

넙치 *Paralichthys olivaceus* 치어의 성장과 생존에 미치는 반복적 절식의 영향

김효찬 · 강덕영^{1*} · 장영진

부경대학교 양식학과, ¹국립수산과학원 서해수산연구소

Effects of Repeated Food Deprivation on Growth and Survival of the Juvenile Olive Flounder *Paralichthys olivaceus*

Hyo-Chan KIM, Duk-Young KANG^{1*} and Young Jin CHANG

Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

¹West Sea Fisheries Research Institute, Jung-gu, Incheon 400-420, Korea

To investigate the effect of repeated food deprivation and refeeding on the hyperphagia, compensatory growth, feed efficiency, body composition, hepatosomatic index (HSI), and survival rate of the juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus*, an experiment was conducted for 90 days. Feeding treatments consisted of the following five regimes for 90 days from August to October, 2005: C: daily satiation feeding (control), S1: 1-day satiation feeding after 1-day food deprivation, S2: 1-day satiation feeding after 2-day food deprivation, S3: 1-day satiation feeding after 3-day food deprivation and S4: 1-day satiation feeding after 4-day food deprivation, respectively. Although the monthly feed intake (MFI) of the control was significantly higher than that of all of the starved groups, the daily feed intake (DFI) was more higher in S1, S2, and S3 than that in the control as a result of hyperphagia after starvation. While the feed efficiency in the summer (to day 30) decreased in all of the starved groups with prolongation of the starvation period, the feed efficiency in the autumn (to day 90) was increased with prolongation of the starvation period. The whole body proximate composition and HSI were also affected by starvation. The crude protein, lipid, and HSI decreased with prolongation of the starvation period, whereas the crude ash and moisture increased. The growth rate and condition factor also decreased in proportion to the starvation period. The survival rate was highest in the control and was the lowest in S4. In this study, although hyperphagia occurred in the deprived groups, we knew that the compensatory growth did not always occur.

Key words: Olive flounder, *Paralichthys olivaceus*, Food deprivation, Refeeding, Growth, Hyperphagia

서론

국내에서는 효율적인 넙치의 양성과 관리를 위한 사료공급 방법에 관한 연구가 이미 진행되어 왔다 (Lee et al., 2000; Cho et al., 2005; Kim et al., 2005; Seo et al., 2005). 이러한 노력은 직접적으로는 사료허실 방지에 따른 경제적 이득뿐만 아니라, 주변 사육환경의 청정성을 통한 어체의 건강도 유지 및 질병 발생 감소로 이어질 것으로 사료되며, 그리고 부가적으로 질병 발생시 소비되는 각종 약품 비용의 감소로 이어져 생산비 절감 효과로 나타날 수 있다. 또한 이 효과는 친환경 양식 수산물이라는 이미지를 부각시켜 소비자들의 구매 수요를 촉진시킬 뿐 아니라, 국산 양식 넙치의 품질 우수성을 통해 판매 시장에서 가격 경쟁과 구매에 있어 우위를 보일 것으로 예상해 볼 수 있다. 그러나 아직까지 국내에서는 어류의 사육 조건에 맞춰 환경별, 크기별, 계절별 먹이공급·관리 정보가 확립되어 있지 않아 경제적이거나 환경친화적인 먹이공급·관리

기술은 개발이 되어 있지 않은 상태이다. 넙치의 경우, 일간 먹이공급횟수 또는 사료조성이 넙치의 성장과 체조성에 미치는 영향에 관한 몇몇 연구 (Lee et al., 2000; Seo et al., 2005)가 보고되어 있을 뿐이다. 한편 최근에 높은 사료비용 부담 등으로 인하여 양식 어류의 성장 증진 및 사료효율 개선법 개발에 대한 지속적인 관심을 보이고 있다. 여러 가지 방법들을 이용하여 사료효율 개선을 위한 방안을 제시할 수 있지만, 일부 접근법들은 종종 성장 잠재력을 최대화 시키지 못한다. 그러므로 양성 중에 어류의 최적 성장과 생존을 보장해 주면서 종별 특성에 맞는 우량 품질의 사료 개발과 사료 공급 시 허실을 최소화하면서 사료계수는 최적화시킬 수 있는 표준화된 사료공급 매뉴얼이 필요하다. 여기에는 현재 농축영양 (nutrient-dense) 사료에 의한 식이 조절법 (Hardy, 1999; Lee et al., 2000; Seo et al., 2005)과 제한급식 또는 절식에 의한 보상성장 (compensatory growth) 유도기법이 있다 (Weatherly and Gill, 1981; Hayward et al., 1997; Nicieza and Metcalfe, 1997; Melard et al., 1998; Cho and Lee, 2002). 그 중 보상성장이

*Corresponding author: dykang@hotmail.com

란 성장이나 신진대사에 필요한 영양원 공급이 일정 기간 차단된 생물이 다시 충분한 양의 영양원을 공급받게 되면 단시간에 성장이 정상 또는 고속으로 나타나는 현상을 말한다. 연어 양식 산업에서 이용되는 영양농축사료 개발에 의한 식이 조절법은 고지질, 고단백질 사료 공급으로 인한 빠른 성장률을 야기하고 사료효율을 향상시키지만, 종종 지나친 지질 축적으로 감소된 dress-out yield이 자주 관찰된다 (Gaylord and Gatlin, 2000). 반면, 제한급식 또는 절식기간에 반응하는 보상성장을 유도하여 성장률과 사료효율 개선을 이끌어낼 수도 있다 (Weatherly and Gill, 1981; Hayward et al., 1997; Nicieza and Metcalfe, 1997; Melard et al., 1998). Kim과 Lovell (1995)은 채널메기 (*Ictalurus punctatus*)에서 3주의 절식기간 후 개선된 성장률을 관찰하였다. 채널메기는 3주간의 절식뿐만 아니라 4주간의 절식에서도 성장률 향상을 나타내었다 (Gaylord and Gatlin, 2000). 잡종 sunfish (*Lepomis cyanellus* × *L. macrochirus*) 역시 2일 정도의 짧은 절식기간 후에 성장과 사료효율이 개선되는 것을 보여주었다 (Hayward et al., 1997). 절식 어류가 어떠한 기작에 의해 성장을 또는 사료효율이 현저하게 증가되는지는 밝혀져 있지 않다. 단지 여러 생리학적 대사 변화들이 절식에 반응하여 나타나는 것으로 알려져 있다. 예를 들어, 절식기간 동안 내장중량의 극단적 감소가 포유류뿐만 아니라 어류에서도 보고되었고 (Carstens et al., 1989; Gaylord and Gatlin, 2000) 호르몬의 변화 역시 확인되었지만 (Eales, 1988; Navarro and Gutierrez, 1995; Duan, 1998; MacKenzie et al., 1998), 보상성장 기간 동안의 성장률과 효율 향상에 대한 기작은 단지 추측되고 있을 뿐이다.

따라서 본 연구에서는 넙치 치어를 대상으로 장기간 먹이의 반복적 절식과 재급여 과정을 통해 넙치의 성장과 생존이 어떻게 영향을 받는지 파악해 보고자 하였다. 먹이공급 기간 중 절식기간을 일자별로 달리하여 넙치 치어 양성 시 보상섭식과 보상성장 발현 유무를 확인하고, 또한 실험구별 성장 패턴을 조사하여 넙치 양성단계에서 최적의 사료공급 기준 설정을 위한 기초 자료로 활용하고자 한다.

