvation experiment*

Morphometric dimension	Initial group	Fed group	Starved group
Ls (mm)	182.2 ± 7.74 ^b	261.4 ± 8.15 ^c	179.8 ± 2.11 ^a
DALAD/Ls	28.04 ± 1.506 ^a	30.08 ± 2.587 ^a	28.17 ± 0.673 ^a
DPDPL/Ls	70.09 ± 3.247 ^a	68.70 ± 3.585 ^a	69.95 ± 3.798 ^a
HPLAA/Ls	58.88 ± 0.601 ^a	59.35 ± 2.272 ^a	57.28 ± 3.368 ^a
HALAV/Ls	35.05 ± 0.853 ^a	34.15 ± 1.062 ^a	35.21 ± 2.429 ^a
HALOP/Ls	17.29 ± 0.431 ^a	17.89 ± 0.208 ^a	17.84 ± 0.163 ^a
DALPO/Ls	16.36 ± 0.201 ^b	17.48 ± 0.851 ^c	16.43 ± 1.308 ^a
DAUPO/Ls	14.95 ± 0.470 ^a	15.45 ± 0.390 ^a	15.02 ± 0.129 ^a
DADOP/Ls	12.15 ± 0.240 ^a	13.41 ± 0.325 ^b	12.21 ± 0.499 ^a
DADAV/Ls	12.62 ± 0.604 ^a	13.01 ± 0.898 ^a	11.74 ± 1.583 ^a
DADAA/Ls	16.82 ± 0.982 ^a	16.26 ± 1.058 ^a	16.90 ± 1.780 ^a
MaxBL/Ls	25.23 ± 1.350 ^a	22.36 ± 1.752 ^a	24.41 ± 2.967 ^a
ManBL/Ls	6.07 ± 0.508 ^a	5.28 ± 0.597 ^a	6.10 ± 0.916 ^a
ED/Ls	1.78 ± 0.103 ^b	1.54 ± 0.123 ^a	1.78 ± 0.093 ^b
LD/Ls	7.66 ± 0.237 ^a	8.13 ± 0.523 ^a	7.70 ± 0.766 ^a
CH/Ls	6.36 ± 1.339 ^{ab}	7.72 ± 0.792 ^b	5.63 ± 0.746 ^a
BDAA/Ls	9.67 ± 0.212 ^a	12.44 ± 0.478 ^b	9.38 ± 0.507 ^a
BDMA/Ls	9.91 ± 0.521 ^a	11.67 ± 0.930 ^b	9.38 ± 0.867 ^a
BWAA/Ls	5.89 ± 0.313 ^a	8.60 ± 0.957 ^b	5.14 ± 0.620 ^a
HWOP/Ls	14.81 ± 1.030 ^a	13.52 ± 0.573 ^a	14.29 ± 0.270 ^a
DAUF/HL	13.81 ± 0.784 ^a	13.71 ± 0.651 ^a	13.51 ± 0.160 ^a
DAUS/HL	24.97 ± 3.562 ^a	24.95 ± 1.183 ^a	24.99 ± 1.121 ^a
IW/HL	48.85 ± 0.725 ^a	48.93 ± 1.264 ^a	48.12 ± 1.106 ^a
DAUE/HL	35.08 ± 1.646 ^a	35.14 ± 0.551 ^a	35.51 ± 0.685 ^a

*For abbreviations refer to Table 2. Data were analysed using one-way ANOVA on data transformed per standard length. The values are means ± SD ($n=60$) of triplicate groups. Means in rows with the same superscript letter are not significantly different ($p>0.05$).

목에서 썩이군과 기아군 간의 차이가 크게 나타났으며, 두 부의 계측형질 항목에서는 유의한 차이를 보이지 않았다 ($p>0.05$). Fig. 4에서 보이는 바와 같이, 기아군은 썩이군 및 초기군에 비하여 수척한 복부를 띠는 특징을 보였다.

