

메기(*Silurus asotus*) 기아 시 조직학적 변화

구인본*, 김영수, 박인석^{1,†}

(주)서준바이오, ¹한국해양대학교 해양생명과학부

Effect of starvation on tissues in Far Eastern catfish (*Silurus asotus*)

In Bon Goo*, Young Soo Kim and In-Seok Park^{1,†}

Sejoonbio Inc., Daejeon 34047, Republic of Korea

¹Division of Marine Bioscience, Korea Maritime & Ocean University, Busan 49112, Republic of Korea

*Corresponding author

In Bon Goo

Tel. 042-861-8039

E-mail. bourne@kmou.ac.kr

[†]This author contributed equally to this work as a co-corresponding author.

Received: 10 April 2020

First Revised: 22 May 2020

Second Revised: 17 June 2020

Revision accepted: 18 June 2020

Abstract: A 210-day experiment was conducted to examine the effects of starvation on survival, the gonadosomatic index (GSI), hepatosomatic index (HSI), and the intestinosomatic index (ISI), and histological changes in the renal tubule epithelium, midgut epithelium, and hepatocytes in Far Eastern catfish (*Silurus asotus*). The survival rate decreased to $92.2 \pm 0.47\%$ in the fed group and $74.4 \pm 2.59\%$ in the starved group during the 210-day experimental period. GSI, HSI, and ISI were lowest in the starved group ($p < 0.05$). The hepatocyte nuclear area, hepatocyte cell area, the nuclear height of the midgut epithelium, and the nuclear height of the kidney were highest in the fed group ($p < 0.05$). The hepatocyte nuclear area, nuclear height of the midgut epithelium, and nuclear height of the kidney were lowest in the starved group ($p < 0.05$). The numbers of melano-macrophages (MMs) found in the kidney cells increased during starvation in this species. This suggests that thinner body cavity regions, the contraction of hepatocyte nuclear sites, and the spreading of kidney cell MMs in this species could be used as alternative indicators for identifying starvation conditions. Therefore, the results from our study provide accurate indications of the nutritional status of Far Eastern catfish.

Keywords: Far Eastern catfish (*Silurus asotus*), histological change, starvation

서 론

메기 (Far Eastern catfish, *Silurus asotus*)는 메기목 (Siluriformes) 메기과 (Siluridae)에 속하는 어종으로, 2019년 국내 연간 생산량이 4,700톤(내수면 어업 생산량의 약 15%)에 이르는 내수면 주요 양식 종이다 (KOSIS 2019). 대부분의 어류는 계절 변화에 의한 월동, 생리적 변화에 의한 산란기 및 회유 등으로 인한 자연 기아 상태를 겪으며, 생화학적,

생리학적 및 행동학적 전략을 통해 이러한 기아를 극복한다 (Hur *et al.* 2006). 어류는 기아 상태에서 생존하기 위하여 기초 대사를 통해 축적한 자신 조직의 에너지를 사용한다 (Weatherley *et al.* 1987; Lee *et al.* 1999; Park 2006). 이렇듯 어류는 자연 기아 상태를 겪으며, 섭이 없이 생존할 수 있는 능력을 갖추고 있는 바 어떤 종은 최대 4년 동안 기아 상태를 버티며 자어는 섭이 없이 약 1개월간 생존할 수도 있다 (Hardy 2012).

어류의 기아 상태는 조직학적 기준에 준거하여 확인 할 수 있다(Theilacker 1986; Park *et al.* 2001). 기아에 의한 영양 결핍이 간세포 핵의 높이 감소를 초래한 결과가 여러 연구에서 보고 되었으며, 비가역적인 기아의 시작은 간세포 핵 높이의 변화가 선행하여 나타난다는 것이 확인 되었다(Alvarez and Cowden 1966; Storch and Juario 1983; Strüssmann and Takashima 1989; Park 2006). 이러한 이유로, Stoch and Juario (1983)는 간세포 핵 높이가 어류의 영양 상태 확인을 위한 유용한 지표라 제시한 바 있다. 한편, 장 상피세포의 높이 및 결합조직의 감소가 기아한 잉어(*Cyprinus carpio*)와 Nothern pike (*Esox lucius*)의 자어에서 관찰되는 등, 어류의 소화기관에서도 기아의 효과가 나타나 장 상피세포의 높이도 어류에서 영양 상태 확인을 위한 지표로 이용되고 있다(Kostomarova 1962; Ehrlich *et al.* 1976).

일반적으로 경골어류는 신장 멜라닌을 함유하고 있으며, 더욱이, 신장의 멜라닌대식세포(melano-macrophages; MMs)는 비타민 E의 결핍, 적절치 않은 사료의 섭취, 기아 혹은 노화와 같은 다양한 병리학적 및 생리학적 조건에 따라 수적으로 증가하는 것이 보고된 바 있다(Hur *et al.* 2006).

