

한국에서의 어류에 대한 지속적인 기아 효과 연구: 개관

박 인 석[†]
한국해양대학교(교수)

The Studies on the Effects of Continuous Starvation for Fishes in Korea: A review

In-Seok PARK[†]
Korea Maritime & Ocean University(professor)

Abstract

Most fish undergo periods of starvation during the overwintering, spawning, migration, or geographic reductions in their food resources. Fish can overcome starvation by using biochemical, physiological, and behavioral strategies. The endogenous energy derived from basic metabolites accumulated in the body is consumed as the fish utilize their own tissues to remain alive during the periods of starvation. This review briefly arranges the studies on the effects of continuous starvation for 11 marine fishes and 4 freshwater fishes based on the studies collected so far and could offer the basis for a wide category of researches including: 1. Nutritional parameters (histological changes, biochemical changes, and nutritional condition); 2. Larval starvation; 3. External morphometric characteristics; 4. Sectioned morphometric characteristics; 5. Physiological changes; 6. Kidney melano-macrophage; 7. Ultrastructural changes in hepatocyte; and 8. Stress responses, which were done over a period of 26 years from 1995 to 2021 in Korea.

Key words : Continuous starvation, Freshwater fish, Korea, Marine fish, Review

I. 서론

어류는 계절 변화에 기인 된 월동(Wintering), 산란을 위한 이동(Spawning migration) 시 혹은 서식지의 먹이 감소로 인하여 자연 기아(Starvation) 시기를 거칠 수도 있으며 이와 더불어 어류 양식 또는 실험 시 불가피하게 인위적인 기아 상태를 유지하여야 할 경우도 있는바, 이러한 지속적인 기아는 수일에서 수개월(혹은 수년)에 이를 수 있다(Love, 1970; Park, 2004). 어류는 이러한 기아 상황을 체내 조직 내의 내생적(Endogenous) 축적

에너지를 소모하며 어류 체내에서 생화학적 방법, 생리학적인 방법 및 행동학적 방법을 통하여 극복하고 견딜 수 있다(Mustafa and Mittal, 1982; Weatherley and Gill, 1987; Park, 2004). 그러나 이러한 체조직 저장에너지의 사용은 기아 어류의 성장 감소(Degrowth), 어체의 화학적 조성 및 수분 함량에서의 변화와 아울러 축적에너지 변화를 동반한다(Weatherley and Gill, 1987; Park, 2004).

본 논고는 어류를 대상으로 한 지속적인 기아에 관련된 연구들이 현재 필요한 상황을 고려하여, 1995년부터 2021년까지 26년간에 걸쳐 한국

[†] Corresponding author : 051-410-4321, ispark@kmou.ac.kr

에서 어류를 대상으로 연구된 기아 관련 논문들을 기준으로 기존의 기아 시 어체 생화적 변화와 더불어 기아 시 어체 영양학적인 측면에서의 조직학적 변화와 기아 시 어체 기관 변화 지수, 기아 시 Classical dimension과 Truss dimension을 사용한 외부계측형질, 기아 시 체 종단절단면 계측형질, 기아 시 혈액 성분 및 호흡지수 변화, 기아 시 신장의 Melano-macrophage 변화, 기아 시 간의 전자 현미경적 세포 소기관의 변화 및 기아 시 혈장 Stress 호르몬 변화 양상을 개관하였다.

어류의 초기 생활사에서 자어기에서의 기아는 자어의 생존 및 성장에 절대적인 영향을 미치는 요인으로서(Bagarinao, 1986; Myoung et al., 1990, 1992), 어류 초기발생 시 이러한 기아가 상당히 지속되면, 부화 자어는 지연된 첫 먹이공급이 시작 되더라도 부화 자어의 활력이 떨어져 더 이상 먹이를 섭취할 수 없고 폐사에 이르는 한계점인 Point of no return (PNR)에 도달한다(Strüssmann and Takashima, 1989; Han, 1998). 이와 더불어 어류의 초기 성장단계에 있어 기아는 기아에 의한 영양상태의 변화로 인하여 외부, 내부형태에서의 변화도 수반하게 된다(Theilacker, 1978; Yin and Blaxter, 1986). 이상의 어류 초기 자어에서의 기아 실험의 의의성을 고려하여 본 논고는 어류 자어 기아 시 초기성장과 첫 먹이공급, 간세포, 난황흡수, 형태학 및 조직학을 부가적으로 개관하였다.