Table 4는 각 지점에서의 체 절단면의 형질을 측정된 결과이다. 체 절단면의 둘레를 측정한 항목 중 CIP, CIA 및 CIM에서는 초기군과 기아군 사이에는 유의한 차이가 없으나 ($p>0.05$), 썩이군과는 유의한 차이를 보였다 ($p<0.05$), CID에서는 세 군 간 유의한 차이를 보였다 ($p<0.05$). 가슴지느러미 기저 지점의 체 절단면과 관련된 항목들 중에서는 BTP 1에서는 세 군 간의 유의한 차이가 없었다 ($p>0.05$). THP와 WP는 초기군과 기아군 사이에서는 유의한 차이가 없었으나 ($p>0.05$), 썩이군과는 유의한 차이를 보였다 ($p<0.05$). AP, HP 및 BTP 2는 세 군에서 유의하게 차이가 났다 ($p<0.05$). 등지느러미 기저 지점

의 체절단면에서는 BTP 1이 세 군 사이에 유의한 차이가 나지 않았고 ($p>0.05$), BTD 2는 초기군과 썩이군 사이에서는 유의한 차이가 없었으나 ($p>0.05$), 이들 두 군과 기아군 사이는 유의한 차이를 보였다 ($p<0.05$). AD, THD, HD 및 WD에서는 세 군 모두에서 유의한 차이를 보였다 ($p<0.05$). 뒷지느러미 기저 지점의 체 절단면 관련 항목에서 THA는 초기군과 기아군 사이에는 유의한 차이가 없으나 ($p>0.05$), 이들 두 군과 썩이군 사이에서는 유의한 차이를 보였다 ($p<0.05$). AA와 WA는 초기군, 썩이군 및 기아군 사이에서 유의한 차이를 나타내었다 ($p<0.05$). 뒷지느러미 중간지점의 체 절단면에서는 THM이 초기군, 썩이군 및 기아군 모두에서 유의한 차이를 보였으며 ($p<0.05$), AM과 WM은 초기군과 기아군 간에서는 유의한 차이는 없었으나 ($p>0.05$), 이들 두 군과 썩이군 사이에는 유의한 차이를 보였다 ($p<0.05$). 평균 복강두께 (ABT)는 초기군, 썩

Table 4. Sectioned morphometric traits of Far Eastern catfish, *Silurus asotus* treated for 210 days in the starvation experiment*

Trait	Initial group	Fed group	Starved group
Ls (mm)	182.2 ± 7.74 ^a	261.4 ± 8.15 ^b	0179.8 ± 2.11 ^a
Body circumference at			
pectoral fins (CIP) (mm)	89.9 ± 1.60 ^a	121.1 ± 1.36 ^b	88.3 ± 1.91 ^a
dorsal fin (CID) (mm)	70.6 ± 0.73 ^b	110.2 ± 1.51 ^c	68.1 ± 1.03 ^a
anal fin (CIA) (mm)	80.5 ± 0.43 ^a	98.4 ± 1.24 ^b	79.1 ± 0.94 ^a
midpoint of anal fin (CIM) (mm)	62.5 ± 0.34 ^a	72.3 ± 0.91 ^b	61.4 ± 0.73 ^a
Section at pectoral fins			
area (AP) (mm ²)	223.3 ± 1.10 ^b	465.7 ± 3.96 ^c	214.6 ± 0.83 ^a
total height (THP) (mm)	27.4 ± 0.42 ^a	36.9 ± 0.33 ^b	26.9 ± 0.57 ^a
height (HP) (mm)	12.7 ± 0.11 ^b	16.1 ± 0.16 ^c	11.2 ± 0.07 ^a
width (WVP) (mm)	27.0 ± 0.31 ^a	35.3 ± 0.35 ^b	25.7 ± 1.53 ^a
belly thickness 1 (BTP 1) (mm)	1.4 ± 0.10 ^a	1.4 ± 0.07 ^a	1.3 ± 0.43 ^a
belly thickness 2 (BTP 2) (mm)	2.9 ± 0.12 ^b	3.6 ± 0.14 ^c	2.2 ± 0.56 ^a
Section at dorsal fin			
area (AD) (mm ²)	188.1 ± 1.13 ^b	563.1 ± 3.64 ^c	173.7 ± 0.66 ^a
total height (THD) (mm)	24.5 ± 0.33 ^b	32.4 ± 0.43 ^c	22.9 ± 0.81 ^a
height (HD) (mm)	10.8 ± 0.09 ^b	15.7 ± 0.24 ^c	10.0 ± 0.23 ^a
width (WD) (mm)	18.6 ± 0.26 ^b	30.1 ± 0.15 ^c	16.5 ± 0.77 ^a
belly thickness 1 (BTD 1) (mm)	1.5 ± 0.13 ^a	1.6 ± 0.15 ^a	1.4 ± 0.32 ^a
belly thickness 2 (BTD 2) (mm)	2.9 ± 0.11 ^b	2.9 ± 0.10 ^b	001.9 ± 0.39 ^a
Section at anal fin			
area (AA) (mm ²)	143.0 ± 0.49 ^b	608.1 ± 2.27 ^c	132.1 ± 0.54 ^a
total height (THA) (mm)	17.6 ± 0.32 ^a	32.5 ± 1.03 ^b	16.9 ± 0.46 ^a
width (WA) (mm)	10.7 ± 0.23 ^b	22.5 ± 0.40 ^c	9.2 ± 0.22 ^a
Section at midpoint of anal fin			
area (AM) (mm ²)	71.8 ± 0.41 ^a	280.1 ± 5.34 ^b	66.3 ± 0.47 ^a
total height (THM) (mm)	18.1 ± 0.23 ^b	30.5 ± 0.83 ^c	16.9 ± 0.41 ^a
width (WM) (mm)	6.3 ± 1.19 ^a	12.8 ± 2.40 ^b	5.7 ± 1.14 ^a
Average belly thickness			
ABT (mm)*	2.0 ± 0.15 ^b	2.4 ± 0.12 ^c	1.7 ± 0.17 ^a

