

넙치의 사료공급과 절식시 성장과 표현형질 특징

박인석*, 우선량¹, 김은미, 조성환
한국해양대학교 해양과학기술대학 해양환경생명과학부,
¹원자력의학원 분자종양학연구소

Effect of Feeding and Starvation on Growth and Phenotypic Trait in Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel)

In-Seok Park*, Seon Rang Woo¹, Eun-Mi Kim and Sung Hwoan Cho
Department of Marine Environment and Bioscience, College of Ocean Science and Technology,
Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea
¹Laboratory of Molecular Oncology, Korea Cancer Center Hospital, Seoul 139-706, Korea

A 12-week experiment was conducted to determine the effect of feeding and starvation on survival, growth and the phenotypic trait in olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Survival and growth of the starved fish group was significantly lower than those of the fed fish group throughout the experiment. Starvation resulted in a retardation in growth, which provided the examples of the reduction in final body weight, growth rate, specific growth rate and condition factor whereas the fed fish group grew well and maintained in good condition. The starved fish group had lower gutted body weight, but similar viscera index and dressing percentage compared to those of the fed fish group. These results suggested that the phenotypic trait used for starvation and feeding in this study appeared to be an useful index of the nutritional status in olive flounder.

Keywords: Feeding, Growth, Olive flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel), Phenotypic trait, Starvation

서 론

일부 어류들은 계절적으로 월동, 산란이동 혹은 먹이 감소로 인한 자연 기아(Starvation) 시기를 거치게 되며 이러한 기아 시기는 짧게는 몇 일에서 몇 개월(혹은 몇 년)에도 이를 수 있다(Love, 1970). 그러나 기아시의 어류는 생화학적 방법, 생리학적 방법 그리고 행동학적 방법으로 기아를 극복하고 견딜 수 있으며 체내 조직내 축적된 에너지를 소모하게 된다(Weatherley and Gill, 1987; 박, 2004; 박, 2006).

어류 기아시 어체에 축적된 에너지의 사용은 성장감소로 직결되어, 무지개송어, *Oncorhynchus mykiss* 기아 실험시 체중과 조직 중량 조사 그리고 비만도 조사와 아울러 심장, 비장, 간, 장, 피부, 복강, 지방 및 내장피 제거 체중이 분석된 바 있으며(Weatherley and Gill, 1981), 넙치에 있어 기아시 신장 melano macrophage centre의 조직학적 변화에 대해서도 조사된 바 있다(Hur et al., 2006). 횡단 절단면에서의 여러 형질은 내장이 제거되지 않은 상태의 개체는 물론 내장이 제거된 상태, 횡단 절단된

조각(Steak), 훈제된 상태로의 개체가 상품화시 소비 취향에 맞는 횡단 절단면에서의 크기와 형태는 판매시의 상품가치를 좌우한다는 견지에서 중요한 요소가 될 수 있다(Gjerde, 1989; Gjerde and Schaeffer, 1989; 박 등, 2002).

본 연구는 현재 우리나라 양식 산업의 우위를 점하고 있는 넙치에서 그 상품성을 좌우할 수 있는 급이(Feeding) 및 절식에 대한 연구가 아직까지 전무함을 고려하여 넙치를 대상으로 12주간에 걸쳐 급이 및 절식 실험을 실시하였다. 실험 기간 동안의 실험 대상 어류인 넙치의 생존율과 성장을 조사하였으며 급이 및 절식이 표현형질에 미치는 영향을 조사하여 우리나라 넙치 양식 산업에서 직면하는 여름철 냉수대 및 적조 현상에 따른 대비책으로 장·단기적인 기아와 넙치 상품 가치를 판단할 수 있는 방법으로서의 넙치 기아 평가 기준을 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

실험어

본 실험에 사용된 넙치, *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel)는 2004년 4월에 넙치 종묘생산 양식장에서 생산된 개

*Corresponding author: ispark@hhu.ac.kr

체들이었다. 2004년 8월에 한국해양대학교 수산육종학연구실 인해양식장으로 이들 넙치를 운반하여 순화 시킨 후 사육하였다. 포식 및 기아 실험은 2004년 10월에 시작하였으며, 본 실험 시작시 넙치의 평균 체장과 체중은 22.9 ± 0.88 cm, 100.7 ± 11.67 g 이었다. 평균 체장과 평균 체중을 digital vernier caliper (CD-20CP, Japan)와 전자저울(JW-1, Korea)을 사용하여, 0.01 cm 단위, 0.01 g 단위로 각각 측정하였다.