따라서, 본 연구는 메기에서 기아의 효과를 조사하기 위하여 기아 상태를 극단적으로 적용하여 생존율, 암·수 생식소 중량지수(gonadosomatic index; GSI), 간 중량지수(hepatosomatic index; HSI), 장 중량지수(intestinosomatic index; ISI), 신장세포와 장 상피세포 핵의 높이 및 간세포의 크기에 대하여 조사하였다.

재료 및 방법

1. 실험 생물 및 실험 디자인

실험어로 사용한 메기(*Silurus asotus*)는 2017년 4월에 한 국해양대학교 수산유전육종학실험실의 어류사육실에서 부화시켜 2019년 3월 체장 18 cm 전후로 성장한 1,000마리로, 이 중 200마리씩을 무작위로 선별하여 초기군(initial), 섭이군(fed) 및 기아군(starved)으로 설정하였다.

실험은 2019년 4월에 시작하였으며, 2019년 3월 실험 전, 모든 실험군에 대하여 체중 1~3%에 해당하는 양의 시판 중인 사료(Table 1)를 2주간 급여하였다. 실험 시작 시

Table 1. Composition of the experimental diets used in this 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 Coporation (EP-No. 10, Busan, 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 CaCl₂·6H₂O, 1.0.

실험어를 마취수의 중화와 마취 효과를 증대시키기 위해 NaHCO₃ 농도를 1,000 mg L⁻¹으로 한 후 염산리도카인(Lidocaine-HCl, Yuhan Co., Korea) 200 mg L⁻¹에서 약 1~2분간 마취하고, 전자저울(JW-1, Acom, Poshen, Korea)과 digital vernier caliper (CD-20CP, Mitutoyo, Kawasaki, Japan)를 사용하여 체중과 체장을 0.01 g, 0.01 cm 단위로 각각 측정하였다. 실험 시작 시 각 실험군의 평균 체중과 평균 체장은, 초기군이 359.5±9.88 g, 18.5±3.61 cm, 섭이군이 354.1±7.74 g, 18.2±2.79 cm, 기아군이 356.1±9.71 g, 18.1±2.31 cm였다. 2019년 4월 4일, 본 실험 시작에 앞서 24시간 절식하여, 사료로 인한 측정 시의 자료 교란을 배제 하면서 최초 샘플을 하였다(Park *et al.* 2001).

각 실험군은 1.1톤 원형 FRP 수조(지름 118 cm, 깊이 100 cm)를 각각 2개 조씩 사용하여 순환 여과 시스템으로 사육하였으며, 실험어의 탈출을 방지하기 위하여 수조에 그물을 덮어 실험을 진행하였다. 수온은 25±0.5°C를 유지하였고, 광주기는 40 W 형광등(5,400 K)을 이용하여 타이머를 통해 12L:12D 주기를 유지하였으며, 암기에는 어떠한 불빛도 조사하지 않았다. 실험은 섭이군에는 매일 2회(10:00~11:00, 18:00~19:00) 사료를 충분히 공급하고, 기아군은 사료 급여를 하지 않으면서 기아군의 활력이 급격히 저하하는 시기까지 진행하였다.

2. 데이터 분석 및 통계 분석

생존율은 매일 폐사한 메기의 수를 계수하여 소급 계산하였다. 실험 종료 후, 사료로 장이 팽창된 샘플로 인한 자료의 교란을 방지하기 위해, 섭이군을 샘플 전 24시간 절식하였으며(Park *et al.* 2001), 섭이군과 기아군 각각에서 60마리씩을 채집하여 Lidocaine-HCl/NaHCO₃을 이용하여 상기 방법으로 마취 후 외형 사진 촬영과 체중 및 체장을 측정하고, 10% 중성포르말린 수용액에 고정하였다.

생식소 중량지수(gonadosomatic index; GSI), 간 중량지수(hepatosomatic index; HSI) 및 장 중량지수(intestinosomatic index; ISI)는 고정된 샘플을 이용해 조사하였다. 생식소, 간 및 장을 10% 중성포르말린 수용액에 고정된 샘플로부터 각각 적출하여, 생식소, 간 및 장의 무게를 측정하고, GSI, HSI 및 ISI를 다음 식에 따라 각각 계산하였다:

$$GSI(\%) = (\text{생식소 무게} / \text{체중}) \times 100$$

$$HSI(\%) = (\text{간 무게} / \text{체중}) \times 100$$

$$ISI(\%) = (\text{장 무게} / \text{체중}) \times 100$$

기아의 효과를 조직학적 방법으로 조사하기 위하여 신장세포, 장 상피세포 및 간세포를 이용하였다. 각 실험군에서 적출한 신장, 장 및 간을 10% 중성 포르말린 수용액에 최초 고정 후 Bouin's solution에 24시간 동안 재고정