*Ls: standard length; ABT: average belly thickness, (BTP 1 + BTP 2 + BTD 1 + BTD 2)/4. Each section is demonstrated in Fig. 2. The values are means ± SD (n=60) of triplicate groups. Means in rows with the same superscript letter are not significantly different (p > 0.05).

이군 및 기아군 모두에서 유의하게 차이났다(p < 0.05).

체장과 체 절단면의 측정 혈질을 토대로 한 체형 및 체 절단형 조사 결과는 Table 5와 같다. BS 1은 섭이군과 기아군 사이에서 유의한 차이를 보였으며 (p < 0.05), BS 2는 섭이군과 기아군 사이에서는 유의한 차이가 없는 반면 (p > 0.05), 이들은 초기군과는 유의한 차이를 보였다 (p < 0.05). BS 3, SS 1-1, SS 1-2, SS 2-1, SS 3-1, SS 3-2, SS 3-3 및 SS 4-1에서는 초기군, 섭이군 및 기아군 간에서 유의한 차이가 없었다 (p > 0.05). Fig. 5에서와 같이, 섭이군은 각 체 절단면에서 기아군보다 더 높은 높이, 더 넓은 너비 및 더 넓은 면적을 보였다.

고찰

성장 및 건강상태와 관련된 어류영양에 대한 연구는 자연 상태 혹은 양식된 어류의 섭이상태를 이해하는 데 도움을 준다(Weatherley and Gill 1987; Park et al. 1998, 2001; Park 2004). 개체의 외부 표현형 차이는 유전적요인 혹은 환경적요인이거나, 유전적 및 환경적요인이 동시에 작용하여 발생하며(Li et al. 1993), 일부 연구에서 보고된 것처럼 어류의 형태적 특성은 유전성이 낮으므로 영양상태 같은 섭이와 관련된 환경적요인이 주 원인임을 시사한다(Ihssen et al. 1981; Currens et al. 1989). 기아는 체내에

Table 5. Shape traits of Far Eastern catfish, *Silurus asotus* treated for 210 days in the starvation experiment*

Trait	Initial group	Fed group	Starved group
Body shape (BS)			
BS 1	38.7 ± 1.14 ^{ab}	42.2 ± 2.01 ^b	37.9 ± 2.27 ^a
BS 2	13.4 ± 0.38 ^b	12.4 ± 0.44 ^a	12.7 ± 0.11 ^a
BS 3	10.2 ± 1.45 ^a	11.5 ± 1.22 ^a	9.2 ± 0.88 ^a
Section shape (SS)			
SS 1-1	98.5 ± 11.27 ^a	95.7 ± 12.03 ^a	95.5 ± 7.49 ^a
SS 1-2	76.0 ± 10.07 ^a	92.8 ± 16.67 ^a	72.3 ± 10.22 ^a
SS 2-1	47.1 ± 4.18 ^a	45.5 ± 6.80 ^a	43.8 ± 3.85 ^a
SS 3-1	7.5 ± 0.95 ^a	6.8 ± 1.53 ^a	6.6 ± 0.76 ^a
SS 3-2	5.2 ± 1.28 ^a	4.1 ± 1.04 ^a	5.0 ± 1.27 ^a
SS 3-3	10.9 ± 1.35 ^a	10.2 ± 2.45 ^a	8.8 ± 1.12 ^a
SS 4-1	120.6 ± 14.97 ^a	95.6 ± 9.41 ^a	105.6 ± 15.15 ^a