재료 및 방법

실험어 및 실험구

절식에 따른 어류의 성장과 생존에 미치는 영향을 파악하기 위하여, 일령 60일된 넙치 치어(일령 60일, 전장 8.5 ± 0.2 cm, 체중 4.6 ± 0.3 g)를 이용하여 8-10월에 90일간 실시하였다. 본 사육에 들어가기 전 5일 동안 예비사육을 통해 실험환경에 적응시켰으며, 이후 실험구별 사료공급 체계에 따라 사료를 공급하였다. 실험구는 매일 사료를 공급하는 대조구(C: 0일 절식구), 1일 절식 후 1일 사료공급이 반복되는 S1, 2일간 절식 후 1일 사료 공급하는 S2, 3일간 절식 후 1일 사료 공급하는 S3, 4일간 절식 후 1일간 사료가 반복적으로 공급되는 S4로 하였으며, 각 실험구는 3반복으로 설정되었다. 실험 수조는 100 L 사각 FRP 수조(해수용량 80 L)를 이용하였다.

사육관리 및 환경

실험기간 동안 매일 사육환경(수온, 염분, DO, pH)과 사료 공급량을 측정하였고 사육수 관리는 자연 수온 조건($26.4 - 16.5^\circ\text{C}$)에서 유수식으로 이루어졌다. 이때 환수량은 하루 36 회전되게 하였고 포기는 충분히 해줬다. 염분과 pH는 수질측정기(YSI 63, USA)를, DO는 용존산소측정기(YSI 58, USA)를 사용하여 측정하였으며, 그 결과 염분 28.4 ± 0.7 psu, DO 6.5 ± 0.3 mg/L 및 pH 7.5 ± 0.5 로 나타났다 (Fig. 1).

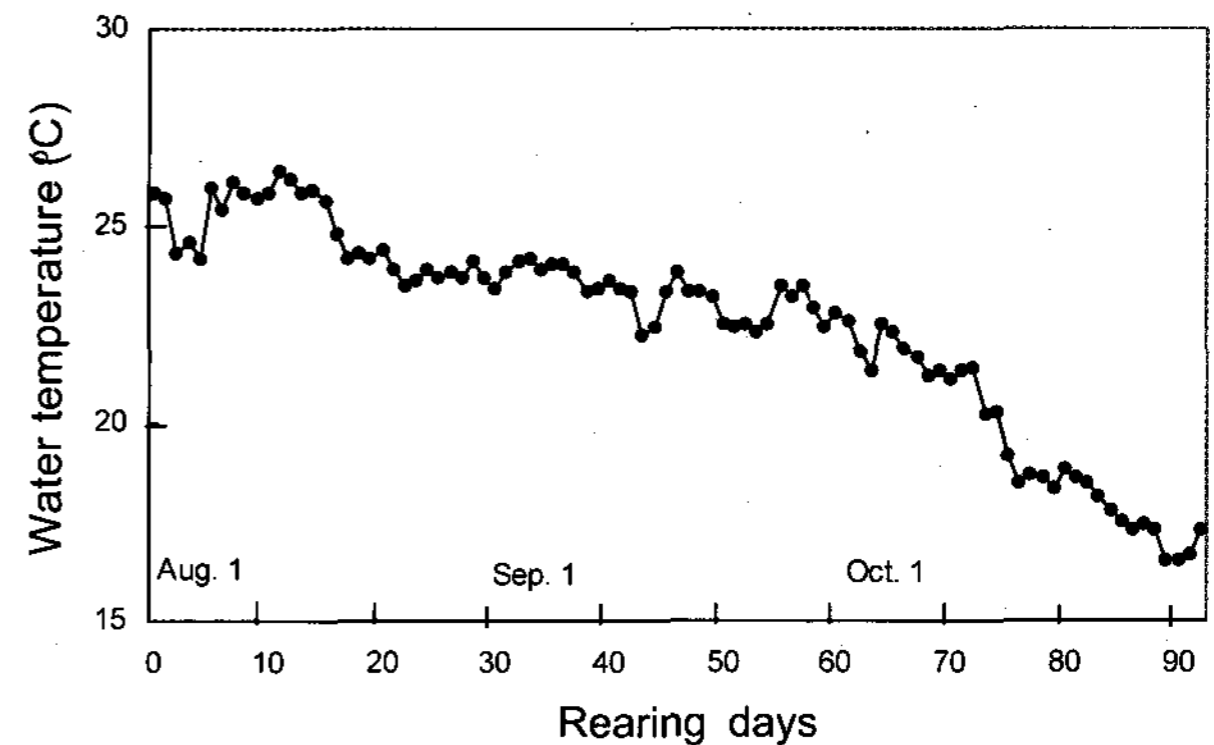


Fig. 1. Fluctuation of water temperature during experimental period.

사료공급과 성장도 측정

실험에 사용한 넙치 사료는 시판용 침강사료(SCL, Korea)로서 (Table 1), Lee et al. (2000)과 Kim et al. (2005)의 넙치 치어의 배합사료 적정공급횟수를 기준으로 1일 2회, 오전 10시와 오후 4시에 반복상태로 공급하였다. 기록된 사료 공급량을 바탕으로 아래의 공식에 의해 개체당 일간사료섭식량(daily feed intake: DFI), 개체당 월간사료섭식량(monthly feed intake: MFI) 및 사료효율(feed efficiency: FE)을 구하였다.

Table 1. Proximate composition (% dry weight) of the experiment diet

Component	Composition
Protein	50.0 - 54.0
Lipid	8.0 - 10.0
Ash	12.0 - 16.0
Moisture	10.0 - 12.3

$$\text{DFI (mg/fish/day)} =$$

$$\text{일간사료섭식량} / (\text{수용마리수} \times \text{사료공급일수})$$

$$\text{MFI (mg/fish/month)} = \text{월간사료섭식량} / \text{수용마리수}$$

$$\text{FE (\%)} = \text{어체의 습중량 증가분} \times 100 / \text{건식사료 공급량}$$

실험어의 전장 측정은 실험개시 시부터 30일 주기로 어체 측정판을 이용하여 1 mm 단위까지 계측하였고, 체중은 전자저울을 사용하여 0.01 g까지 측정하였다. 개체들의 비만도(condition factor: CF) 및 간중량지수(hepatosomatic index: HSI)는 다음의 식으로 구하였다.

$$CF = (\text{체중} / \text{전장}^3) \times 100$$

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

실험기간 중 생존율은 폐사개체를 계수하여 산정하였으며, 이를 기초로 실험구별 월간 생존율을 구하였다.

체성분 분석

실험종료시 절식구별로 어체의 성분 분석을 위해 AOAC (1990)의 방법에 따라 수분은 상압가열건조법 (105°C, 6시간), 조단백은 Kjeldahl 질소정량법, 조지방은 Soxhlet 추출법, 조회분은 직접회화법으로 함량을 측정하였다.

통계처리

실험 자료는 SPSS-PC 통계패키지를 이용하여 비모수적 방법인 Kruskal-Wallis test (독립 K-표본 비모수 검정)와 모수적 방법인 one-way ANOVA 및 Duncan's multiple range test에 의하여 분석하였다.