하였으며, 에탄올(Sigma, USA) 시리즈를 통해 탈수 후 Xylene(Sigma, USA)으로 치환, 그리고 파라핀을 침투시켜 측면 및 전면으로 포매하였다. 이후, 6 μm 두께로 연속 절편하고, hematoxylin과 eosin-phloxine B로 염색하여, slide 표본을 완성하였다. 완성한 slide 표본은 광학 현미경(Axioskop, Zeiss, Germany)을 통해 신장은 세뇨관 상피, 장은 중장의 장 상피세포 그리고 간은 멜라닌대식세포(melano-macrophages; MMs)와 간세포를 중심으로 관찰하였다. 신장세포 및 장 상피세포 핵의 높이와 간세포 크기는 eyepiece micrometer를 이용하여 광학 현미경(Axioskop, Zeiss, Germany) 1,000배 배율 하에서 각 표본당 3개씩 측정하였으며, 간세포 핵의 면적(S)은 Seol *et al.* (2008)의 방법에 따라 $S = \pi ab/4$ (a = 장축, b = 단축)로 산출하였다. 일원 분산분석(one-way ANOVA)을 사용하여 그룹 간 유의성을 비교하였으며 ($p < 0.05$, $n = 60$; SPSS 9.0, SPSS Inc., USA), 평균값은 Duncan's multiple range test를 통해 $p < 0.05$ 수준에서 유의한 차이를 판별하였고, 모든 실험은 3 반복으로 수행하였다.

결과 및 고찰

메기(*Silurus asotus*)의 기아 실험 시작 후 210일인 2019년 11월에 기아군은 급격히 활력을 잃었으며, 이에 따라 실

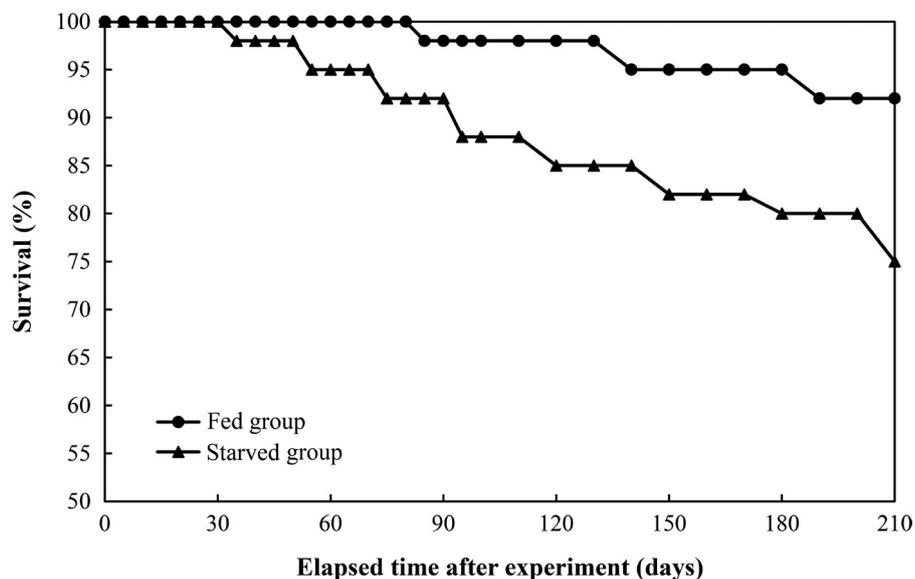


Fig. 1. Survival rates of fed and starved Far Eastern catfish, *Silurus asotus*, during the 210-day experimental period. The aggregate survival rates of the fed and starved groups during the experimental period were determined by each of the triplicate groups.