*BS 1: body shape 1, (CID/Ls) × 100; BS 2: body shape 2, (THD/Ls) × 100; BS 3: body shape 3, (WVD/Ls) × 100; SS 1-1: section shape 1-1, (WVP/THP) × 100; SS 1-2: section shape 1-2, (WVD/THD) × 100; SS 2-1: section shape 2-1, (HP/WVP) × 100; SS 3-1: section shape 3-1, (ABT/WVP) × 100; SS 3-2: section shape 3-2, (BTP 1/WVP) × 100; SS 3-3: section shape 3-3, (BTP 2/WVP) × 100; and SS 4-1: section shape 4-1, [0.5(π × HP × 0.5 × WP)/AP] × 100. For abbreviations refer to Table 4 and Fig. 2. The values are means ± SD (n=60) of triplicate groups. Means in rows with the same superscript letter are not significantly different (p > 0.05).

비축된 에너지(내인성 에너지) 사용이 필수적이며, 이로 인해 신체 조직의 점진적 고갈 및 성장 감퇴를 초래한다(Weatherley and Gill 1987; Hur *et al.* 2006a; Park *et al.* 2007). Love (1980)에 의하면 많은 어종은 자연 상태에서 장기간의 기아에도 견딜 수 있다고 한 바, 본 연구 결과, 메기(*Silurus asotus*)는 210일 간의 기아에도 비록 활력은 저하되지만 생존이 가능하였다. 기아군의 체장이 섭이군뿐만 아니라 초기군에 대하여도 낮은 값을 보인 바, 극단적인 기아의 효과는 체조직 소모뿐만 아니라 성장 감퇴를 야기하는 결과를 확인할 수 있었고, 이와 유사한 결과가 12주간의 녀치(*Paralichthys olivaceus*)의 기아실험에서 체장이 초기군 대비 섭이군에서 136.2%로 증가, 기아군에서 92.1%로 감소한 것으로 보고되었으며(Park 2006), 4주간의 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*)를 대상으로 한 기아 시에서도 유사한 결과가 보고되었다(Sumpter *et al.* 1991).

본 연구 결과, 기아 시 영향을 많이 받는 체고와 체폭 관련 형질에서 유의한 결과를 나타낸 바, 기아는 골격에 근거한 지점에서의 형질보다는 체고와 체폭의 메기 체형에 전반적으로 영향을 미치는 것으로 사료된다. 이러한 결과는 *Trachurus symmetricus*, ayre (*Clupea hatrnigus*), 연어(*O. keta*), 무지개송어 및 chinook salmon (*O. tshawytscha*) 등 타 어종에서 보고된 바와도 유사하다(Ehrlich *et al.* 1976; Theilacker 1978; Currens *et al.* 1989; Seong *et al.* 2012). 아울러 이러한 결과는 섭이와 기아의 지방대사에서의 생리학적 차이

에 의한 것으로도 설명 가능하며(Park 2006), Currens *et al.* (1989)는 연어과 어류에서 몸통 부위는 섭이와 기아 시 지방 축적과 손실이 가장 활발하게 발생하는 곳이라고 언급한 바 있다. Lee *et al.* (1999)은 버들치(*Rhynchocypris oxycephalus*)에서 9주간 기아 시 간중량지수가 크게 감소한 현상을 가용할 수 있는 영양의 전환으로 보고한 바 있으며, 철갑상어(*Acipenser transmontanus*)와 무지개송어에서 기아 시 흰색 근육으로 이루어진 복강보다는 복강 지방과 간이 영양원으로 더욱 쉽게 사용될 수 있다는 유사한 보고가 있다(Weatherley and Gill 1981; Hung *et al.* 1997).

Classical dimension과 truss dimension은 외형 특징을 조사하여 어류의 체형을 분석하는 데 사용하는 방법으로서(Park 2004; Park *et al.* 2004), classical dimension은 Hubbs and Lagler (1947)가 사용한 방법으로 머리 부위와 꼬리 부위를 기준으로 어체의 길이, 체고 및 체폭에 관한 일부 형질을 주로 활용하는 방법이고, truss dimension은 Humphries *et al.* (1981)이 classical dimension을 보완하여 어체의 형태나 윤곽을 파악할 수 있는 십자형 계측방법으로서, 균일하고 다양한 측정을 통해 어체의 계측형질 연구에 사용되어지고 있다. 본 연구에서는 이러한 계측형질 연구 방법을 적용하여 기아에 의한 메기에서의 외부형태 변화를 관찰하였는 바, 머리, 몸통 및 꼬리에서 기아에 따른 형태 변화에 대한 결과를 효과적으로 도출할 수 있었다. 본 연구에서 사용한 형질들은 어류의 기아에 따른 형태 변화 및 외