결 과

사료섭식량, 성장 및 FE

90일간의 반복적 절식 사육 실험 결과, DFI와 MFI 사이에 실험구별 차이를 보였다. DFI의 경우, 실험 1개월 후 (8월)에는 S1과 S2가 대조구보다 유의하게 높은 값을 나타내었다. 실험 2개월 후 (9월)에도 역시 S2가 대조구에 비해 유의하게 높았으나, S4의 경우 대조구와 다른 실험구에 비해 유의하게 낮은 값을 보였다. 그러나 실험 3개월 후 (10월)에는 대조구와 S1, S2간의 DFI의 비교에서 더 이상 유의차를 보이지 않았다. 한편, S3과 S4의 경우에는 대조구와의 뚜렷한 유의차를 관찰할 수 있었다. DFI과 달리 개체당 MFI의 비교에서는 사료공급 일자가 많은 실험구의 순으로 높은 값을 나타내었으며, 이런 경향은 30일, 60일, 90일째 모두 동일하였다 (Fig. 2). 절식에 따른 넙치의 보상성장 효과를 파악하기 위하여 실험구별로 체장과 체중을 30일 간격으로 측정한 결과는 Fig. 3과 같다. 체장의 경우, 모든 실험구가 8.46±0.17 cm에서 성장을 시작하였지만 실험 1개월 후의 결과를 보면 대조구와 S1 사이에는 유의한 성장차를 보이지 않았으나, S2, S3, S4는 절식 기간의 증가에 따라 대조구에 비해 성장도가 감소하는 경향을 보였다. 실험 2개월 후, 즉 수온이 하강하는 시기인 9월 말에는 대조구와 절식구들간의 성장차가 더욱 커짐으로써 S1을 포함한 모든 절식구들이 대조구에 비해 저조한 성장을 보였으며, 이와 같은 경향은 실험 종료 시까지 이어졌다 (Fig. 3). CF의 경우, 실험 1개월 후에는 대조구와 S1 및 S2에서는 유의차가 없는 것으로 나타났지만, S3과 S4는 대조구에 비해 유의하게 낮은 것으로 확인되었다. 그러나 실험 2개월 후에는 대조구가 1개월 후에 비해 크게 증가하여 S1, S2 및 S3보다 유의하게 높은 값을 보였으며, S4의 경우는 다른 모든 실험구보다도 유의하게 낮은 값을 나타내었다. 이러한 결과는 실험 3개월 후, 즉 실험 종료 시까지 동일하게 유지되어 절식 기간의 증가에 따라 실험어의 CF가 감소한 것을 확인할 수 있었다 (Fig.

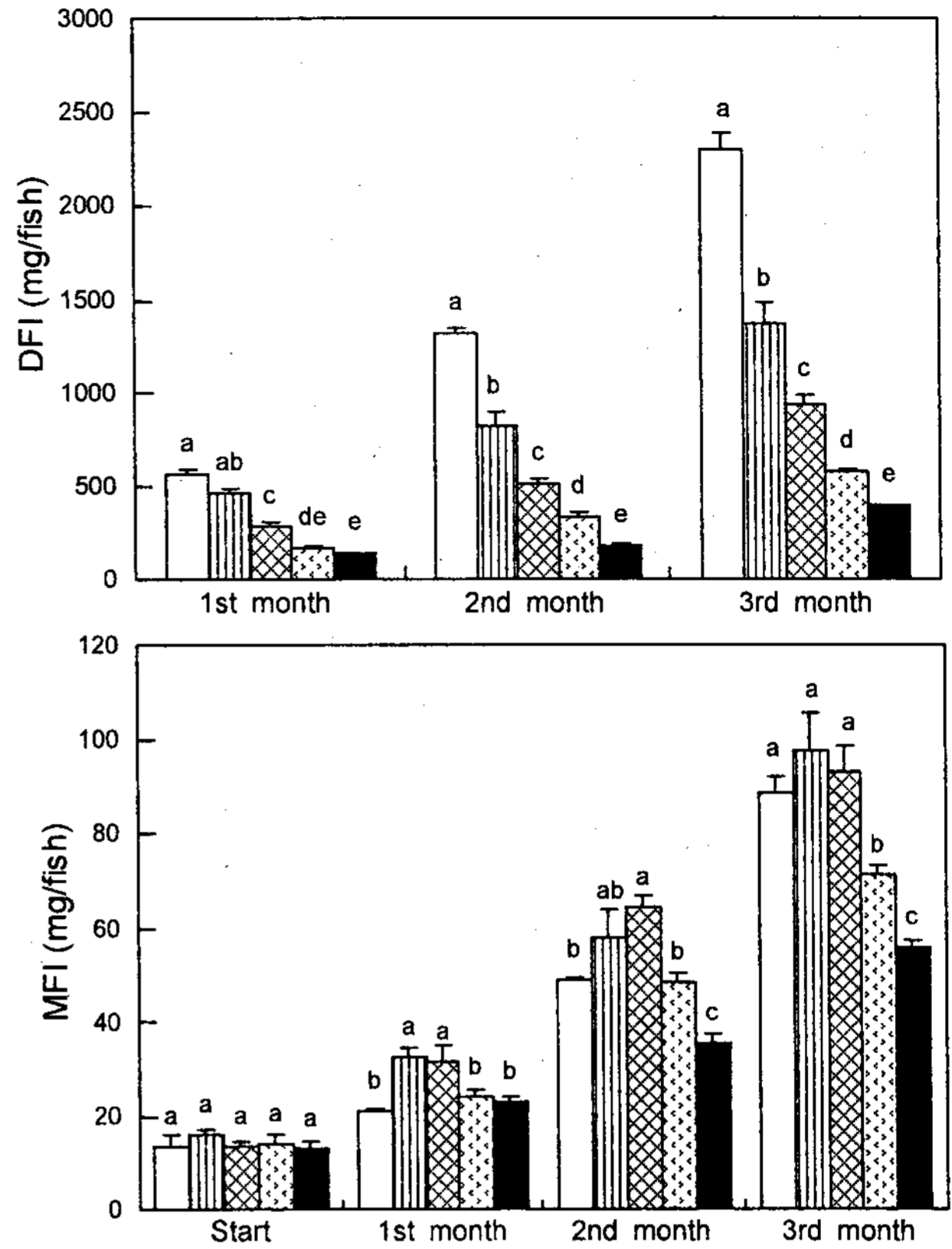


Fig. 2. Daily feed intake (DFI) and monthly feed intake (MFI) of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus* in each group. C, daily satiation feeding (control); S1, 1-day satiation feeding after 1-day food deprivation; S2, 1-day satiation feeding after 2-day food deprivation; S3, 1-day satiation feeding after 3-day food deprivation; and S4, 1-day satiation feeding after 4-day food deprivation, respectively. □, C; ▨, S1; ▩, S2; ▪, S3; ■, S4.

4). 한편, FE의 경우 실험 1개월 후, 즉 8월의 고수온기에는 MFI가 높은 실험구 순으로 높은 FE을 보였다. 그러나 수온이 하강하기 시작하면서 실험 2개월 후에는 S3가 가장 높은 값을, 그 다음으로 S2였으며, 대조구를 비롯한 나머지 실험구들은 유의차가 없는 것으로 나타났다. 10월에 들어 수온이 지속적으로 하강함에 따라 실험 3개월 후에는 대조구를 비롯한 S1, S2, S3가 실험 2개월 후와 비슷한 경향을 보였으나, S4의 경우 2개월 후와의 비교 및 실험구별 비교 결과 모두 FE이 매우 낮아진 것을 알 수 있었다 (Fig. 5).