실험군(포식군, 기아군) 설정 및 사육관리

반순환여과식의 각 1.1톤 용량의 FRP 원형수조($F 118 \text{ cm}^2 \times H 100 \text{ cm}$)에 넙치 45마리씩을 수용하여 급이군(Fed group)과 절식군(Starved group)을 각각 2반복으로 설정하였다. 본 실험 시작 2주 전부터 포식량의 70% 만을 매일 먹이 공급하였다. 실험 시작시 개체들을 각각 20마리를 표본하였다. 일주일에 한 번씩 전체 사육수의 2/3에 해당하는 사육수를 자연 해수로 환수하였다. 본 실험 기간중의 T-N은 1.9~4.1 mg/L, NH_4^+-N 은 0.9~1.1 mg/L, TKN은 1.0~1.2 mg/L, $\text{NO}_3^- -\text{N}$ 은 0.9~2.9 mg/L, T-P는 0.02~0.78 mg/L, $\text{PO}_4^{3-} -\text{P}$ 는 0.004~0.351 mg/L, COD는 2.0~11.1 mg/L의 범위를 보였으며, 수온은 19.4~22.4°C, 염분은 34.0~37.0‰, 용존 산소는 5.7~8.0 ppm, pH는 6.5~7.8의 범위를 보였다.

급이군에 공급한 사료는 상업용 시판사료(이화유지, 한국: 조단백질 함량 50%; 조지질 함량 8%)를 공급하였다. 포식군은 매일 3회씩(9:00, 15:00 및 21:00) 반복시까지 사료를 공급하여 주었으며, 급이군의 먹이 공급 후 2시간 이내에 사육 수조 바닥에 가라앉은 넙치 배설물은 사이펀을 사용하여 제거하였다. 절식군은 절식시켰으며, 본 실험의 종료는 실험 시작후 절식군에서 절식으로 인하여 넙치의 활력이 급격히 저하되는 시기로 정하였다.

생존율 및 성장 조사

실험 기간 중의 생존율은 매일 죽은 개체를 파악하여 이로부터 누적 생존율로 역산하였다. 실험 시작시와 실험 종료시에 박등(1988)의 방법에 따라 22°C 수온 조건의 300 ppm 염산리도 카인/1,000 ppm NaHCO_3 로 과도하게 마취시켜 표본된 개체들을 죽였다. 표본된 급이군과 절식군의 각 20마리의 넙치를 대상으로 성장 항목을 파악하였으며, 각 개체를 대상으로 전장과 체중을 digital vernier caliper 와 전자저울을 사용하여 0.01 cm 단위, 0.01 g 단위로 각각 측정하였다.

측정된 자료로부터 전장성장률(Growth rate for total length: GRL), 체중증가율(Growth rate for body weight: GRW), 일일성장률(Specific growth rate) 및 비만도(Condition factor)를 계산하였으며, 아울러 급이군을 대상으로 사료섭식량(Feed intake), 일일사료섭식률(Specific feeding rate) 및 사료전환효율(Feed conversion rate)을 계산하였다.