본 논문에서 개관된 어류는 <Table 1>에서 나타난 바와 같이 해산어류인 넙치(*Paralichthys olivaceus*), 돌돔(*Oplegnathus fasciatus*), 참돔(*Pagrus major*), 점농어(*Lateolabrax* sp.), 쟁뿔어(*Boleophthalmus pectinirostris*), 붉바리(*Epinephelus akaara*), 조피볼락(*Sebastes schlegelii*), Haddock(*Melanogrammus aeglefinus*), 연어(*Oncorhynchus keta*), 자주복(*Takifugu rubripes*) 및 복섬(*Takifugu niphobles*)의 11종과 담수어류인 버들치(*Rhynchocypris oxycephalus*), 미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*), 미꾸라지(*Misgurnus mizolepis*) 및 메기(*Silurus*

asotus)의 4종으로, 부화 자어는 기아 후 최대 6일 혹은 10일 이내에 사망을 보이고 성어는 기아 후 28일에서 210일 까지에 걸쳐서 기아에 기인하여 그 활력이 급격히 저하하여 폐사한다.

II. 본론

어류를 대상으로 한 지속적인 기아 효과를 1. Nutritional parameters (가. Histological changes, 나. Biochemical changes, and 다. Nutritional condition), 2. Larval starvation (Early growth and first feeding), 3. External morphometric characteristics (Classical and truss dimension), 4. Sectioned morphometric characteristics (Sectioned body traits), 5. Physiological changes (Hematological responses and respiratory exchanges), 6. Kidney melano-macrophage (MM, MM centre), 7. Ultrastructural changes in hepatocyte (Hepatocyte ultrastructure) 및 8. Stress responses (Plasma cortisol and plasma glucose)의 8개 항목으로 대별하여, 기아일 경과에 따른 포식군(Fed group)에 대비한 기아군(Starved group)에서 활력이 급격히 저하하며 높은 사망을 보이는 기아 실험 종료까지의 관련 기아 효과들을 개관하고자 한다.

1. Nutritional parameter <Table 2>

가. Histological changes <Table 2>

지속적인 기아에 의한 조직학적 변화는 버들치(*Rhynchocypris oxycephalus*)를 대상으로 한 63일간의 실험 시 기아군은 간세포 핵 크기와 장상피 세포의 핵 높이가 감소하였고, 넙치(*Paralichthys olivaceus*)를 대상으로 84일간의 실험 시 기아군은 간세포 핵 크기와 장상피 세포의 핵 높이가 감소하였으며 이들 간세포와 장상피 세포는 형태가 불규칙적이고 그 핵은 호염기성으로서 불규칙하게 수축되었으며 작고 조밀하였다(Lee et al., 1999; Park, 2006).

<Table 1> A review of publications on the effects of continuous starvation for fish in Korea focusing on by the fishes used in the experiment with starvation span

Fishes used in the starvation experiment (Korean name)	Starvation span (days)	References
Marine fish		
<i>Paralichthys olivaceus</i> (넙치)	11 (after post hatching)	Myoung <i>et al.</i> (1992)
	84	Hur <i>et al.</i> (2006)
	84	Park (2006)
	84	Park <i>et al.</i> (2006)
	84	Park <i>et al.</i> (2007)
	84	Park <i>et al.</i> (2012)
	56	Park <i>et al.</i> (2015)
	84	Park <i>et al.</i> (2017)
<i>Oplegnathus fasciatus</i> (폴돔)	32	Seol <i>et al.</i> (2009)
	5 (after post hatching)	Park <i>et al.</i> (2013)
	84	Park <i>et al.</i> (2017)
	56	Park <i>et al.</i> (2015)
<i>Pagrus major</i> (참돔)	5 (after post hatching)	Myoung <i>et al.</i> (1990)
<i>Lateolabrax</i> sp. (점농어)	4 (after post hatching)	Myoung <i>et al.</i> (1997)
	6 (after post hatching)	Park <i>et al.</i> (1998)
<i>Boleophthalmus pectinirostris</i> (짱뚱어)	Just after herbination	Park <i>et al.</i> (1995a)
<i>Epinephelus akaara</i> (붉바리)	5 (after post hatching)	Lee <i>et al.</i> (1998)
<i>Sebastes schlegelii</i> (조피볼락)	5 (after post hatching)	Park <i>et al.</i> (1998)
<i>Melanogrammus aeglefinus</i> (해덕)	10	Kim <i>et al.</i> (2012)
<i>Oncorhynchus keta</i> (연어)	26	Seong <i>et al.</i> (2012)
<i>Takifugu rubripes</i> (자주복)	9 (after post hatching)	Han (1998)
<i>Takifugu niphobles</i> (복섬)	3 (after post hatching)	Park (2017)
Freshwater fish		
<i>Rhynchocypris oxycephalus</i> (버들치)	63	Lee <i>et al.</i> (1999)
	75	Park <i>et al.</i> (2001)
	63	Park <i>et al.</i> (2002)
	Review	Park (2004)
<i>Misgurnus auguillcaudatus</i> (미꾸리)	28	Hur <i>et al.</i> (2018a)
	28	Hur <i>et al.</i> (2018b)
	30	Park (2018)
<i>Misgurnus mizolepis</i> (미꾸라지)	Just after herbination	Park <i>et al.</i> (1995b)
<i>Silurus asotus</i> (메기)	210	Park and Gil (2018)
	210	Goo <i>et al.</i> (2020)
	210	Park <i>et al.</i> (2021)