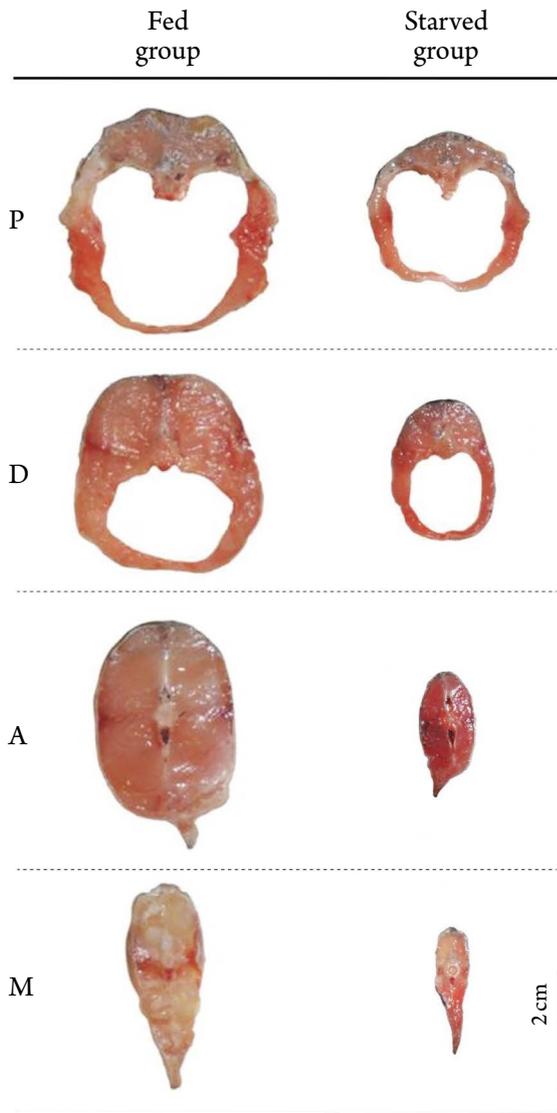


Fig. 5. Typical external morphology of a cross-sectional slice of Far Eastern catfish, *Silurus asotus* at the conclusion of the starvation experiment just anterior to the base of the pelvic fin (X=P), just anterior to the base of the dorsal fin (X=D), just anterior to the base of the anal fin (X=A), and just anterior to the midpoint of the anal fin (X=M). Also, refer to Fig. 2.

형 파악을 위해 유용하게 활용할 수 있는 가치가 있을 수 있는 것으로 사료된다.

기아한 메기의 계측형질을 측정된 결과, 체고와 체폭에 관련된 값이 초기군에 비하여 증가하였는 바, 유사한 결과가 75일간 기아한 버들치에서도 보고된 바 있다(Park 2004). 그러나, 체폭과 관련한 HWOP/Ls는 섭이군과 기아군에서 유의한 차이를 보이지 않은 바, 이 형질은 섭이

와 관련하여 영향을 덜 받는 것을 나타낸다. 이는 골격을 기반으로 한 지점을 측정된 형질로, 본 연구에서 조사한 DAUF/HL, DAUS/HL, IW/HL 및 DAUE/HL 등은 기아군과 섭이군 간 유의한 차이가 관찰되지 않은 바, IW, DAUE, DAUS 및 DAUE와 같은 이러한 골격을 기반으로 한 지점의 계측형질은 섭이에 따른 영향을 받지 않음을 나타내었다. 따라서, 이러한 계측형질은 메기 종을 구별하기 위한 분류학적 지표로서 활용될 수 있음을 시사한다. 연어과 치어 및 버들치에서 이와 같은 일부 계측형질이 분류학적 지표로 활용된 바 있다(Currens *et al.* 1989; Park *et al.* 2001). 그 외, 기아에 따라 유의한 변화가 관찰된 몸통과 꼬리 부분과 관련된 다른 형질들은 먹이 등 서식 환경에 의한 차이에 기인해 변동성을 띤다.