표현형질 조사

실험 시작후 12주에 급이군과 절식군에서 표본된 각 20마리

의 넙치를 대상으로 표현형질 조사 항목을 파악하였다. 조사된 표현형질 항목은 체장(Body length), 체중에 해당하는 내장포 포함 체중(Ungutted body weight), 비만도(Condition factor), 내장포 제거 체중(Gutted body weight), 내장포 무게(Viscera weight), 내장포지수(Viscera index) 및 dressing 비(Dressing percentage) 이었다. 표현형질 조사 항목들 중 체장과 길이 이외의 무게 관련 항목은 전자저울을 사용하여 0.01 g 단위까지 측정하였다. 내장포 포함 체중과 해부후 간, 복강지방 및 내장을 제거한 내장포 제거 체중을 측정하였으며 내장포 무게 또한 측정하였다. 내장포지수는 $\text{내장포지수} = (\text{내장포 무게} / \text{내장포 제거 체중}) \times 100$ 으로, dressing 비는 $\text{dressing 비} = (\text{내장포 제거 체중} / \text{체중}) \times 100$ 으로 계산하였다.

본 실험 종료후에 급이군과 절식군으로부터 대표적인 개체를 선별하여 유안측(Eyed side)의 가식부를 절개 분리한 후, 그 외형을 copy stand (Nikon Colpax 4500, Japan)를 사용하여 사진 촬영하였다. 또한 급이군과 절식군으로부터 대표적인 개체를 선별하여 복강을 해부하여 노출시킨 후, 그 외형을 copy stand를 사용하여 사진 촬영하였다.

통계처리

모든 실험은 2반복으로 실시하였으며, 실험에서 얻어진 자료값은 SPSS-통계 패키지(SPSS 9.0, SPSS Inc., USA)를 이용하여 절식군과 급이군 간의 평균값의 유의성을 t-test를 이용하여 검정하였다.

결 과

본 실험 시작 후 12주에 절식군의 활력이 급격히 저하되어 본 실험을 종료하였다. 절식 실험 12주 동안의 급이군과 절식군의 생존율은 Fig. 1과 같다. 급이군의 경우 실험 후 2주~4주 사이에 93.8%로 생존율이 떨어지는 경향은 있었으나 이러한 생존율

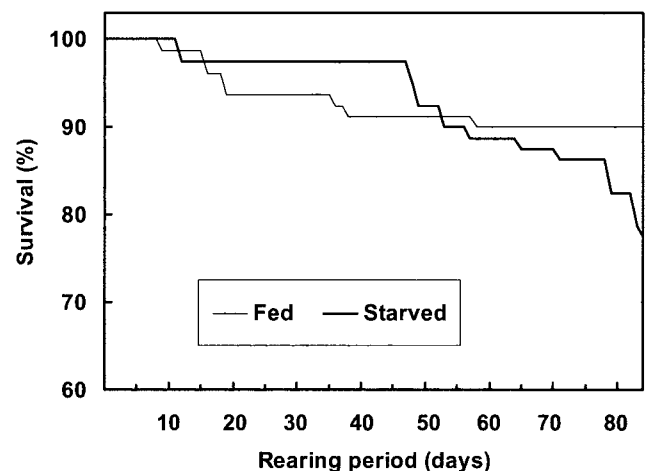


Fig. 1. Mean survival of olive flounder, *P. olivaceus*, fed and starved for 12-week.

Table 1. Performance of olive flounder, *P. olivaceus* fed and starved for 12 weeks

	Fed group	Starved group	p-value
TL (cm)	31.2±1.94	21.1±1.70	****
BW (g)	312.2±62.49	56.4±16.64	****
GRL (%)	11.0±4.30	-3.9±4.11	*
GRW (%)	46.9±21.56	-19.5±15.56	**
Specific growth rate (%)	2.5±0.90	-0.4±0.47	***
Condition factor	1.0±0.01	0.6±0.01	****
Feed intake	2.3±0.22	-	-
Specific feeding rate (%)	33.3±10.01	-	-
Feed conversion rate (%)	8.4±3.70	-	-

*The values are means±SD of duplicated groups. Total length and body weight of the initial fish were 22.9±0.88 cm, 100.7±11.67 g, respectively. P-value; *P<0.05, **0.001<P<0.01, ***P<0.001. TL: total length, BW: body weight, GRL (growth rate for total length) (%): (final mean total length-initial mean total length) × 100/initial mean total length, GRW (growth rate for body weight) (%): (final mean body weight-initial mean body weight) × 100/initial mean body weight, Specific growth rate (%): (final mean body weight-initial mean body weight)/rearing day, Condition factor: body weight × 100/(total length)³, Feed intake: dry feed intake/(rearing day × number of fish), Specific feeding rate (%): dry feed intake × 100/((initial total weight+final total weight+death total weight)/2), Feed conversion rate (%): specific growth rate × 100/specific feeding rate.