<Table 2> A review of publications on the effects of continuous starvation for fish in Korea focusing on by the effects of starvation with items examined

Effects of starvation	Items examined	References
1. Nutritional parameters	Histological changes	Lee <i>et al.</i> (1999)
		Park (2006)
		Park (2018)
		Goo <i>et al.</i> (2020)
	Biochemical changes	Park <i>et al.</i> (1995a)
		Park <i>et al.</i> (1995b)
		Lee <i>et al.</i> (1999)
		Park <i>et al.</i> (2017)
	Nutritional condition	Lee <i>et al.</i> (1999)
		Park <i>et al.</i> (2002)
		Hur <i>et al.</i> (2006)
		Park <i>et al.</i> (2006)
		Park <i>et al.</i> (2015)
	Park (2018)	
	Goo <i>et al.</i> (2020)	
2. Larval starvation	Early growth and first feeding	Myoung <i>et al.</i> (1990)
		Myoung <i>et al.</i> (1992)
		Myoung <i>et al.</i> (1997)
		Han (1998)
	Hepatocyte and first feeding	Lee <i>et al.</i> (1998)
		Park <i>et al.</i> (1998)
	Early growth, yolk, and first feeding	Kim <i>et al.</i> (2012)
Morphology and histology	Seng <i>et al.</i> (2012)	
Early growth and histology	Park <i>et al.</i> (2013)	
Early growth and hepatocyte	Park (2017)	
3. External morphometric characteristics	Classical and truss dimension	Park <i>et al.</i> (2001)
		Park <i>et al.</i> (2007)
		Park <i>et al.</i> (2015)
		Hur <i>et al.</i> (2018b)
		Park <i>et al.</i> (2021)
4. Sectioned morphometric characteristics	Sectioned body traits	Park <i>et al.</i> (2002)
		Park <i>et al.</i> (2015)
		Hur <i>et al.</i> (2018b)
		Park <i>et al.</i> (2021)
5. Physiological changes	Hematological responses and respiratory exchanges	Park <i>et al.</i> (2012)
		Park <i>et al.</i> (2017)
		Park and Gil (2018)
		Hur <i>et al.</i> (2018a)

<Table 2> Continued

Effects of starvation	Items examined	References
6. Kidney melano-macrophage (MM)	MM centre	Hur <i>et al.</i> (2006)
		Seol <i>et al.</i> (2009)
		Park (2018)
		Goo <i>et al.</i> (2020)
7. Ultrastructural changes in hepatocyte	Hepatocyte ultrastructure	Hur <i>et al.</i> (2006)
		Park (2018)
8. Stress responses	Plasma cortisol and plasma glucose	Park <i>et al.</i> (2017)
		Hur <i>et al.</i> (2018a)
		Park and Gil (2018)

미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*)에서 30일간 지속적인 기아 시 기아군은 간세포의 핵 면적과 핵 표면적, 중장상피세포 핵 높이 및 신장세포 핵 높이에서 감소하였으며, 메기(*Silurus asotus*)에서 210일간 지속적인 기아 시 기아군은 간세포 핵 면적, 중장상피세포 핵 높이 및 신장세포 핵 높이가 감소하였다(Park, 2018; Goo *et al.*, 2020).