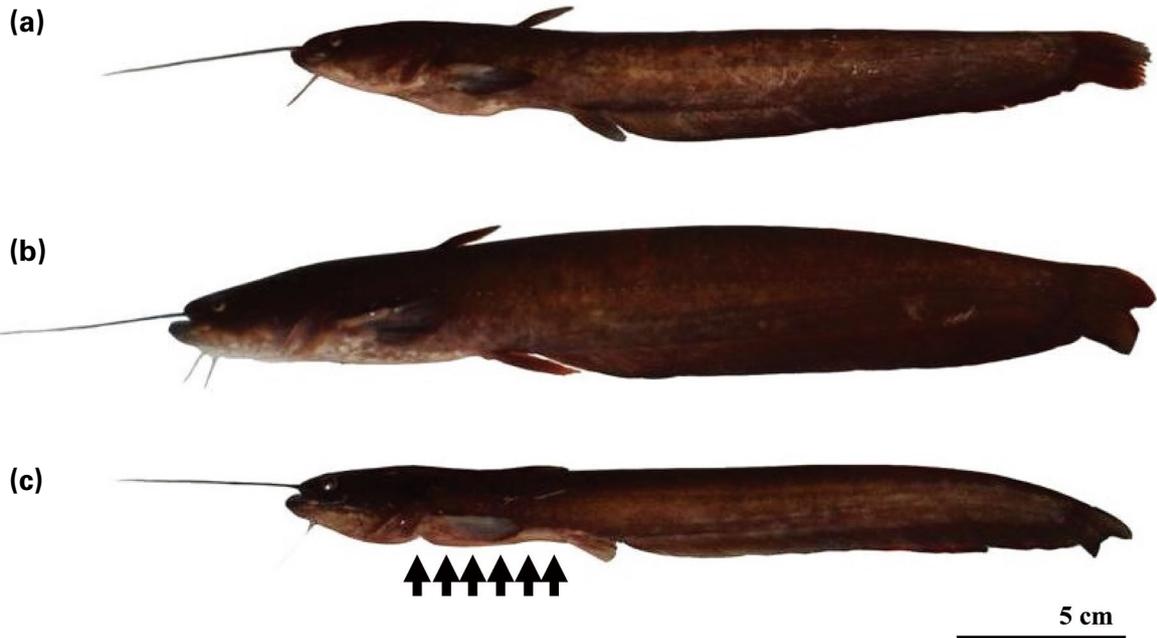


Fig. 2. Typical external morphology of Far Eastern catfish, *Silurus asotus*, at the conclusion of the starvation experiment. Initial (a), and groups fed (b), and starved (c) for 210 days. Note that the lateral ventral region in the starved group is thin (arrows in c).

험을 종료하였다. 실험 동안의 생존율은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 섭이군에서 $92.2 \pm 0.47\%$, 기아군에서 $74.4 \pm 2.59\%$ 였다 ($p < 0.05$).

기아실험에 따른 메기의 외형은 Fig. 2와 같으며, 기아군은 섭이군 및 초기군 대비 수척한 복부 외형을 보였다. 기아 동안의 생존은 체내에 비축된 에너지(내인성 에너지) 사용이 필수적이며, 이로 인해 신체 조직의 점진적 고갈 및 성장 감퇴를 초래한다(Weatherley *et al.* 1987). 본 연구에서도 210일간의 기아 결과 메기의 체장이 초기군에 비해 기아군에서 감소하였으며 섭이군에서는 증가하는 결과를 보였다(Fig. 2). 이와 유사하게 넙치(*Paralichthys olivaceus*)에서 12주간의 기아 동안 체장이 초기군 대비 섭이군은 136.2%로 증가, 기아군은 92.1%로 감소한 결과를 보인 바 있다(Park 2006).

Table 2에 초기군(initial), 섭이군(fed) 및 기아군(starved)의 생식소 중량지수(GSI), 간 중량지수(HSI) 및 장 중량지수(ISI)를 나타내었다. 섭이군의 암컷 GSI는 초기군과 유의한 차이를 보이지 않았으나($p > 0.05$), 기아군 암컷의 GSI는 초기군 및 섭이군에 비해 유의하게 낮은 값을 보였다($p < 0.05$). 섭이군 수컷의 GSI는 세 그룹 중 가장 높은 값을 보였으며($p < 0.05$), 초기군과 기아군 사

Table 2. Changes in the gonadosomatic index (GSI), hepatosomatic index (HSI), and intestinosomatic index (ISI) in the initial, fed, and starved groups in the 210-day starvation experiment in Far Eastern catfish, *Silurus asotus**¹

Group	GSI* ²		HSI* ³	ISI* ⁴
	Female	Male		
Initial	4.3 ± 2.20^b	0.9 ± 0.14^a	1.6 ± 1.05^b	0.7 ± 0.16^b
Fed	4.7 ± 2.61^b	1.3 ± 0.92^b	1.4 ± 0.81^b	0.8 ± 0.10^b
Starved	1.3 ± 0.15^a	0.6 ± 0.16^a	0.4 ± 0.30^a	0.5 ± 0.30^a

*¹The value are means \pm SD ($n=60$) of triplicated groups. Means in columns having same superscript letter are not significantly different among experimental groups ($p > 0.05$).

*²(Gonad weight / Total weight) \times 100.

*³(Liver weight / Total weight) \times 100.

*⁴(Intestine weight / Total weight) \times 100.