체성분 분석, HSI 및 생존율

실험 종료 시 실험구별 전어체 성분분석 결과를 보면, 수분 함량은 대조구에 비해 모든 절식구에서 높게 나타났으며, 반대로 조단백은 대조구가 모든 절식구에 비해 유의하게 높은 값을 보였다. 조지방 역시 대조구 및 S1, S2에 비해 S3와 S4에서 절식 기간의 연장에 따라 감소하는 경향을 보였다. 조회분 함량은 대조구와 S1간 두 실험구에서는 유의차를 보이지 않았지만 나머지 실험구에서는 절식기간의 연장에 따라 함량이

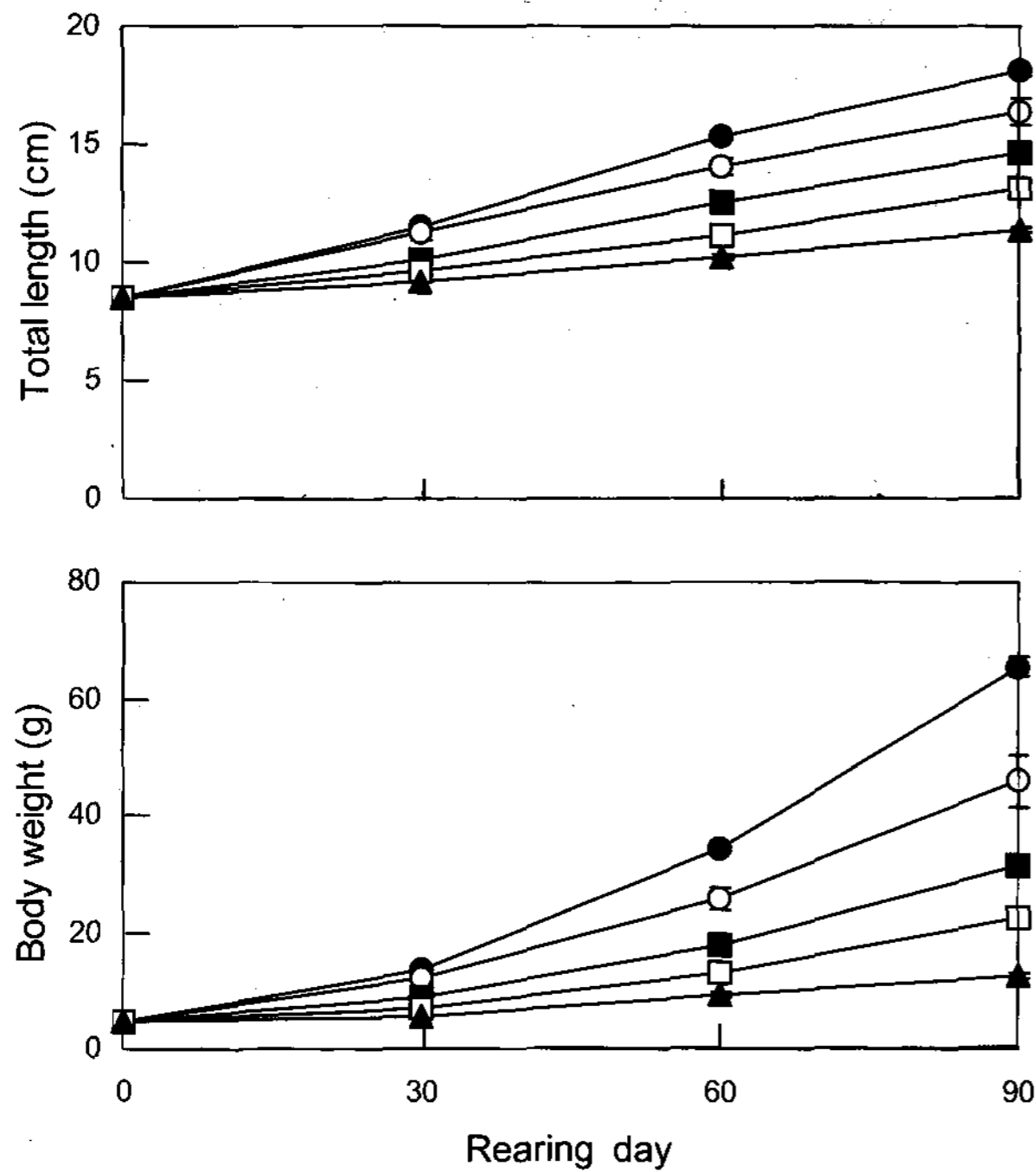


Fig. 3. Change of body size of juvenile flounder *P. olivaceus* in each group during experimental period. C, daily satiation feeding (control); S1, 1-day satiation feeding after 1-day food deprivation; S2, 1-day satiation feeding after 2-day food deprivation; S3, 1-day satiation feeding after 3-day food deprivation; and S4, 1-day satiation feeding after 4-day food deprivation, respectively. ●, C; ○, S1; ■, S2; □, S3; ▲, S4.

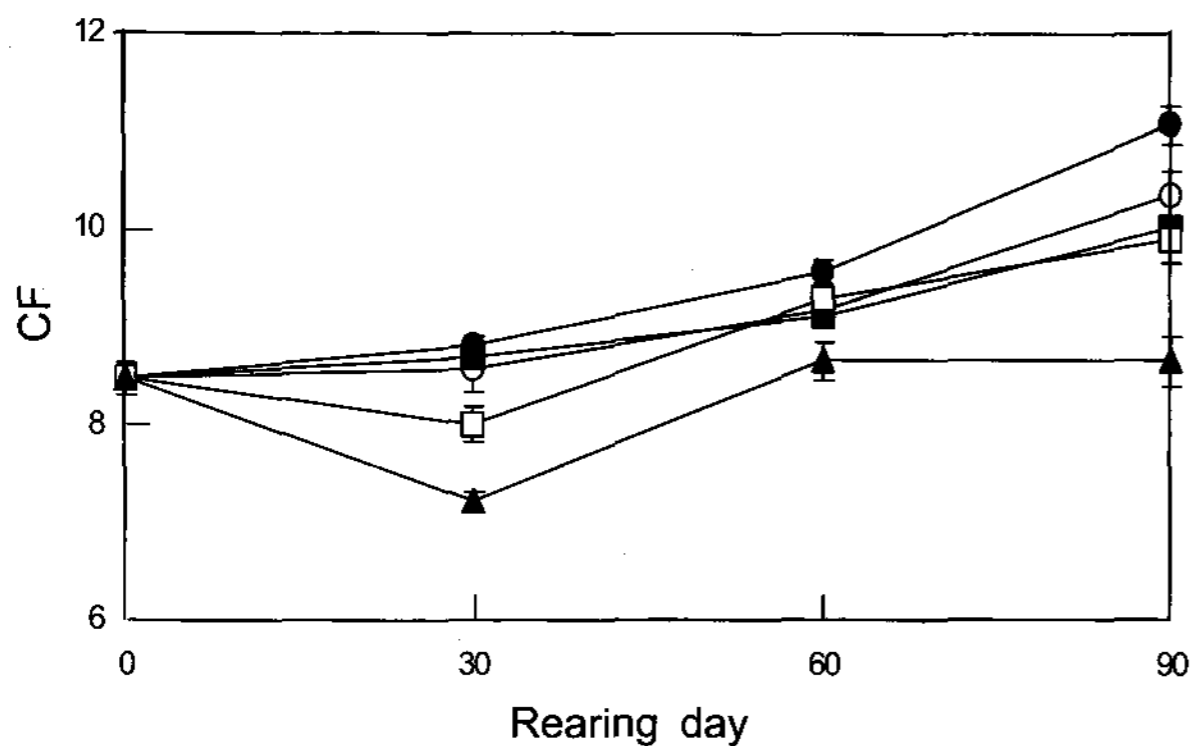


Fig. 4. Change of condition factor of juvenile flounder *P. olivaceus* in each group during experimental period. C, daily satiation feeding (control); S1, 1-day satiation feeding after 1-day food deprivation; S2, 1-day satiation feeding after 2-day food deprivation; S3, 1-day satiation feeding after 3-day food deprivation; and S4, 1-day satiation feeding after 4-day food deprivation, respectively. ●, C; ○, S1; ■, S2; □, S3; ▲, S4.