은 실험 종료시까지 거의 변화가 없어, 본 실험 종료시인 12주에서는 90.0%의 생존율을 보였다. 반면 절식군의 경우 실험 후 6주까지는 97.5%의 생존율을 유지하였으나 이후 본 실험 종료시인 12주까지 점진적인 감소를 보여, 실험 후 12주에서는 77.5%의 생존율을 보였다.

급이군과 절식군을 대상으로 12주간의 성장 관련 항목 조사 결과는 Table 1과 같다. 급이군의 실험 종료시 평균 전장은 31.2 cm로 실험 시작시의 평균 전장 22.9 cm에 비해 1.36배의 크기 증가를 보였으며, 절식군의 실험 종료시 평균 전장은 21.1 cm로 급이군은 절식군에 비해 1.47배 컸는 반면, 절식군의 평균 전장은 실험 시작시의 평균 전장에 비하여 다소 낮게 나타났다 (P<0.001). 급이군의 실험 종료시 평균 체중은 312.2 g으로 실험 시작시의 평균 체중 100.7 g에 비해 3.1배의 체중 증가를 보인 반면, 절식군의 실험 종료시 평균 체중은 56.4 g으로 실험 시작시의 평균 체중에 비해 1.8배의 낮은 체중 감소를 보였다. 급이군은 절식군에 비하여 5.5배의 평균 체중 증가를 보였다(P<0.001). 절식군의 절식에 따른 전장 감소 7.9% (-3.9%의 전장 감소율)에 비해 체중 감소는 44.0% (-19.5%의 체중 감소율)로 절식시 전장 감소에 비해 체중 감소가 현저함을 알 수 있었다.

급이에 따른 급이군의 전장성장률은 11.0%, 체중성장률은 46.9%로 절식시 감소 경향과 마찬가지로 체중에서의 증가가 전장에서의 증가보다 크게 나타났다. 급이군은 절식군에 비해 높은 전장성장률과 체중증가율을 보였다(P<0.05). 절식군의 체중 증가율에서의 감소는 일일성장률 감소로 연관되어 나타나 절식군의 일일성장률은 -0.4%로 나타났다. 반면 급이군의 일일성장률은 2.5%로 절식군에 비해 크게 나타났다(0.001<P<0.01). 급이군의 비만도는 1.0으로서 절식군의 비만도 0.6에 비해 유의하게 컸다(P<0.001). 급이군의 사료섭식량, 일일사료섭식률 및 사료전환효율은 각각 2.3%, 33.3% 및 8.4%로 나타났다.

절식 실험 시작시 그리고 실험 종료시인 실험 후 12주의 급

Table 2. Phenotypic traits of olive flounder, *P. olivaceus* initial, fed and starved for 12 weeks

Trait	Fed group	Starved group	p-value
GW ¹ (g)	297.1±51.84	52.9±15.27	**
VW ² (g)	17.1±3.81	3.7±2.74	**
VI ³ (%)	5.8±1.16	7.8±6.48	*
DP ⁴ (%)	94.5±1.04	93.0±5.21	*

*The values are means±SD of duplicated groups. P-value; *P<0.05, **P<0.001. Means in rows with a same superscript letter are not significantly different (P>0.05). Initial GW, VW, VI and DP of fish were 98.2±16.05 g, 9.5±1.52 g, 9.8±2.10% and 91.1±1.75%, respectively.

¹GW: gutted body weight.

²VW: viscera weight.