Lee *et al.* (1999)은 버들치 기아 시 횡단절단의 절단 부위 M보다는 P, D, A에서 큰 변화가 발생한 결과를 근거로, 체강과 관련된 가슴지느러미, 등지느러미 및 뒷지느러미에서 기아의 영향을 가장 먼저 받으며, 그 다음으로 가슴지느러미의 표현형 변화가 발생한다고 보고한 바 있다. Lee *et al.* (1999) 연구에서는 활용한 M과는 상이한 지점으로 인해 이번 연구 결과와는 직접적으로 비교하는 것은 어려우나, 체 절단면의 변화 조사를 통해 이러한 결론을 도출할 수 있음을 확인하는 것에는 무리가 없을 것으로 사료된다. 또한, 본 실험에서 메기는 기아 상태에서 체고도 감소하였는 바, 이는 익히 알려진 바와 같이 어류가 기아 상태에서 체강 벽의 에너지 원을 사용하는 것으로 이해되며, 이와 유사한 결과는 버들치, 돌돔(*Oplegnathus fasciatus*) 및 넙치(*Paralichthys olivaceus*) 등을 대상으로 한 여러 기아실험에서도 보고된 바 있다(Park *et al.* 2001, 2015). 또한, 이와 관련된 여러 연구들에서 섭이군의 ABT는 기아군보다 유의하게 높은 값을 보인 바, 이는 어류의 체강 두께를 높은 상품성과 연계하여 고려할 때, 어류 양식 시 육종형질 목표로서 선정할 수 있으며 이것은 기아군이 섭이군에 비해 낮은 시장성을 가지기 때문에 상업화 수단으로도 사용될 수 있다(Gjerde and Schaeffer 1989).

BTP 1과 BTD 1은 섭이군과 기아군에서 차이가 나지 않은 반면, BTP 2는 기아군은 초기군에 비해 낮은 값과 섭이군은 초기군에 비해 높은 값을 보였으며, BTD 2는 섭이군과 초기군 사이에는 차이가 없는 반면, 기아군은 이 두 군에 비해 낮은 값을 보인 바, 이는 기아 시 복강 체벽으로부터의 에너지원 흡수에 기인된 것으로 사료된다. 이와 같은

복강 두께는 산천어(*O. masou*)와 은어(*Plecoglossus altivelis*)에서 3배체가 2배체에 비해 산란기 3배체 자체의 불임으로 인하여 두꺼운 것을 보인 바 있다(Ueno *et al.* 1986; Park and Zhang 1994). 개체의 전반적인 복강 두께를 나타내는 평균 복강 두께는 어류 양식 시 육종 목표 형질로도 사용되고 있으며(Gjerde and Schaeffer 1989), 기아군은 섭이군에 비해 낮은 평균 복강 두께를 보이고 있어, 상품의 품질 관점에서 고려 시 더 낮은 상품가치를 나타낸다(Park and Zhang 1994).

BS 1, BS 2 및 BS 3은 제장 대비 형질들로, 이러한 형질들이 기아군에 비해 섭이군의 등지느러미 기저 앞 체 절단면의 둘레가 낮게 나타나고, 등지느러미 기저 앞 체 절단면 전체 높이 및 등지느러미 기저 앞 체 절단면 폭에서 각각 차이가 없음을 고려한다면, 메기 기아 시 체장 변화는 다른 형질보다 변화의 정도가 낮음을 시사하는 것으로 사료된다. BTP 2의 값이 기아군에 비해 섭이군에서 높게 나타난 반면, 상대 형질인 SS 3-3에서는 섭이군과 기아군이 유의한 차이가 없게 나타남과 더불어 SS 2-1에서의 섭이군과 기아군 결과를 병행하여 고려 시, 기아는 일정 형질인 횡단 형태의 급격한 변화는 수반하지 않는 것으로 사료된다. SS 1-1, SS SS 1-2, SS 2-1, SS 3-1, SS 3-2, SS 3-3 및 SS 4-1의 모든 체 절단형에서 메기 기아에 따른 유의한 차이, 즉 뚜렷한 형태 변화는 보이지 않았다. 본 연구의 메기 기아 시 조사된 체 절단면에서 나타난 여러 형질들을 여타 어류의 기아 연구 시 적용된다면, 기아 시 어류들 간의 공통된 특정 변화 형질을 파악할 수도 있을 것이며, 이렇게 파악된 특정 형질은 그 대상 어류의 생태계에서의 영양상태 파악을 위한 한 지표로도 활용될 수 있으리라 사료된다.