증가하는 경향을 보였다 (Table 2). 또한 실험 종료 시 실험구별 HSI를 비교해 본 결과, 대조구, S1, S2, S3, S4 순으로 절식 기간이 길어질수록 조단백 및 조지방과 마찬가지로 값이 낮아

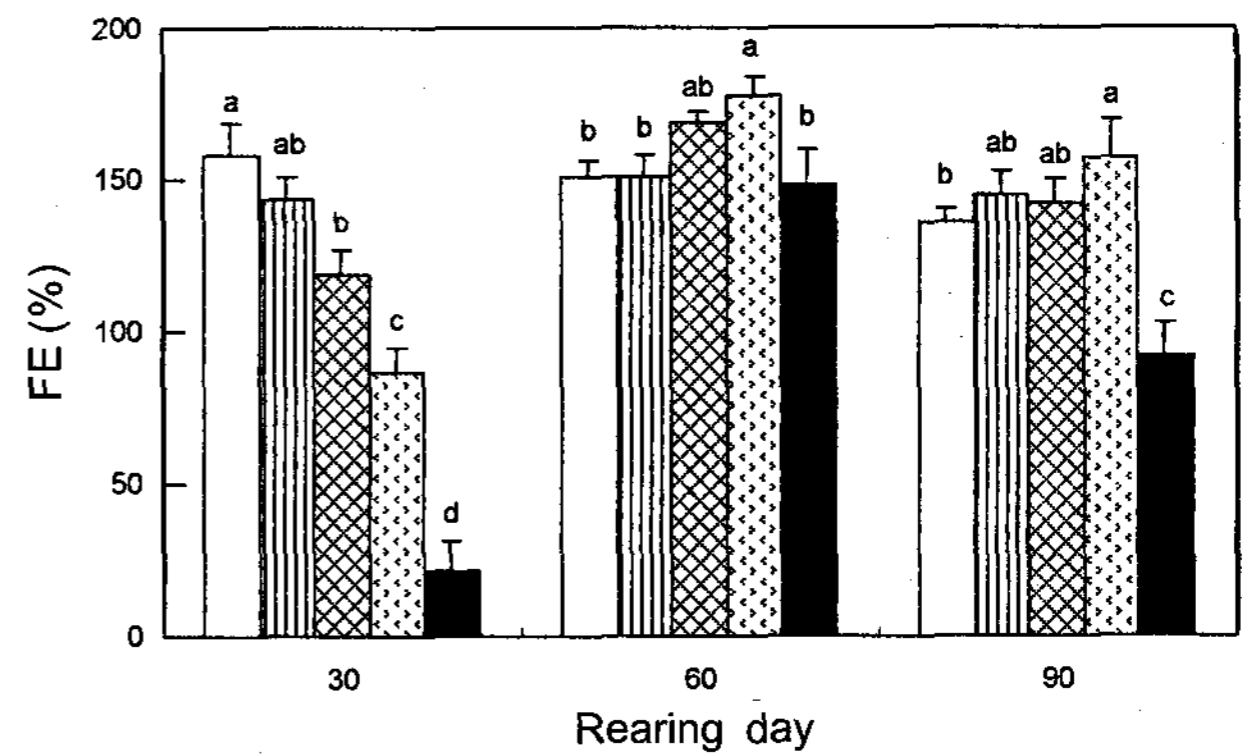


Fig. 5. Feed efficiency of juvenile flounder *P. olivaceus* in each group at 30, 60 and 90 days. C, daily satiation feeding (control); S1, 1-day satiation feeding after 1-day food deprivation; S2, 1-day satiation feeding after 2-day food deprivation; S3, 1-day satiation feeding after 3-day food deprivation; and S4, 1-day satiation feeding after 4-day food deprivation, respectively. □, C; ▨, S1; ▩, S2; ▪, S3; ■, S4.

진 것을 확인하였다 (Fig. 6). 실험기간 동안 매일 폐사 개체들을 확인하여 실험 종료 시 실험구별 생존율을 조사해 본 결과, 가장 높은 생존율을 보인 실험구는 대조구였으나 대조구, S3, S1 세 실험구는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지는 않았다. 그러나 S2와 S4는 대조구에 비해 유의하게 낮은 생존율을 보였으며, 특히 S4의 경우 다른 절식구들에 비해서도 가장 낮았던 것으로 미루어 볼 때, 절식 기간의 연장에 따라 넘치 치어의 생존율이 낮아질 수 있음을 보여주었다 (Fig. 7).

고 찰

국내 해산어류 양식 산업은 현재 저가의 중국산 양식 어류의 대량수입에 의해 큰 위기를 맞고 있다. 일부 양식생산업체에서는 생산비용의 절감을 통해 시장에서의 가격 경쟁력을 되찾고자 노력하고 있지만, 아직까지는 양식생산체계의 규격화 및 자동화가 확립되어 있지 않은 실정이다. 따라서 경제성 있는 사료의 개발, 사료의 선택, 사료 공급 기술 등이 표준화되어야 하며, 최적의 성장과 생존을 보장해 줄 수 있는 규격화된 양성 기술이 수반되어야 할 것으로 생각된다. 특히 양성 중에 어류의 최적 성장과 생존을 보장해 주면서 종별 특성에 맞는 우량 품질의 사료 개발과 사료 공급 시 사료의 허실은 최소화하면서 사료계수는 최적화시킬 수 있는 표준화된 사료공급 매뉴얼이 필요하다. 여기에는 현재 농축영양사료에 의한 식이 조절법 (Hardy, 1999; Lee et al., 2000; Seo et al., 2005)과 제한급식 또는 절식에 의한 보상성장유도기법이 있다 (Weatherly and Gill, 1981; Hayward et al., 1997; Nicieza and Metcalfe, 1997; Melard et al., 1998; Cho et al., 2002). 현재 양식 어류의 경우 절식에 의한 보상성장 기법을 활용하여 사료에 의한 생산비용을 절감하려는 노력들이 국외 연구자들에 의해 이루어져 왔다. 특히 이 기법은 절식 기간 동안 먹이 공급을 하지 않기 때

Table 2. Whole body proximate composition (% dry weight basis) of juvenile flounder *P. olivaceus* in each group at the end of experimental period. Values analysis were carried out on three samples (five fish per sample) from the replicate groups. Values with different superscripts within the same column are significantly different ($P < 0.05$). Control, daily satiation feeding; S1, 1-day satiation feeding after 1-day food deprivation; S2, 1-day satiation feeding after 2-day food deprivation; S3, 1-day satiation feeding after 3-day food deprivation; and S4, 1-day satiation feeding after 4-day food deprivation, respectively

Treatment	Moisture		Crude protein		Crude lipid		Crude ash	
	mean	SE	mean	SE	mean	SE	mean	SE
Control	69.1 ^c	0.2	57.7 ^{ab}	0.4	28.6 ^a	0.3	14.6 ^b	0.1
S1	69.0 ^c	0.4	57.2 ^b	0.3	28.4 ^a	0.4	14.5 ^b	0.3
S2	69.2 ^{bc}	0.4	57.1 ^b	0.4	28.1 ^{ab}	0.5	15.0 ^{ab}	0.3
S3	69.8 ^{ab}	0.3	56.3 ^{bc}	0.3	27.5 ^b	0.6	15.2 ^a	0.3
S4	71.2 ^a	0.3	56.9 ^b	0.6	26.9 ^{bc}	0.2	15.5 ^a	0.2