³VI: viscera index=(viscera weight/gutted body weight)×100.

⁴DP: dressing percentage=(gutted body weight/ungutted body weight) × 100.

이군과 절식군의 표현형질 측정 결과는 Table 2와 같다. 12주간 절식시의 체중 감소결과와 마찬가지로, 12주간의 절식은 내장피 제거 체중에서도 감소를 보여 절식군은 실험 시작시에 비해 0.57배의 내장피제거 체중 감소를 보였으며, 급이군은 절식군에 비하여 5.62배의 내장피제거 체중 증가를 보이고 있다(P<0.001).

내장피 무게에서 급이군은 실험 시작시 보다 증가하였고 (P<0.001) 절식군은 실험 시작시 보다 감소하였다(절식군에 대비한 급이군의 내장피 무게는 5.62배). 내장피지수에서는 급이군과 절식군이 유사하였으며(P<0.05), dressing 비에서는 시험 시작시를 비롯하여 급이군과 절식군에서 유의적인 차이를 보이지 않았다(P<0.05).

이와같은 급이군과 절식군에서의 표현형질 특성은 Fig. 2와 같은 유안측 가식부 형태에서도 그 경향이 잘 반영되어, 절식군에 비해 급이군은 상대적으로 넓은 가식부를 나타내었으며 특히 급이군은 절식군에 비해 등지느러미와 측선 사이의 육질부가 두 겹게 나타났다.

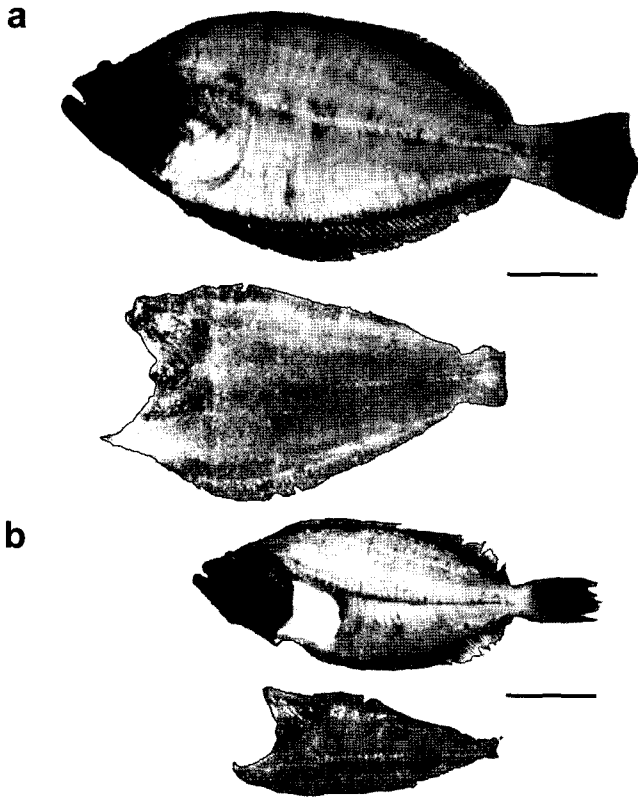


Fig. 2. Typical external morphology of dressed body of olive flounder, *P. olivaceus* (a) fed and (b) starved for 12 weeks. Bars are 4 cm.

고찰

어류 기아 진행시 어체의 기본 신진 대사를 유지시키는데 필요한 에너지는 체내 저장 에너지가 주로 이용되는 까닭에, 어류 기아에 관한 연구는 야생 어류 및 양식 어류의 영양 상태 및 그들의 성장 이해에 도움이 된다(Weatherley and Gill, 1987; 이 등, 1998; 박 등, 1998; Park et al., 2001).