이에서는 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$). HSI는 초기군과 섭이군 사이에서는 유의한 차이가 없었으나($p > 0.05$), 두 군이 기아군보다 유의하게 높은 값을 나타내었다($p < 0.05$). ISI는 초기군과 섭이군 사이에서 유의한 차이를 보이지 않았고($p > 0.05$), 실험군 중 기아군에서 유의하게 가장 낮은 값을 보였다($p < 0.05$). 일반적으로, 기아는 여러 조직의 중량에 영향을 미치며, 경골어류에서 HSI는

생식소 발달과 연관이 있는 것으로 알려져 있다(Lee *et al.* 2000). Lee *et al.* (2000)는 고등어(*Scomber japonicus*), 쥐노래미(*Hexagrammos otakii*) 및 홍연어(*Oncorhynchus nerka*)의 HSI는 생식소 발달과 직접적으로 비례하는 반면, 은어(*Plecoglossus altivelis*)와 뱀장어(*Anguilla japonica*)는 반비례한다고 보고하였다. 이번 연구 결과, 메기 암컷의 GSI는 초기군과 섭이군에서 높게 기아군에서 가장 낮았으며, HSI도 이와 유사하게 초기군과 섭이군에서는 높고 기아군에서는 가장 낮은 값을 나타내고 있어 메기는 생식소 발달과 HSI가 비례하는 어종으로 확인되었다. 한편, 수컷의 GSI는 섭이군에서 최고치를 보이며, 암컷의 GSI는 모든 실험군에서 수컷의 GSI에 비해 높아, 난소가 정소보다 더 큰 것으로 확인하였다. 아울러, GSI와 HSI가 초기군과 섭이군 간에서는 유의한 차이를 보이지 않은 바, 기아는 섭이보다 간 및 생식소에 더 큰 영향을 미치는 것으로 사료된다.

210일간의 기아에 따른 신장세포 및 장 상피세포 핵의 높이와 간세포 크기 조사 결과는 Table 3과 같다. 신장세포 핵의 높이는 섭이군, 초기군 그리고 기아군 순으로 유의하게 높은 값을 나타내었다($p < 0.05$). 신장세포 핵의 크기는 섭이군이 다른 두 군보다 컸으며, 기아군 신장세포의 핵은 작고 수축하여 있었다(Fig. 3a, b). 신장의 멜라닌대식세포(MMs)의 크기는 기아군이 섭이군보다 컸으며, 그 수 또한 기아군이 섭이군보다 많았다(Fig. 3a, b). 어류에서 멜라닌대식세포는 일반적으로 비장과 신장 내 조혈조직의 기질에 존재하며, 광학 현미경 하에서 멜라닌대식세포는 다양한 크기의 원형 혹은 타원형 구조로 주변 림프조직과 쉽게 구별되는 반면, 전자 현미경하에서는 대식세포 그룹으

로 나타난다(Seol *et al.* 2009). 더욱이 이러한 대식세포는 양서류, 파충류 및 일부 어류의 간에서도 발견된 바 있으며, 어류 대식세포는 인간의 대식세포와 유사하게 독성물질을 대사하고 신장에서 다양한 면역 기능을 수행하는 것으로 알려져 있다(Roberts 1975; Agius and Roberts 1981; Agius and Roberts 2003). 멜라닌대식세포는 보통 다양한 색소(멜라닌, 리포푸신, 헤모시데린)를 함유하고 있으며, 노화 또는 질병이 있는 상태에서 그 범위와 부피가 증가하고, 스트레스에 노출 혹은 질병 같은 비정상적인 생리 상태에서 더 많이 나타남이 보고된 바 있다(Agius and Roberts 2003). 이는 메기를 대상으로 한 본 연구에서도 기아군의 멜라닌대식세포 수량과 크기가 증가한 결과를 통해 확인되었으며, 이러한 결과는 넙치, 돌돔(*Oplegnathus fasciatus*) 및 틸라피아(*Tilapia mossambica*)에서도 보고된 바 있다(Agius and Roberts 1981; Hur *et al.* 2006; Seol *et al.* 2009). 한편, 메기에서 멜라닌대식세포의 수량과 크기는 섭이군과 초기군 사이에는 유의한 차이를 보이지 않은 바, 이는 Hur *et al.* (2006)이 보고한 넙치에서 12주간의 기아 동안 멜라닌대식세포 침착 범위가 대조군에서 0.21~0.29%, 섭이군에서 0.25~0.28%의 범위를 보인 결과와 그 경향이 유사하였다. 이러한 결과는 섭이가 멜라닌대식세포의 수량과 크기 변화에 영향을 미치지 않음을 시사하는 것으로 사료된다.