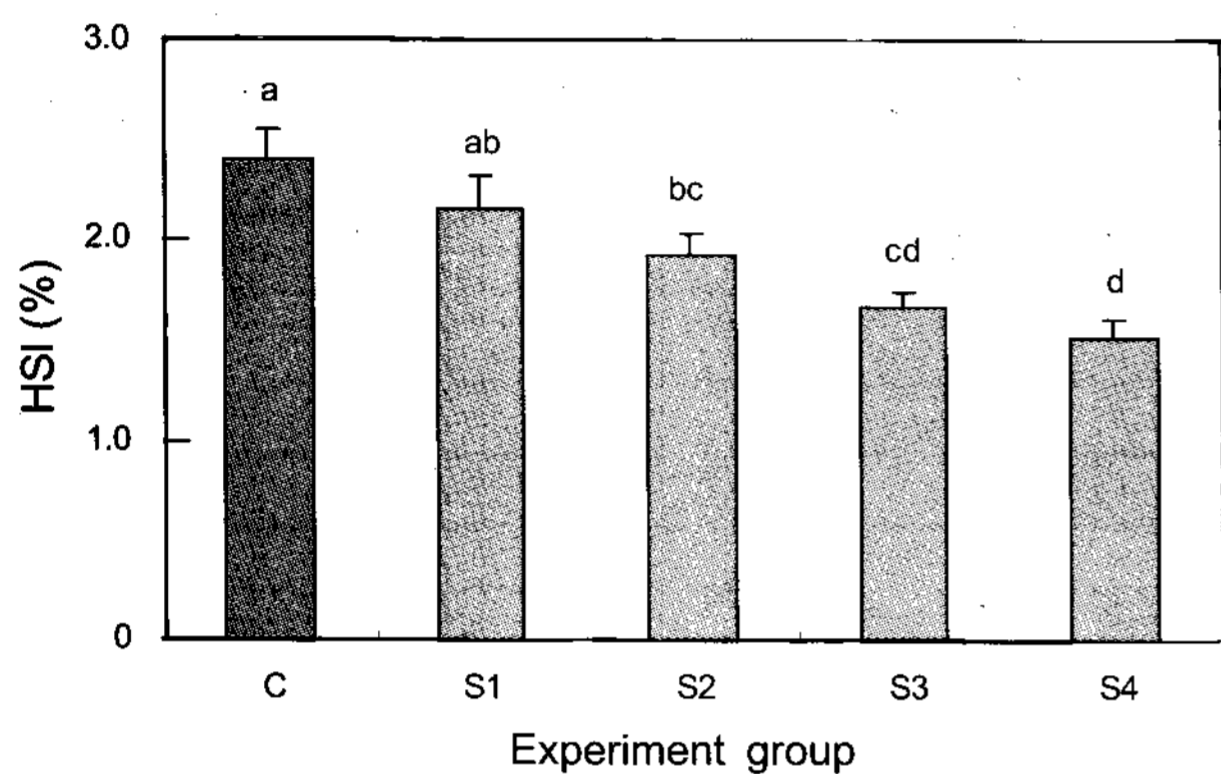


Fig. 6. Hepatosomatic index (HSI) of juvenile flounder *P. olivaceus* in each group at the end of the experiment. C, daily satiation feeding (control); S1, 1-day satiation feeding after 1-day food deprivation; S2, 1-day satiation feeding after 2-day food deprivation; S3, 1-day satiation feeding after 3-day food deprivation; and S4, 1-day satiation feeding after 4-day food deprivation, respectively.

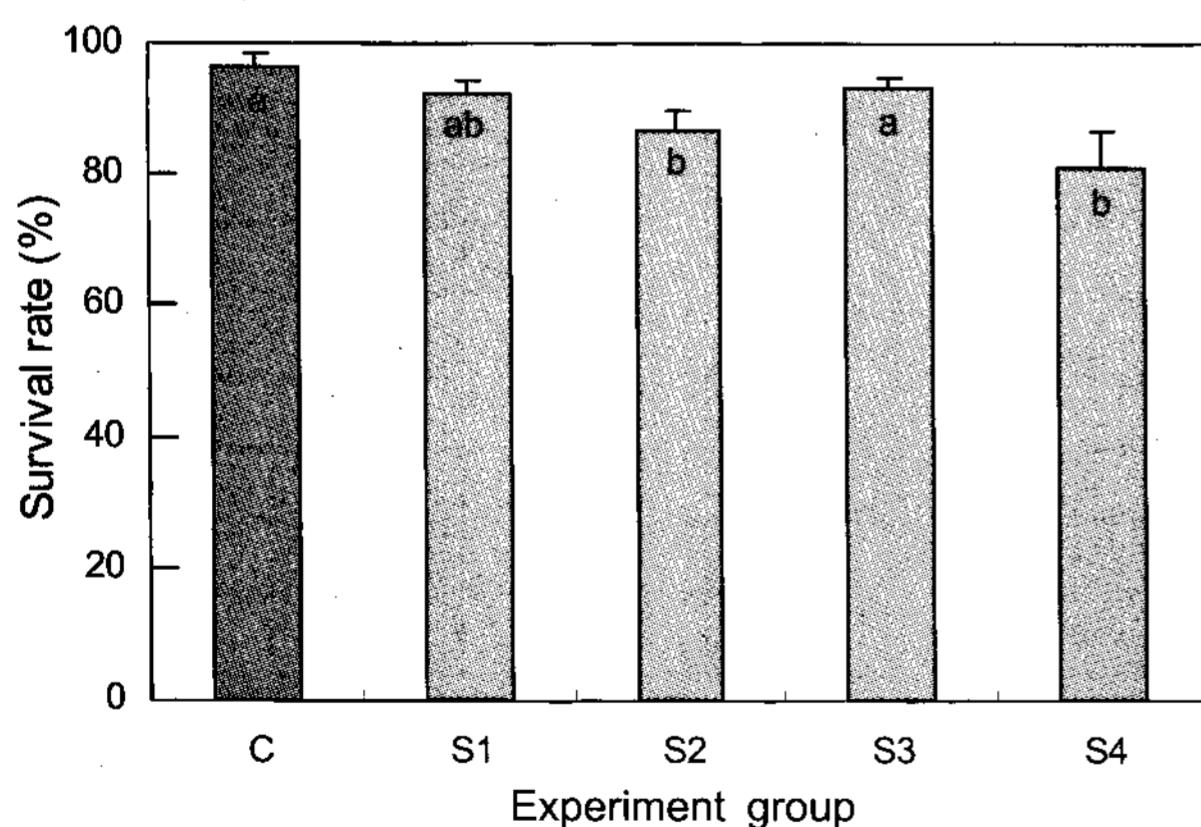


Fig. 7. Survival rate of juvenile flounder *P. olivaceus* in each group at the end of the experiment. C, daily satiation feeding (control); S1, 1-day satiation feeding after 1-day food deprivation; S2, 1-day satiation feeding after 2-day food deprivation; S3, 1-day satiation feeding after 3-day food deprivation; and S4, 1-day satiation feeding after 4-day food deprivation, respectively.