나. Biochemical changes <Table 2>

짱뚱어(*Boleophthalmus pectinirostris*)를 대상으로 한 6개월간의 동면 직후는 비만도, 조단백질, 조지방, 탄수화물 및 지방 함량은 낮았으며 수분 함량은 증가하였다(Park *et al.*, 1995a). 미꾸라지(*Misgurnus mizolepis*)를 대상으로 5개월간의 동면 직후는 조단백질, 조지방, 탄수화물 및 지방 함량은 낮았으며 수분 함량은 증가하였다. 아울러 진피층의 두께는 감소함을 보였다(Park *et al.*, 1995b). 버들치에서 63일간 지속적인 기아 시, 기아군에서의 단백질, DNA 및 RNA 함량이 높았으며 RNA/DNA 비는 감소하였다. Park *et al.* (2017)은 돌돔(*Oplegnathus fasciatus*)과 넙치를 대상으로 84일간 지속적인 기아 시 기아군에서 단백질 함량과 RNA/DNA 비가 감소함과 더불어 증가한 Alanine aminotransferase와 감소된 Glucose 치를 보고하였다.

다. Nutritional condition <Table 2>

버들치를 대상으로 63일간 지속적인 기아 시

기아군에서 간중량지수(Hepatosomatic index), 비만도(Condition factor), 내장피지수(Viscera index) 및 Dressing 비(Dressing percentage)가 감소하였다(Lee *et al.*, 1999; Park *et al.*, 2002). 넙치를 대상으로 84일간 지속적인 기아 시 기아군은 비만도와 간중량(Liver-somatic)지수가 낮았으며(Hur *et al.*, 2006), 또한 Dressing 비와 내장피지수에서는 포식군과 비교시 유사하였으나 비만도, 일일성장률, 체중성장률 및 내장피 제거 체중에서는 감소를 보였다(Park *et al.*, 2006). 돌돔을 대상으로 한 56일간의 지속적인 기아 시 기아군에서는 체중, 체장 및 비만도가 감소하였다(Park *et al.*, 2015). 생식소속도지수(Gonadosomatic index), 간중량지수 및 Intestinosomatic index에서의 감소는 미꾸리(*M. anguillicaudatus*)를 대상으로 한 30일간의 지속적인 기아 시와 메기를 대상으로 한 210일간의 지속적인 기아 시 이들 기아군들에서 나타나고 있다(Park, 2018; Goo *et al.*, 2020).

2. Larval starvation (Early growth and first feeding) <Table 2>

참돔(*Pagrus major*) 부화 자어를 대상으로 부화 후 5일까지 기아 시킨 결과 기아군에서 전장, 체장, 근절높이 및 장높이가 감소하였으며 넙치 부화 자어를 대상으로 부화 후 11일까지 기아 시킨 결과 기아군에서 전장, 근절높이 및 장높이가 감

소하였다(Myoung et al., 1997). 점농어(*Lateorabrax sp.*) 부화 자어를 대상으로 부화 후 6일에서 부화 후 10일까지 4일간 기아 시킨 결과, 기아군에서 전장, 장높이, 근절높이 및 장높이/근절높이가 감소하였다(Myoung et al., 1997). 자주복(*Takifugu rubripes*) 부화 자어를 대상으로 부화 후부터 부화 후 9일까지의 기아 효과 조사 시 부화 후 4일까지는 기아군은 성장 정지를 보이며 부화 후 7일 이후는 성장 감소가 나타났다(Han, 1998). 불바리(*Epinephelus akaara*) 부화 자어를 대상으로 부화 후부터 부화 후 5일까지 기아 시킨 결과, 기아군에서는 전장 감소와 아울러 부화 후 4일부터 간세포 핵 표면 크기에서 급격한 감소를 보였다(Lee et al., 1998). 기아시 전장, 체중 및 간세포 핵 표면 크기에서의 감소는 조피볼락(*Sebastes schlegelii*) 산출 자어에서 산출 후 5일에 기아군에서, 점농어 부화 자어에서는 기아 후 6일에 기아군에서 나타난 바 있다(Park et al., 1998). Haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) 부화 자어를 대상으로 부화 후부터 부화 후 10일까지 기아 시킨 결과 기아군에서 체장과 체중의 감소, 빠른 난황 흡수 및 간세포 면적 감소가 나타났다(Kim et al., 2012).