장 상피세포 핵의 높이는 섭이군, 초기군 그리고 기아군 순서로 유의하게 높은 값을 보였으며($p < 0.05$), 장 상피세포 핵의 형태는 섭이군에서는 크고 균일하지만, 기아군에서는 길쭉하고 불규칙한 모양이었다(Fig. 3c, d). Jack mackerel (*Trachurus symmetricus*)에서 장 상피세포를 포함한 소화기관이 기아 시 영향을 받는 것으로 보고된 바 있으며(Theilacker 1978), 이와 유사한 결과를 본 연구의 기아한 메기의 장 상피세포에서도 확인할 수 있었다. Park (2006) 또한 12주간의 넙치 기아실험에서 장 상피세포 핵의 높이 평균값이 기아군에서는 감소하고 섭이군에서는 증가하는 것을 보고한 바 있다. 이와 유사하게 기아 동안 감소한 운동력에 수반되는 조직의 쇠퇴 결과들이 여러 연구자에 의해 보고되고 있다(Park 2006).

간세포 핵의 면적은 섭이군이 초기군 및 기아군보다 유의하게 넓었으며, 기아군의 면적이 유의하게 가장 작았다($p < 0.05$). 간세포의 면적은 섭이군이 다른 군들에 비해 유의하게 가장 큰 값을 보였으며, 초기군과 기아군 사이에서

Table 3. Changes in the nuclear height of the kidney, nuclear height of the midgut epithelium, hepatocyte nuclear areas, and hepatocyte areas in the initial, fed, and starved groups in the 210-day starvation experiment in Far Eastern catfish, *Silurus asotus**

	Initial group	Fed group	Starved group
Nuclear height (μm)			
Kidney	3.4 \pm 0.50 ^b	4.1 \pm 0.62 ^c	2.5 \pm 0.33 ^a
Midgut epithelium	5.3 \pm 0.48 ^b	6.7 \pm 0.73 ^c	4.5 \pm 0.55 ^a
Hepatocyte area (μm^2)			
Nucleus	0.7 \pm 0.27 ^b	1.2 \pm 0.56 ^c	0.3 \pm 0.20 ^a
Cell	9.9 \pm 2.67 ^a	16.5 \pm 3.62 ^b	9.9 \pm 3.06 ^a

*The values are means \pm SD ($n=60$) of triplicated groups. Means in rows having different superscript letter are significantly different among experimental groups ($p < 0.05$).