문에 사료와 인건비 절감으로 생산단가를 낮출 수 있으며,

절식에 따른 어류의 신진대사작용 저하로 배설물을 감소시켜 환경오염 부하량을 줄일 수 있다는 이점이 있다. 실제 먹이 공급량과 공급 일자의 제한 후 충분한 양의 사료를 재공급할 때 어류의 빠른 성장을 유도할 수 있다는 사실이 일부 냉수성 어류에서 이미 확인된 바 있다 (Bilton and Robins, 1973; Dobson and Holmes, 1984; Miglavs and Jobling, 1989; Quinton and Blake, 1990; Paul et al., 1995; Jobling and Koskela, 1996). 그러나 이들 연구에서는 일정 기간의 절식 후 사료를 과잉 공급함으로써 오히려 사료 허실을 배가하여 사료전환효율을 낮추는 것으로 나타났으며, 또한 이들 연구 대부분이 실험 종료 시 체중 증가만을 비교·분석하였고, 어체의 생리학적 변화에는 별 관심을 기울이지 않아, 절식 기간과 보상성장 기간 동안의 생체 반응에 대한 정보는 많지 않다. 최근에는 온수성 어류인 채널메기 *Ictalurus punctatus* (Kim and Lovell, 1995; Gaylord and Gatlin, 2000, 2001), 잉어류 *Carassius auratus* (Xie et al., 2001) 및 hybrid tilapia (Wang et al., 2000)에서도 보상성장이 보고된 바 있다. 하지만 이런 보상성장 효과가 모든 연구결과에서 동일하게 나타나지는 않았으며, 다른 몇몇 어종에서는 일정 기간의 절식이 오히려 어류를 폐사시키거나 사료 재공급 이후의 성장이 정상적인 수준으로 회복되지 못한 다는 사실을 제시하기도 있다. 그것은 어종, 사료 공급법, 사료 품질 및 사육 수온에 따라 보상성장 발현 가능성이 다르게 나타나기 때문으로 추정된다. 넙치의 경우 이미 Cho and Lee (2002)에 의해 치어기에 대한 보상성장 효과가 보고된 바 있으나, 이 연구는 봄철 수온상승기에 이루어진 것으로 본 연구와 같이 고수온기인 여름과 수온 하강기인 가을철에 이루어진 것은 아니며, 또한 사료 절식과 재공급 일자 및 방법이 본 연구와는 다른 형태로 이루어졌기 때문에 직접적인 비교는 어렵다. 단지 Cho and Lee (2002)에서는 수온 상승기에 보상성장 가능성을 확인한 정도에서 실험이 마무리 되어, 이후 고수온기와 수온 하강기에서는 보상성장 현상이 어떻게 변해 가는 지에 대해 확인할 필요성이 있었다. 즉, 봄철 수온 상승기 상태에서 관찰된 넙치의 보상성장 효과가 여름철의 고수온기나 가을철의 수온하강 시기에서도 동일하게 나타날지에 대한 의문이 있으며, 또한 절식의 방법론적 측면에서 어느 정도의 절식 및 먹이공급 일자를 정하는지에 따라 그 결과는 다르게

나타날 것으로 보이므로, 이 두 가지 인자를 교호적으로 고려하여 해석해야 할 것이다. 분명한 사실은 계절별 사육 수온이 넙치치어의 보상성장과 신진대사 작용의 반응에 다르게 작용할 것이므로 확실적인 보상성장 효과를 기대해서는 안 될 것으로 생각된다. 채널메기 *Ictalurus punctatus*의 경우, 절식에 따른 성장률의 향상을 Kim and Lovell (1995)이 보고한 바 있으며, 잡종 sunfish (*Lepomis cyanellus*×*L. macrochirus*)에서도 2일 간격의 짧은 절식과정을 통해 따른 성장과 FE가 개선되는 것이 보고된 바 있다 (Hayward et al., 1997). 하지만 아직까지 절식과정을 통해 어류가 어떻게 성장률 또는 FE를 증가시키는 지에 대해서는 알려져 있지 않으며, 단지 절식에 의한 여러 형태의 생리학적 대사 변화가 일어나며 (Carstens et al., 1989; Gaylord and Gatlin, 2000), 이와 더불어 호르몬 농도의 변화 (Eales, 1988; Navarro and Gutierrez, 1995; Duan, 1998; MacKenzie et al., 1998)가 절식 후 재급여에 의한 성장률과 FE 향상을 유도하는 것으로만 추측할 따름이다. 일부 학자들은 이러한 일련의 생리대사 과정을 보상성장으로 해석하고 있으며, 현재에도 이러한 생리적 기작을 이해하고자 하는 노력들이 계속되고 있다. 본 연구에서는 이러한 연구 목적에 부합하여 제한된 일자에서 사료의 절식과 공급의 반복을 통해 확인하고자 하였다. 우선 DFI의 결과를 보면 S1과 S2가 대조구보다 높게 나타났는데, 이러한 결과가 의미하는 바는 S1과 S2에서 절식에 따른 개체들의 보상 섭취로 절식일자 동안 섭취하지 못한 사료를 공급일에 맞춰 부족분까지 섭취하려는 것으로 보인다. 실험 1개월 후의 결과를 볼 때 대조구는 가장 높은 값을 나타낸 S1의 64.2%에 해당되며, S2에 비해서는 66%를 나타내어 S1과 S2가 가장 많은 DFI를 나타낸 것을 알 수 있다. 실험 2개월 후, 1개월 후과 달리 S2에서 가장 높은 값을 나타내었다. 이것을 기준으로 S1은 S2의 90.1%를, 대조구는 S2의 76.0%로, 1개월 후에 비해 절식구에 대한 대조구의 상대적 DFI가 높아진 것을 알 수 있다. 실험 3개월 후의 결과를 비교해 보면, S1이 다시 최고값을 나타내었고 그 다음으로 S2가 S1의 95.3%, 대조구가 90.5%로 나타났는데, 이러한 결과는 절식구 S1과 S2의 DFI가 대조구에 비해 많았기 때문으로 해석된다. 주목할 점은 이러한 대조구의 DFI는 시간이 지날수록 S1 및 S2의 비율에 가까워진다는 것이며, 이것은 반대로 S1 또는 S2의 상대적 증가율이 대조구에 비해 느리기 때문으로 해석할 수 있다. 이러한 변화는 실험구별 개체의 크기 변화에 따른 절대 사료 섭취량의 변화로 인해 나타난 것으로 단순하게 해석할 수도 있지만, 수온 하강기에 접어들면서 절식구에서의 보상 섭취 효과가 감소했기 때문으로도 추정해 볼 수 있다. 따라서 수온 변화에 따른 보상 섭취 효과 여부는 차후에 좀 더 검토되어야 할 것으로 보인다. 한편 S3의 DFI는 S1 또는 S2를 기준으로 실험 1개월 후 72.9%, 2개월 후 74.7%, 3개월 후 72.6%로서 70%대를 유지하였으며, S4는 S1 또는 S2를 기준으로 실험 1개월 후 70.3%, 2개월 후 55.3%, 3개월 후 57.1%로서 평균 60%를 유지하였다. 이 두 실험구의 경우 절식구임에도

불구하고 오히려 대조구보다 낮은 비율을 보여 보상섭식 효과가 없는 것으로 해석할 수도 있지만, 동일시기에 대조구, S1, S2에 비해 개체의 크기가 작아서 작은 량의 사료를 섭취한 결과로도 생각할 여지가 있기 때문에 보상섭식 효과 가능성을 완전히 배제할 수는 없다. 이 부분에 대해서도 차후 별도의 검토가 필요할 것으로 보인다. MFI은 실험구별 사료공급 일수에 정비례하게 나타났다. 실험 1개월 후에는 대조구와 S1간의 유의차가 관찰되지 않았는데, 흥미로운 것은 이 시기는 8월 고수온기 (평균 사육수온 25°C)로서 S1의 DFI이 대조구보다 많아서 S1의 절식 후 보상섭식과 보상성장에 의해 두 실험구간 체장과 체중 및 FE 역시 유의차를 보이지 않았다. 그러나 S2의 경우 DFI이 대조구보다 유의하게 높음에도 불구하고 MFI은 대조구에 비해 유의하게 낮음으로써 대조구보다 느린 성장을 보였으며 FE 또한 S1과 달리 대조구보다 낮게 나타났는데, 이러한 결과는 S3와 S4에서도 동일하게 나타났다. 2개월 후에는 사육수온이 23°C 정도에 이르면서 MFI은 1개월 후에 비해 실험구간 차이가 더욱 커져 대조구와 S1간의 유의차가 나타났다. 이것은 대조구와 S1 간의 성장 차가 나기 시작함으로서 1개월 후에 비해 실험구간 MFI의 차이가 크게 증가하였기에 나타난 것으로 해석해 볼 수 있다. 그러나 DFI은 여전히 S1과 S2에서 높았음에도 불구하고 성장은 대조구가 이 두 실험구에 비해 높게 나타남으로서 보상섭식에 따른 성장률 개선 효과는 약한 것으로 파악되었다. FE의 경우, 대조구 및 S1과 S4에서의 유의차는 없는 것으로 나타났으나 S2와 S3에서는 유의하게 높게 나타났는데, 이는 절식에 따른 사료전환효율의 개선효과로 볼 수 있다. 실험 3개월 후 (실험 종료 시) MFI는 사료공급일수에 비례하여 실험구간 차이가 더욱 크게 나타났음을 알 수 있다. 또한 이 때의 DFI 역시 대조구의 값이 S1 및 S2와 거의 비슷해졌음을 알 수 있는데, 이러한 결과는 대조구의 성장이 다른 절식구들에 비해 월등히 앞섰기 때문으로 생각할 수 있다. FE는 2개월 후와 비슷하게 절식구 S1, S2와 S3에서 대조구보다 높은 값을 보였으나, 같은 시기에 S4는 2개월 후와 달리 오히려 대조구보다도 훨씬 낮은 값을 나타내었다. 특히 다른 절식구들의 경우 1개월 후를 제외하고는 FE가 대조구에 비해 높았으나 유독 S4만이 매월 대조구보다도 낮은 FE를 나타내는데 대해서는 의문이었으나 Fig. 3과 연관시켜 원인을 추정해 본 결과, 일정량의 사료를 4일 간격으로 섭취했음에도 불구하고 S4의 성장은 다른 실험구들에 비해 거의 이루어지지 않은 것으로 미루어 볼 때 4일 간격으로 사료가 공급될 경우 해당 크기의 넙치 치어들은 섭식을 통해 성장보다는 생존과 기초대사에 필요한 에너지를 더 크게 요구하게 되며, 특히 고수온기와 수온 하강기에는 생존을 위한 대사에너지 요구량이 많아지는 시기로서 성장을 위한 에너지 축적의 여력이 없었던 것으로 짐작된다. 따라서 S4의 경우 섭식을 통해 취득한 에너지는 체내 축적보다는 대사를 위해 대부분 소비됐기 때문에 다른 실험구들에 비해 FE가 낮게 나타난 것으로 추정해 볼 수 있다. 그렇다면 왜 실험 2개월 후에는