연어(*Oncorhynchus keta*) 난황 흡수 자어를 대상으로 26일간 기아 시킨 결과, 기아군에서 성장 지연, 소화 조직 위축, 간세포 핵의 위축 및 체장 변성이 나타났으며 MM이 증가되었다. 아울러 기아군에서는 머리 부분의 계측형질이 컸으며 Truss dimension에서는 낮게 나타났다(Seong et al., 2012). 돌돔 부화 자어를 대상으로 부화 후부터 부화 후 5일까지 기아 시 기아군에서는 난황 흡수 가속, Pectoral angle의 감소, 눈높이/ 두고비의 감소, 장세포 높이/ 체장 비의 감소 및 간세포 높이/ 근절 높이 비의 감소가 나타난 바 있다(Park et al., 2013). 복섬(*Takifugu niphobles*) 부화 자어를 대상으로 부화 후 부터 부화 후 6일까지 기아 효과는 기아군에서의 낮은 성장과 간세포 핵 크기 감소로 나타나고 있다(Park, 2017).

3. External morphometric characteristics (Classical and truss dimension) <Table 2>

버들치를 대상으로 한 75일간의 지속적인 기아 시 기아군은 Truss dimension에서 머리와 몸통 부위 그리고 복강 부위 관련 형질의 증가가 보인 반면, 꼬리 부분에서는 감소를 보였다(Park et al., 2001). 넙치를 대상으로 한 84일간의 지속적인 기아 시 기아군은 Classical dimension에서 여체 앞-어체 뒤 연결축에서 관련 형질의 감소와 머리 부분에서의 관련 형질 증가를 보였다. Truss dimension에서는 몸통 부위에서의 관련 형질 감소를 보였다(Park et al., 2007). 역시 넙치를 대상으로 한 56일간의 지속적인 기아 시 기아군에서 외부계측형질에서 두부 관련 계측형질의 증가가 보고 되기도 있다(Park et al., 2015). 미꾸리를 대상으로 한 28일간의 지속적인 기아 시 기아군에서 외부계측형질에서 머리 부위와 복강 부위의 관련 형질이 감소 됨을 보이고 있다(Hur et al., 2018b). 메기를 대상으로 한 210일간의 지속적인 기아 시 기아군에서 Truss dimension의 두부 관련 형질에서 증가를 보이고 있다(Park et al., 2021).

4. Sectioned morphometric characteristics (Sectioned body traits) <Table 2>

버들치를 대상으로 한 63일간의 지속적인 기아 시 기아군은 대부분의 체절단 형질들에서 감소를 보였으며, 56일간의 지속적인 기아 시 돌돔과 넙치에서의 기아군은 체절단 체둘레, 체절단 면적 및 체절단면 높이에서 감소를 보이고 있다(Park et al., 2015). 미꾸리를 대상으로 한 28일간의 지속적인 기아 시 기아군은 체절단 체둘레, 체절단 면적 및 체절단 높이에서 감소를 보이고 있다(Hur et al., 2018b). 메기를 대상으로 한 210일간의 지속적인 기아 시 기아군은 체절단 높이, 체절단 폭 및 체절단 면적에서 감소를 보이고 있다(Park et al., 2021).

5. Physiological changes (Hematological responses and respiratory exchanges) <Table 2>

넙치를 대상으로 한 84일간의 지속적인 기아 시 기아군은 Hematocrit, Hemoglobin, 적혈구, Mean corpuscular hemoglobin, Mean corpuscular hemoglobin concentration 및 Mean corpuscular volum에서 차이가 없었다(Park et al., 2012). Na⁺, Cl⁻, K⁺ 및 Aspartate aminotransferase에서도 기아군은 차이가 없었으나 Plasma osmolality에서는 기아군은 낮게 나타났다(Park et al., 2012). 돌돔을 대상으로 84일간의 지속적인 기아 시 기아군은 Hematocrit, Hemoglobin, 적혈구 및 Mean corpuscular hemoglobin concentration은 낮게 나타났으며 Mean corpuscular volume은 높았다(Park et al., 2012). Alanine aminotransferase는 기아군이 시작군에 비해 높게 나타났다(Park et al., 2012). 메기를 대상으로 한 210일간의 지속적인 기아 시 기아군의 Respiratory frequency과 PH는 높은 반면, CO₂ 농도와 Ammonium 농도는 낮게 나타났다(Park et al., 2012). 미꾸리를 대상으로 28일간의 지속적인 기아 시 기아군에서는 DO 소비, CO₂ 농도 및 Ammonium 농도가 낮게 나타난 반면 Respiratory frequency와 PH 치는 높게 나타났다(Hur, 2018a).