본 연구에서의 결과는 메기의 기아 상태에 대한 외형 및 체 절단면 형질에 대한 정보를 제공한다. 이는 메기에 대한 먹이 조절에 대한 방법을 보조하고, 영양상태를 나타내는 기본 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 본 연구에서 사용한 조사 분석 방법을 타 어종에서 적용 시 그 영양 상태에 대한 정보를 파악하는 데 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

적 요

메기(*Silurus asotus*)를 대상으로 210일간 기아 시 계측 형질 및 체 절단면 형질을 측정하여 그 기아 효과를 조

사하였다. 실험 종료시 섭이군의 생존율은 $92.2 \pm 0.47\%$ 였으며, 기아군에서는 $74.4 \pm 2.59\%$ 의 생존율을 보였다. Ls, DALPO/Ls, DADOP/Ls, ED/Ls, CH/Ls, BDAA/Ls, BDMA/Ls 및 BWAA/Ls의 8개 항목에서 유의한 차이를 보였으며($p < 0.05$), 다른 16개 항목 DALAD/Ls, DPDPL/Ls, HPLAA/Ls, HALAV/Ls, HALOP/Ls, DAUPO/Ls, DADAV/Ls, DADAA/Ls, Max BL/Ls, Man BL/Ls, LD/Ls, HWOP/Ls, DAUF/HL, DAUS/HL, IW/HL 및 DAUE/HL에서는 초기군, 섭이군 및 기아군의 세 그룹 간 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). 섭이군은 각 체 절단면에서 기아군보다 더 높은 전체 높이(THX), 더 넓은 너비(WX) 및 더 넓은 면적(AX)을 보였다. 본 연구는 메기의 기아 상태에 대한 외형 및 체 절단면 형질에 대한 정보를 제공한다. 이는 메기에 대한 먹이 조절에 대한 방법을 보조하고 영양상태를 나타내는 기본 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 또한, 본 연구에서 사용한 조사 분석 방법을 타 어종에서 적용 시 그 영양 상태에 대한 정보를 파악하는 데 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

본 논문의 수정 시 건설적이고 도움되는 논평을 주신 익명의 심사자들에게 감사드립니다. 아울러 본 논문의 실험 시 수고하신 한국해양대학교 수산유전육종학연구실의 실원들께도 감사드립니다. 본 연구는 교육부의 연구윤리 확보를 위한 지침(학술진흥법 제15조)과 식품의약품 안전처의 실험동물에 관한 법률(법률 제1601호) 기준을 준수하였으며, 아울러 한국해양대학교 연구윤리를 준수하였습니다.

REFERENCES

- Currens KP, CS Sharpe, R Hjort, CB Schreek and HW Li. 1989. Effect of different feeding regimes on the morphometrics of chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha* and rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Copeia* 3:689-695.
- Duncan DB. 1955. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics* 11:1-42.
- Ehrlich KF, JHS Blaxter and R Pemberton. 1976. Morphological and histological changes during the growth and starvation of herring and plaice larvae. *Mar. Biol.* 35:105-118.
- Gjerde B and LR Schaeffer. 1989. Body traits in rainbow trout,