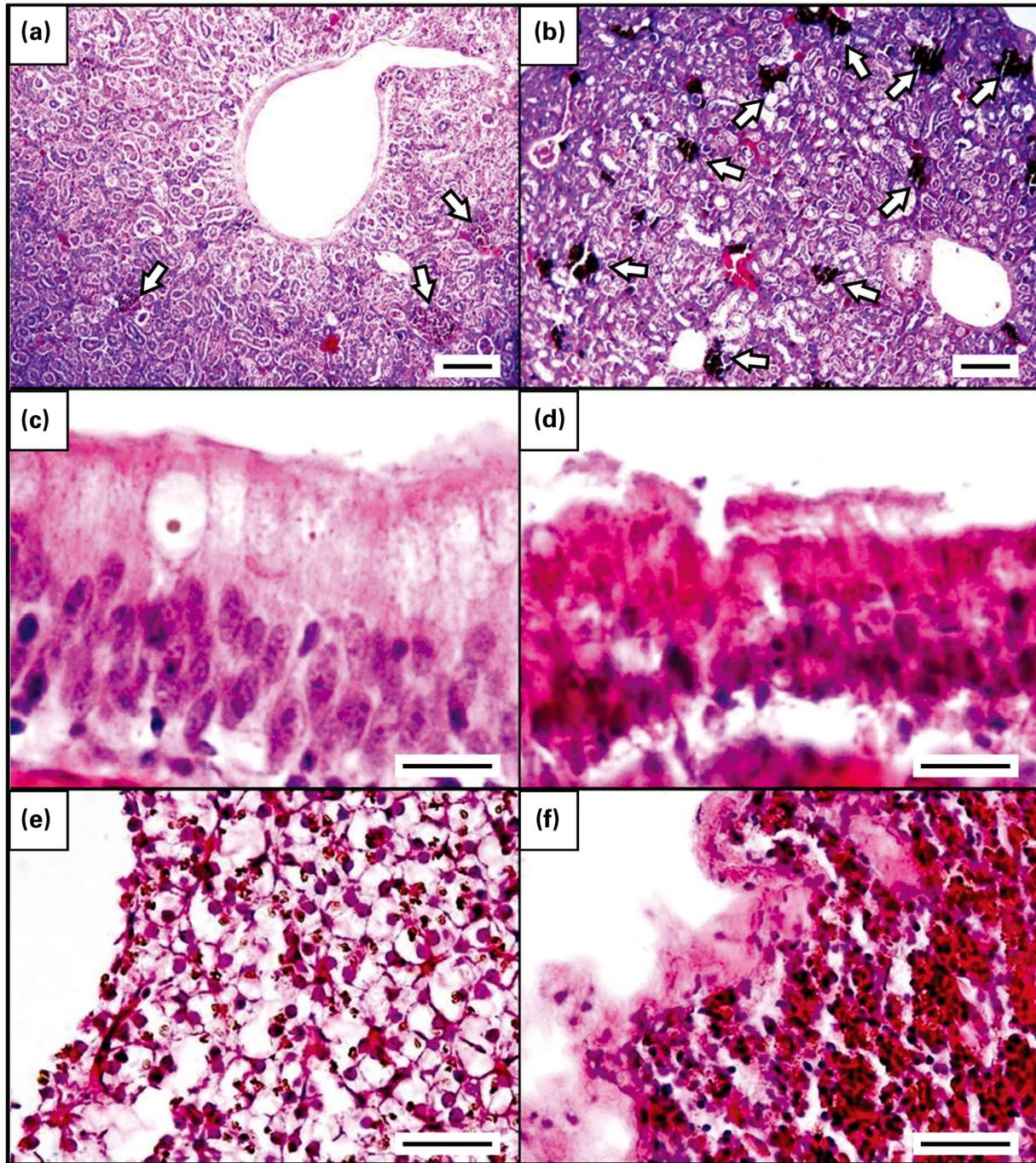


Fig. 3. Histological appearance of the kidney, midgut epithelium, and liver under starvation conditions after 210 days in Far Eastern catfish, *Silurus asotus*. Histological observations of melano-macrophages (MMs: white arrow) in the kidneys of the fed (a) and starved (b) groups. The white arrows in (b) indicate the exact increase in the degree of MM deposition in the starved group. Midgut epithelium of the fed (c) and starved (d) groups. Note the reduction in the nuclear height of the midgut epithelium in the starved group. Livers of the fed (e) and starved (f) groups. Note the reduction in the size of the hepatocyte nuclei in the starved group. Hematoxylin and eosin staining. Bars indicate 10 μ m.

는 유의한 차이가 나타나지 않았다($p > 0.05$). 간세포의 모양은 장 상피세포와 유사하게 섭이군에서는 크고 균일하

였지만, 기아군에서는 작고 비 균일한 형태를 보였다(Fig. 3e, f). 대부분의 어류는 적절한 영양이 공급되면 간세포 핵

의 크기와 모양이 일정하지만, 그렇지 못할 경우 간세포 핵의 내용물이 비염색체 단백질로 전환되고, 이에 따라 핵의 크기와 모양이 변화된다(Alvarez and Cowden 1966; Storch and Juario 1983). 이러한 퇴행성 결과는 본 연구에서도 간세포 핵의 면적, 모양 및 수의 차이가 관찰되어 확인할 수 있었으며, 수온 13°C에서 3개월간의 기아 상태를 거친 미성숙한 무지개송어(*Salmo gairdneri*)의 간 조직에서도 관찰된 바 있다(Robertson *et al.* 1963). 또한, 간세포 핵의 크기 관찰은 영양 상태를 확인하는 데 유용하기 때문에 Pejerry (*Odontesthes bonariensis*), 붕바리(*Epinephelus akaara*) 자어, 조피볼락(*Sebastes schegeli*) 자어 및 연어(*O. keta*) 치어 등 여러 어종을 대상으로 한 기아 연구에서 다루어졌다(Strüssmann and Takashina 1989; Lee *et al.* 1998; Park *et al.* 1998).

본 연구는 메기에서의 기아 효과를 생존율, 각 내장 조직의 중량지수 및 일부 조직의 변화 관찰을 통해 조사하였다. 본 연구에서 도출된 GSI, HSI 및 ISI와 신장, 장 상피 및 간의 조직학적 변화 결과들은 국내 주요 양식대상 종인 메기에 대한 기초 자료로서 의미가 있으며, 기아에 의한 일부 조직의 변화에 대한 정보는 어류의 영양 상태를 확인할 수 있는 지표로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

적 요

메기(*Silurus asotus*)의 기아 시 생존율, 생식소 중량지수(gonadosomatic index; GSI), 간 중량지수(hepatosomatic index; HSI) 및 장 중량지수(intestinosomatic index; ISI)와 신장세포, 장 상피세포 및 간세포의 조직학적 변화를 조사하였다. 생존율은 섭이군이 $92.2 \pm 0.47\%$, 기아군이 $74.4 \pm 2.59\%$ 를 보였으며, GSI, HSI 및 ISI는 기아군에서 가장 낮은 값을 나타내었다($p < 0.05$). 신장세포 핵의 높이, 장 상피세포 핵의 높이, 간세포 핵의 크기 및 간세포의 크기는 섭이군에서 가장 높은 값을 보였으며($p < 0.05$), 신장세포 핵의 높이, 장 상피세포 핵의 높이 및 간세포 핵의 크기는 기아군에서 가장 낮은 값을 보였다($p > 0.05$). 멜라닌대식세포(melano-macrophages; MMs)는 기아 동안 신장에서 증가함을 관찰하였다. 신장의 MMs 증가 및 간세포의 수축 현상은 메기의 기아 상태를 식별하는 지표로 이용할 수 있으며, 본 연구의 결과는 메기의 영양 상태 확인을 위한 기초 자료로서 의미가 있을 것으로 사료된다.