6. Kidney melano-macrophage (MM, MM centre) <Table 2>

지속적인 기아에 따른 기아군에서의 Kidney melano-macrophage (MM)의 증가는 84일간 기아된 넙치, 56일간 기아된 돌돔, 30일간 기아된 미꾸리 및 210일간 기아된 메기에서 나타나고 있다(Hur et al., 2006, Seol et al., 2009, Park 2018, Goo et al., 2020). 기아시 이러한 MM의 증가는 이화작용을 하는 조직의 붕괴로 인하여 신장에서의 색소 형성에 의한 것으로 인식되고 있다.

7. Ultrastructural changes in hepatocyte

(Hepatocyte ultrastructure) <Table 2>

넙치를 대상으로 84일간의 지속적인 기아 시 간의 미세구조에서 세포와 핵 크기의 감소, 인의 소실, 염색사의 응축, 저장 Glycogen의 소실, Endoplasmic reticulum의 감소, 다수의 철을 함유한 Electron-dense body의 증가 및 Mitochondria 크기의 증가가 보고된 바 있다(Hur et al., 2006). 미꾸리를 대상으로 30일간의 지속적인 기아 시 간의 미세구조에서 간세포 Mitochondria가 파괴되어 분산되어 나타나고 있다(Park, 2018).

8. Stress response (Plasma cortisol and plasma glucose) <Table 2>

넙치를 대상으로 한 84일간의 지속적인 기아 시 기아군에서 Cortisol의 변화는 없으나 Glucose는 감소 됨을 보이고 있다(Park et al., 2012, 2017). 미꾸리를 대상으로 한 28일간의 지속적인 기아 후 NaNO₂에 노출 시 기아군에서는 Cortisol과 Glucose가 증가하였다(Hur et al., 2018a). 메기를 대상으로 한 210일간의 지속적인 기아 시 기아군은 Cortisol과 Glucose가 감소 됨을 보이고 있다(Park and Gil, 2018).

III. 결론

한국에서 1955년에서 2021년까지, 26년에 걸쳐 11종의 해산어류와 4종의 담수어류를 대상으로 수행된 지속적인 기아 실험을 개관한 결과는 아래와 같다. 성어에 있어서 기아에 견딜 수 있는 기간은 해산어인 넙치(*Paralichthys olivaceus*)와 돌돔(*Oplegnathus fasciatus*)에서 32~84일로 나타나고, 담수어인 벵게치(*Rhynchocypris oxycephalus*), 미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*), 미꾸라지(*M. mizolepis*) 및 메기(*Silurus asotus*)에서는 28일~210일로 나타났다. 어류에서의 기아는 기아 어류의 조직 감소, 생화학적 구성의 감소 및 영양학적 조건들에서 감소를 보이고 있다. 부화 자어의 기

아는 어류 종묘 생산 시 초기 먹이공급이 이루어지지 않아 폐사에 이르는 한계점인 PNR (Point of No Return)을 파악할 수 있어, 어류 종묘 부화 후 정확한 먹이공급의 최초 시기를 결정할 수 있다는 관점에서 그 의의가 크다고 할 수 있다. 본 개관에서의 어류 기아 기준의 Parameter로서의 영양상태(조직학적 변화, 생화학적 변화 및 영양상태 조건) 자어 기아, 외부계측형질, 절편 계측형질 특성, 생리학적 변화, 신장 melano-macrophage, 간세포 미세구조 및 Stress 반응 조사는 유용한 기아 파악을 위한 Parameter들이 될 수 있을 것이다. 앞으로, 본 연구와 더불어 더욱 다양한 기아 Parameter가 더욱 다양한 어류를 대상으로 어류 기아시 적용되어 그 효과들에 대한 결과 도출이 기대된다.