- Oncorhynchus mykiss*. II. estimates of heritabilities and of phenotypic and genetic correlations. *Aquaculture* 80:25–44.
- Goo IB, YS Kim and IS Park. 2020. Effect of starvation on tissues in Far Eastern catfish (*Silurus asotus*). *Korean J. Environ. Biol.* 38:315–322.
- Hardy RW. 2012. Nutritional pathology of teleosts. pp. 402–424. In: *Fish Pathology* (Roberts RJ ed.). Wiley-blackwell, Chichester, England.
- Hubbs CL and KF Lagler. 1947. Fishes of the Great Lakes region. *Cranbrook Inst. 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.
- 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.
- Hur JW, JH Jo and IS Park. 2006a. Effects of long-term starvation on hepatocyte ultrastructure of olive flounder *Paralichthys olivaceus*. *Ichthyol. Res.* 53:306–310.
- Hur JW, SR Woo, JH Jo and IS Park. 2006b. Effects of starvation on kidney melano-macrophage centre in olive flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck and Schlegel). *Aquacult. Res.* 37:821–825.
- 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.
- KOSIS. 2019. Fishery production survey. Korean Statistical Information Service, Statistics Korea. Daejeon, Korea.
- Lee KK, YH Kim and IS Park. 1999. Effect of starvation in some nutritional parameters in *Rhynchocypris oxycephalus*. 1. Characteristics of the histological and biochemical changes. *Korean J. Ichthyol.* 11:33–41.
- Li S, W Cai and B Zhou. 1993. Variation in morphology and biochemical genetic markers among populations of blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala*. *Aquaculture* 111:117–127.
- Love RM. 1980. Feeding and starvation. pp. 133–229. In: *The Chemical Biology of Fishes*. Vol. 2. Academic Press, London.
- Park IS. 2004. Effect of starvation on some parameters in *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry): a review. *Korean J. Environ. Biol.* 22:351–368.
- Park IS. 2006. Histological changes of hepatocyte and intestinal epithelium during starvation in olive flounder *Paralichthys olivaceus*. *J. Korean Fish. Soc.* 39:303–307.
- Park IS. 2020a. Morphometric characteristics of diploid and triploid Far Eastern catfish, *Silurus asotus*. *Korean J. Environ. Biol.* 38:106–113.
- Park IS. 2020b. Comparative analysis of sectioned-body morphometric characteristics of diploid and triploid marine medaka, *Oryzias dancena*. *Korean J. Environ. Biol.* 38:137–145.
- Park IS and CI Zhang. 1994. Morphometrical differences between diploid and induced triploid cherry salmon, *Oncorhynchus masou*. *Korean J. Ichthyol.* 6:206–221.
- Park IS and JS OH. 2020. Comparison of morphometric traits between small yellow croaker (*Larimichthys polycatis*) and yeoolw croaker (*L. crocea*). *Korean J. Environ. Biol.* 38:507–517.
- Park IS, CK Lee, JH Im, JH Kim and SU Kim. 1998. Effect of starvation on the growth and hepatocyte unclear size of larval rockfish, *Sebastes schlegelii* and larval spotted sea bass *Lateolabrax* sp. *J. Aquacult.* 11:345–352.
- Park IS, HW Gil, GY Yoo and JS Oh. 2015. Effects of starvation in rock bream, *Oplegnathus fasciatus* and olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Dev. Reprod.* 19:97–109.
- Park IS, JH Im and JW Hur. 2004. Morphometric characteristics of catfish (Siluridae) in Korea. *Korean J. Ichthyol.* 16:223–228.
- Park IS, JH Im, CH Jeong, JK Noh, YH Kim and YH Lee. 2002. Effect of starvation on some nutritional parameters in *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry). 2. Characteristics of the morphometric changes in the sectioned body. *Korean J. Ichthyol.* 14:11–18.
- Park IS, JH Im, DK Ryu, YK Nam and DS Kim. 2001. Effect of starvation on morphometric changes in *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Darbry). *J. Appl. Ichthyol.* 17:277–281.
- Park IS, JW Hur and JW Choi. 2012. Hematological responses, survival, and respiratory exchange in the olive flounder, *Paralichthys olivaceus*, during starvation. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 25:1276–1284.
- Park IS, SR Woo, YC Song and SH Cho. 2007. Effects of starvation on morphometric characteristics of olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Ichthyol. Res.* 54:297–302.
- 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 SW Miramichi River, NB. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38:321–333.
- Seong KB, IS Park, IB Goo and DS Kim. 2012. Effects of starvation on the morphometric characteristics and histological changes in chum salmon (*Oncorhynchus keta*) fry. *Ocean Polar Res.* 34:165–173.
- Strauss RE and CE Bond. 1990. Taxonomic methods, morphology. pp. 125–130. In: *Methods for Fish Biology* (Schreck CB and PB Moyle eds.). American Fish Society, Bethesda, MD.
- Strauss RE and FL Bookstein. 1982. The truss: body from reconstructions in morphometrics. *Syst. Zool.* 31:113–135.
- Sumpter JP, PY Le Bail, AD Pickering, TG Pottinger and JF Car

- ragher. 1991. The effect of starvation on growth and plasma growth hormone concentrations of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Gen. Comp. Endocrinol. 83:94–102.
- Theilacker GH. 1978. Effect of starvation on the histological and morphological characteristics of jack mackerel, *Trachurus symmetricus*, larvae. Fish. Bull. US. 78:789–791.
- Ueno K, Y Ikenaga and H Kariya. 1986. Potentiality of application of triploidy to the culture of ayu, *Plecoglossus altivelis* Temmnick et Schlegel. Jpn. J. Genet. 61:71–77.
- Weatherley AH and HS Gill. 1981. Recovery growth of following periods of restricted rations and starvation in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. J. Fish Biol. 18:195–208.
- Weatherley AH and HS Gill. 1987. Protein, lipid and caloric contents. pp. 139–146. In: The Biology of Fish Growth. Academic Press, London.