사 사

건설적이고 유용한 권고와 수정 지시로 본 논문의 수준과 완성도를 높여 주신 익명의 심사자들에게 감사드립니다. 본 연구는 교육부의 연구윤리확보를 위한 지침(교육부 훈령 제 153호)과 식품의약품안전처(임상제도과)의 실험동물에 관한 법률(법률 제 15944호) 기준을 준수하였으며, 아울러 한국해양대학교 연구윤리를 준수하였습니다.

REFERENCES

- Agius C and RJ Roberts. 1981. Effects of starvation on the melano-macrophage centres of fish. *J. Fish Biol.* 19:161-169.
- Agius C and RJ Roberts. 2003. Melano-macrophage centres and their role in fish pathology. *J. Fish Dis.* 26:499-509.
- Alvarez MR and RR Cowden. 1966. Karyometric and cytophotometric study of hepatocyte nuclei of frogs exposed to cold and prolonged starvation. *Z. Zellforsch.* 75:240-247.
- 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.
- Hardy RW. 2012. Nutritional pathology of teleosts. pp. 402-424. In: *Fish Pathology* (Roberts RJ ed.). Wiley-blackwell, Chichester, England.
- Hur JW, SR Woo, JH Jo and IS Park. 2006. Effects of starvation on kidney melano-macrophage centre in olive flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck and Schlegel). *Aquacult. Res.* 37:821-825.
- KOSIS. 2019. Fishery production survey. Korean Statistical Information Service. Statistics Korea, Daejeon, Korea.
- Kostomarov AA. 1962. Effect of starvation on the development of the larvae of bony fishes. *Trudy Inst. Morf. Zhivot.* 40:4-77.
- Lee CK, IS Park and SB Hur. 1998. Influence of starvation on the variations of hepatocyte nucleus in larvae of red spotted grouper, *Epinephelus akaara*. *J. Aquacult.* 11:11-17.
- Lee JK, HK Lim, CH Han, JH Jeung, DJ Kim and K Aida. 2000. Changes of gonadosomatic index and sex steroid hormone of serum in cultured greenling, *Hexagrammos otakii*. *J. Korean Fish. Soc.* 33:302-306.
- 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.
- 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, CK Lee, JH Im, JH Kim and SU Kim. 1998. Effect of starvation on the growth and hepatocyte unclear size of larval rockfish, *Sebastes schlegeli* and larval spotted sea bass *Lateolabrax* sp. J. Aquacult. 11:345-352.
- 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.
- Roberts RJ. 1975. Melanin-containing cell of teleost fish and their relation to disease. pp. 399-428. In: The Pathology of Fishes (Ribelin WE and G Migaki eds.). University of Wisconsin Press, Madison, WI.
- 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.
- Seol DW, JW Hur, DS Kim, YG Nam, IC Bang and IS Park. 2009. Effect of starvation on kidney melano-macrophage centre in sub-adult rock bream, *Oplegnathus fasciatus* (Temminck and Schlegel). J. Fish. Sci. Technol. 12:49-53.
- Seol DW, SY Im, JW Hur, MO Park, DS Kim, JY Jo and IS Park. 2008. Haematological parameters and respiratory function in diploid and triploid Far Eastern catfish, *Silurus asotus*. Gene Genom. 30:205-213.
- Storch V and JV Juario. 1983. The effect of starvation and subsequent feeding on the hepatocytes of *Chanos chanos* (Försskal) fingerlings and fry. J. Fish Biol. 23:95-103.
- Strüssmann CA and F Takashima. 1989. PNR, histology and morphometry of starved pejerrey, *Odontesthes bonariensis*, larvae. Nippon Sui. Gakk. 55:237-246.
- Theilacker GH. 1978. Effect of starvation on the histological and morphological characteristics of jack mackerel, *Trachurus symmetricus*, larvae. Fish. Bull. 78:789-791.
- Theilacker GH. 1986. Starvation induced mortality of young sea-caught jack mackerel, *Trachurus symmetricus*, determined with histological and morphological methods. Fish. Bull. 84:1-17.
- Weatherley AH, HS Gill and JM Casselman. 1987. Protein, lipid and caloric contents. pp. 139-146. In: The Biology of Fish Growth. Academic Press. London, England.