References

- Bagarinao T(1986). Yolk resorption, onset of feeding and survival potential of larvae of three tropical marine fish species reared in the hatchery. *Mar. Biol.*, 91, 449-459.
<http://dx.doi.org/10.1007/BF00392595>
- Goo IB, Kim YS and Park IS(2020). Effect of starvation on tissues in Far Eastern catfish (*Silurus asotus*). *Korean J. Environ. Biol.*, 38(2), 315-322.
<https://doi.org/10.11626/KJEB.2020.38.2.315>
- Han KN(1998). Effect of starvation on growth, survival and feeding incidence of tiger puffer (*Takifugu rubripes*) larvae. *J. Aquacult.*, 11, 521-528.
- Hur JW, Gil HW and Park IS(2018a). The effects of starvation on physiological changes and stress response in cultured cobitid loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) exposed to sodium nitrite. *JMLS.*, 3(2), 87-95.
<https://doi.org/10.17820/eri.2018.5.4.264>
- Hur JW, Gil HW and Park IS(2018b). Changes of morphometric traits in the cultured cyprinid loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) to starvation. *Eco. Resil. Infra.*, 5(4), 264-275.
- Hur JW, Jo JH and Park IS(2006). Effects of long-term starvation on hepatocyte ultrastructure of olive flounder *Paralichthys olivaceus*. *Ichthyol. Res.*, 53, 306-310.
<https://doi.org/10.1007/s10228-006-0348-0>
- Kim BS, Park IS and Kim HS(2012). Effect of starvation on growth and hepatocyte nuclear size of larval haddock, *Melanogrammus aeglefinus*. *Dev. Reprod.*, 16(2), 107-112.
- Lee CK, Park IS and Hur SB(1998). Influence of starvation on the variations of hepatocyte nucleus in larvae of red spotted grouper, *Epinephelus akaara*. *J. Aquacult.*, 11, 11-17.
- Lee KK, Kim YH and Park IS(1999). Effect of starvation on some nutritional parameters in *Rhynchocypris oxycephalus*. 1. Characteristics of the histological and biochemical changes. *Kor. J. Ichthyol.* 11(1), 33-41.
- Love RM(1970). Depletion. In: *The Chemical Biology of Fishes with a Key to the Chemical Literature*. Academic Press. London., 222-257.
- Mustafa S and Mittal A(1982). Protein, RNA and DNA levels in liver and brain of starved catfish, *Clarias batrachus*. *J. Ichthyol.*, 28(4), 396-400.
- Myoung JG, Kim HS, Kim PK and Kim YU(1992). Morphological changes during starvation of larvae of left eye flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Kor. J. Ichthyol.*, 4(1), 20-28.
- Myoung JG, Kim JM and Kim YU(1990). Morphological changes during starvation of larvae of red sea bream, *Pagrus major*. *Kor. J. Ichthyol.*, 2(2), 138-148.
- Myoung JG, Park CW, Kim MS, Kim JM, Kang CB and Kim YU(1997). Morphological changes during starvation in early developmental stages of spotted sea bass, *Lateorabrax* sp. 1. Post - larval stage. *Kor. J. Ichthyol.*, 9(1), 15-21.
- Park IS and Gill HW(2018). The effect of sodium nitrite exposure on physiological response of starved Far Eastern catfish, *Silurus asotus*. *Dev. Reprod.*, 22(4), 219-229.
<https://doi.org/10.12717/DR.2018.22.4.319>
- Park IS(2004). Effect of starvation on some parameters in *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry): a review. *Korean J. Environ. Biol.*, 22(3), 351-368.
- Park IS(2006). Histological changes of hepatocyte and