넙치, *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel)에서 굵이와 절식 실험을 12주 동안 실시한 결과, 굵이군은 실험 종료시인 실험 후 12주에도 90.0%의 생존율을 유지한 반면 절식군은 실험 종료시인 실험 후 12주에 굵이군 대비 86.1%의 생존에 해당하는 77.5%의 생존율을 보였다. 본 실험에서의 절식은 12주이었지만 어류에서의 기아는 수 달 혹은 수 년에 걸쳐 자연 상태에서 일어날 수 있으며, 이때 어류는 축적 에너지의 소모로 생존을 유지하여(Love, 1970), 성장감소를 동반한다(Weatherley and Gill, 1987).

넙치에서 굵이와 절식을 12주 동안 실험한 결과, 굵이군은 최초 실험시에 비해 전장에서는 136.2%, 체중에서는 310.0%의 증가를 보인 반면, 절식군은 최초 실험시에 비해 전장에서는 92.1%, 체중에서는 56.0%의 감소를 보이고 있다. 이와같이 기아에 따른 체중 감소는 Weatherley and Gill (1981)이 무지개송어, *Salmo gairdneri*를 대상으로 3주와 13주 기아시 각각 14.5%와

32.5%의 체중 감소를 보인 바 있다. 12주에 걸친 넙치 절식시 절식군의 전장성장률은 -3.9%인데 반해 체중 성장은 낮아 체중 성장률은 -19.5%와 일일성장률은 -0.4%를 보이고 있다. 비만도인 경우 무지개송어의 13주 기아시 주된 감소 항목으로서 본 실험에서는 절식군은 굵이군에 비해 6%에만 해당하는 비만도를 보이고 있다.

실험 기간 12주 동안 굵이와 절식에 따라 굵이군에서는 전장과 내장피 포함 체중 즉, 체중의 증가를 보였으며 절식군은 실험 시작시 대조군보다 전장과 체중에서 감소를 보였다. 절식시 굵이군과 절식군에서의 전장, 체중 및 비만도 결과를 고려시 기아는 전장에서의 변화보다는 체중에서의 큰 변화 즉, 체중 감소를 나타내었다. 무지개송어에서 당년생인 경우 4주 기아시 기아군에서는 전장과 체중의 감소가 일어난 반면, 무지개송어 1년생인 경우 6주 기아시 본 연구 결과와 마찬가지로 기아군에서는 체중의 변화보다는 체중의 감소를 보이고 있다(Sumpter et al., 1991).

본 실험 절식군에서의 비만도 감소는 기아시 나타나는 현저한 특징으로서, 무지개송어에서 13주 기아시 기아군은 포식군에 비해 32.5%의 체중 감소를 보인 바 있으며 무지개송어 당년생과 1년생인 경우 각각 4주와 6주 기아시 기아군이 포식군에 비해 낮은 비만도를 보여주고 있다(Weatherley and Gill, 1981; Sumpter et al., 1991). 이러한 비만도 감소는 기아시 나타나는 현저한 특징으로서, 버들치, *Rhynchocypris oxycephalus*를 대상으로 9주간의 기아시 포식군은 기아군에 비해 1.37배의 높은 비만도를 보인 바 있다(박 등, 2002; 박, 2004).

절식군에 비교시 굵이군은 체중, 내장피 제거 체중 및 내장피 무게에서 월등히 높은 수치를 보임에도 불구하고, 절식군과 유사한 내장피지수를 보인 것은 절식군에서 절식에 따라 1차적인 근육 축적 에너지 소모에 따른 상대적으로 높은 내장피지수에 기인된 것으로 사료된다. 절식군에서의 이러한 근육 축적 에너지 소모는 체중에서의 감소로 직결되고 있다.

어류에서의 기아시 내생적인(Endogenous) 다양한 체 조직 에너지는 다양한 소모로 가동되며, 유사한 영양에너지 조차도 다양한 조직에서 다양한 가동물로 소모될 수 있다(Weatherley and Gill, 1987). 본 실험과 유사한 경향은 9주간의 버들치 기아 실험에서도 나타났는데 9주간의 버들치 기아시 복강 내장피의 현저한 감소 경향은 Dressing 비에 영향을 끼쳐, Dressing 비는 앞서의 여러 형질들에서의 결과와 상반되게 포식군과 기아군이 유사하게 나타나 포식군은 78.8, 기아군은 81.5 이었다(박 등, 2002).