- intestinal epithelium during starvation in olive flounder *Paralichthys olivaceus*. J. Kor. Fish. Soc., 39(3), 303~307.
<https://doi.org/10.5657/kfas.2006.39.3.303>
- Park IS(2017). Effect of starvation on the just hatched grass puffer, *Takifugu niphobles* larvae. JMLS., 2(1), 27~33.
- Park IS(2018). Effect of starvation on the weight and structure in some tissues of cyprinid loach, *Misgurnus anguillicaudatus*. JFMSE., 30(4), 1170~1181.
 10.13000/JFMSE.2018.08.30.4.1170
- Park IS, Choi HJ, Noh CH, Myoung JG, Park HJ and Goo IB(2013). Induced morphological changes in larval rock bream, *Oplegnathus fasciatus*. Dev. Reprod., 17(4), 399~407.
- Park IS, Gil HW, Kim BS, Park KH and Oh SY(2017). Starvation-induced physiological responses and RNA/DNA ratios in rock bream, *Oplegnathus fasciatus*, and olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Dev. Reprod., 21(3), 249~257.
<https://doi.org/10.12717/DR.2017.21.3.249>
- Park IS, Gil HW, Yoo GW and Oh JS(2015). Effects of starvation in rock bream, *Oplegnathus fasciatus* and olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Dev. Reprod., 19(2), 97~103.
<https://doi.org/10.12717/DR.2015.19.2.097>
- Park IS, Goo IB and Gil HW(2021). The effects of starvation on the characteristic of morphometric measurement and body sectioned shape in Far Eastern catfish (*Silurus asotus*). Korean J. Environ. Biol., 39(1), 55~67.
<https://doi.org/10.11626/KJEB.2021.39.1.055>
- Park IS, Hur JW and Choi JW(2012). Hematological responses, survival, and respiratory exchange in the olive flounder, *Paralichthys olivaceus*, during starvation. Asian-Aust. J. Anim. Sci., 25(9), 1276~1284.
<https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12128>
- Park IS, Im JH, Ryu DK, Nam YK and Kim DS(2001). Effect of starvation on morphometric change in *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry). J. Appl. Ichthyol., 17(6), 277~281.
<https://doi.org/10.1046/j.1439-0426.2001.00298.x>
- Park IS, Im JH, Jeong CH, Noh JK, Kim YH and Lee YH(2002). Effect of starvation on some nutritional parameters in *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry). 2. Characteristics of the morphometric changes in the sectioned body. Kor. J. Ichthyol., 14(1), 11~18.
- Park IS, Lee CK, Im JH, Kim JH and Kim SU(1998). Effect of starvation on the growth and hepatocyte nuclear size of larval rockfish *Sebastes schlegelii* and larval spotted sea bass *Lateolabrax* sp. J. Aquacult., 11(3), 345~352.
- Park IS, Woo SR, Kim EM and Cho SH(2006). Effect of feeding and starvation on growth and phenotypic trait in olive flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel). J. Aquacult., 19(3), 183~187.
- Park IS, Woo SR, Song YC and Cho SH(2007). Effects of starvation on morphometric characteristics of olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Ichthyol. Res., 54, 297~302.
<http://dx.doi.org/10.1007/s10228-007-0404-4>
- Park IW, Hong JS, Lee KK, Kim JB, Kang KH and Kim HO(1995a). Histological observation on the seasonal changes of distribution of muscle components in hibernant fish. 2. Distributional changes of carbohydrate, protein and lipid components in the muscle tissues of mudskipper, *Boleophthalmus pectinirostris*. Kor. J. Ichthyol., 7(2), 195~202.
- Park IW, Hong JS, Lee KK, Kim MK, Kim JB and Kang KH(1995b). Histological observation on the seasonal changes of distribution of muscle components in hibernant fish. 1. Distributional changes of carbohydrate, protein and lipid components in the muscle tissues of loach, *Misgurnus mizolepis*. Kor. J. Ichthyol., 7(2), 187~194.
- Seol DW, Hur JW, Kim DS, Nam YK, Bang IC and Park IS(2009). Effect of starvation on kidney melano-macrophage centre in sub-adult rock bream, *Oplegnathus fasciatus*. J. Fish. Sci. Technol., 12(1), 49~53.
- Seong KB, Park IS, Goo IB and Kim DS(2012). Effects of starvation on the morphometric characteristics and histological changes in chum salmon (*Oncorhynchus keta*) fry. Ocean Polar Res., 34(2), 165~173.
<https://doi.org/10.4217/OPR.2012.34.2.165>
- Strüssammn CA and Takashima F(1989). PNR,

- histology and morphology of starved pejerrey, *Odontesthes bonariensis* larvae. Nip. Sui., Gak. 55(2), 237~246.
- Theilacker GH(1978). Effect of starvation on the histological and morphological characteristics of jack mackerel, *Trachurus symmetricus*, larvae. Fish. Bull., 76(2), 403~414.
- Weatherley AH and Gill HS(1987). The Biology of Fish Growth. 4 Protein, Lipid and Caloric Contents. Academic Press. London., 139~146.
- Yin MC and Blaxter JHS(1986). Morphological changes during growth and starvation of larval cod (*Gadus morhua* L.) and flounder (*Platichthys flesus* L.). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 104(1-3), 215~228.
[https://doi.org/10.1016/0022-0981\(86\)90106-1](https://doi.org/10.1016/0022-0981(86)90106-1)
-
- Received : 02 June, 2021
 - Revised : 29 June, 2021
 - Accepted : 29 July, 2021