본 연구 결과, 넙치에서 12주간에 걸친 굵이와 절식시 절식군은 굵이군에 비해 낮은 비만도를 보였으며 낮은 일일성장률을 보였다. 이러한 굵이와 절식에 따른 성장 효과는 dressing 비에서도 나타나 dressing 비는 굵이군이 높은 반면 내장피지수는 절식군이 더욱 높았다. 본 연구 결과, 넙치를 대상으로한 12주간의 절식시 파악된 성장 관련 항목과 표현형질 특징은 본 종에서의 먹이공급 없는 축양시나 본 종의 양식시 불가피하게 기아

가 필요한 시기에서의 영양상태 확인의 지표로 유용할 것이며, 자연 상태에서의 넙치 표본시 표본 서식지의 환경 및 표본된 넙치의 성장 상태 평가에 유용하리라 사료된다.

요 약

넙치, *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel)에서 굵이와 절식이 생존과 성장 및 표현형질에 미치는 영향을 파악하기 위해 12주에 걸친 굵이와 절식 실험을 수행하였다. 실험 기간중 절식군의 생존율은 굵이군에 비해 낮았다. 기아는 비만도, 일일성장률, 체중 성장률 및 실험 종료시 체중에서의 감소를 보이는 성장 저해를 나타낸 반면, 굵이군은 지속적이고 양호한 성장을 보였다. 절식군은 굵이군에 비하여 유사한 dressing 비와 내장피지수를 보였으며, 낮은 내장피제거 체중을 보였다($P<0.05$). 본 연구 결과, 굵이와 절식 파악에 사용된 표현형질은 본 종의 영양 상태 확인의 지표로 유용하며, 넙치 표본시의 성장 시기 평가 결정에 유용하리라 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국해양대학교 해양과학기술대학 중점연구과제(KRF-2006-005-J00501)에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다. 또한, 본 논문을 세밀하게 지적, 수정하여 논문의 수준을 향상시켜 주신 익명의 심사자들에게도 감사드립니다.

참고문헌

Gjerde, B., 1989. Body traits in rainbow trout: Phenotypic means and standard deviation and sex effects. *Aquaculture*, 80, 7-24.
 Gjerde, B. and L. R. Schaeffer, 1989. Body traits in rainbow trout. II. estimates of heritabilities and of phenotypic and genetic correlations. *Aquaculture*, 80, 25-44.
 Hur, J. W., S. R. Woo, J. H. Jo and I. S. Park, 2006. Effects of starvation on kidney melano-macrophage centre in olive flounder,

Paralichthys olivaceus (Temminck and Schlegel). *Aquacult. Res.*, 37, 821-825.
 Love, R. M., 1970. Depletion. in *The Chemical Biology of Fishes with a Key to the Chemical Literature*, Academic Press, London, pp. 222-257.
 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.
 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.
 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.
 박인석, 2004. 버들치, *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry) 기아시 일부 형질에서의 효과: 개관. *환경생물*, 22, 351-368.
 박인석, 2006. 넙치 *Paralichthys olivaceus* 기아시 간세포 및 상피세포의 조직학적 변화. *한국수산학회지*, 39, 303-307.
 박인석, 김종만, 김연환, 김동수, 1988. 해산어류에 대한 리도카인의 마취효과. *한국어병학회지*, 1, 123-130.
 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, 김윤해, 이용호, 2002. 기아시 버들치 *Rhynchocypris oxycephalus* (Sauvage and Dabry)의 일부 영양 조건에서의 효과. 2. 체 절단면 계측형질의 변화. *한국어류학회지*, 14, 11-18.
 이창규, 박인석, 허성범, 1998. 기아시 붉바리 자어의 간세포 핵 변화. *한국양식학회지*, 11, 11-17.

원고접수 : 2006년 7월 24일
 수정본 수리 : 2006년 7월 31일