S4의 FE이 1개월 및 3개월 후에 비해 대조구와 비슷한 수준으로 나타났을까? 저자는 이 시기(9월)가 평균 수온 23°C로서 넙치의 서식과 생존에 가장 적합한 시기여서 생존에 필요한 대사량이 다른 시기에 비해 낮았기 때문으로 추정해 본다. 실제로 S4의 CF를 보면 고수온기인 8월(실험 1개월 후)에 급격하게 감소하였으나, 9월(실험 2개월 후)에는 다른 실험구들과 같이 유의한 상승을 나타내었고, 10월(실험 3개월 후)에는 다시 CF의 감소 현상이 관찰되었는데, 이는 섭식량이 대사 요구량에 못 미치는 것으로 생각된다. 결론적으로, S4의 FE과 CF를 확인한 결과 먹이공급 간격이 4일 이상 될 경우 절식 기간이 지나치게 길어져서 생존을 위한 대사에너지에 대부분의 섭식량을 소비함으로써 체성장은 상대적으로 약화되는 것으로 보이며, 이로 인해 FE이 100% 이하로 나타났던 것으로 보인다. 따라서 절식을 통한 FE의 증진 효과를 보기 위해서는 적절한 기간의 절식이 이루어져야 한다는 것을 확인하였다. 한편, 어체 증중량이 공급된 사료량에 비해 월등히 많아 FE이 100% 이상으로 나타난 실험구들의 경우 어떻게 공급된 먹이증량보다 체중량이 더 증가할 수 있는 지에 관한 고찰이 필요하다. 이것은 어류가 사료를 섭식함과 동시에 사육수 중의 수분이 아가미 또는 장기를 통해 흡수되어 건식사료와 같이 체내에 축적되기 때문으로 생각된다. 사료공급량의 경우 건식증량으로, 어체 증량은 습증량으로 계산되었기 때문에 공급된 사료가 체내 소화과정에서 수분과 함께 체내로 흡수될 경우 소비된 사료에 비해 더 많은 체중 증가량을 보일 수 있다. 실제 체성분 분석을 통해 어체의 건식 증량을 살펴보면 수분이 전어체 중 69.71% 정도 차지하는 것을 알 수 있다. 한편, 어류의 절식은 어체 성분에 영향을 미칠 수 있다(Cook et al., 2000; Power et al., 2000). Cook et al. (2000)은 대서양연어 *Salmo salar*의 단백질과 지질 함량은 줄고 회분 함량은 증가하는 것으로 보고하였으며, Power et al. (2000)의 경우 gilthead sea bream *Sparus aurata*의 근육과 간의 수분 함량이 증가하는 것으로 보고하였다. 이러한 결과들은 절식시 중요 에너지원으로 지질과 단백질을 주로 사용하기 때문으로 알려져 있다. 특히 절식어의 체내 지질은 체내 항상성 유지 및 대사 유지를 위해 필요한 에너지원으로서 단백질보다 우선적으로 소비되며, 절식시 단백질의 소비는 직접적으로 에너지원으로 사용하기 보다는 당신생(gluconeogenesis)을 통해 탄수화물로 전환되어 특이적으로 뇌의 에너지원으로 사용되는 것으로 추정되고 있다(Lauff and Wood, 1996). 그러나 이러한 결과들은 어류의 장기간 절식에 따른 것으로서 본 연구와 같이 단시간의 절식과 먹이 재공급에 따른 결과와 직접적으로 비교하기는 어렵다. 그러나 반복적인 절식기간 연장의 결과로 수분과 회분 함량 증가 및 단백질과 지질 함량의 감소를 나타낸 본 연구의 결과는 앞서 언급된 절식에 의한 체성분 변화의 결과들과 일치하고 있다. 하지만 Cho and Lee (2002)의 연구 결과를 보면 본 연구와 달리 넙치의 절식은 체성분 변화에 뚜렷한 영향을 미치지 않는 것으로 나타났는데, 이러한 연구 결과의 차이는 절식실험

진행과정의 차이로 생각된다. Cho and Lee (2002)의 경우에는 우선 최소 1주에서 최장 4주간의 절식 후 7주에서 4주간 연속적으로 먹이공급을 시행한 후 실험 종료 시 체성분을 분석하였으므로, 절식에 따른 체조성 변화들이 장기간의 정상적인 먹이공급에 의해 모두 상쇄된 것으로 추정된다. 하지만 본 연구의 경우 S1, S2, S3 및 S4의 모든 실험구가 실험 종료 시까지 반복적으로 절식에 노출되었기 때문에 Cook et al. (2000)의 연구와 일치하는 결과가 나온 것으로 판단된다. HSI도 마찬가지로 이러한 해석이 가능하며, 대조구에 비해 절식구들의 HSI가 절식일자에 비례하여 낮아진 것은 간 내 지방함량의 감소에 의한 것으로 추정해 볼 수 있다. 실제로 Power et al. (2000)은 절식이 어류 간세포의 세포영역 감소와 핵 수축을 유도하며, 간의 지질과 단백질 성분을 감소시키고 수분함량은 증가시키는 것으로 보고하고 있다. 또한 절식은 어체의 대사뿐만 아니라 스트레스에 의한 행동학적인 변화를 야기하며(Miyazaki et al., 2000), 동시에 동족간의 공식(cannibalism)을 유발하는 것으로 보고되고 있다(Dou et al., 2000). 일반 동물계에서 공식은 먹이원의 제한에 반응하는 행동으로 보고 있으나(Fox, 1975), 인공사육 어류의 경우 절식과 같은 먹이원의 제한뿐만 아니라 인위적 공간에서 고밀도로 사육 시 개체 간 크기 차로 인해 공식이 유발될 수 있음이 확인되었다(FitzGerald and Whoriskey, 1992; Qin and Fast, 1996; Dou et al., 2000). 본 연구의 경우, 실험구별 폐사어들 대부분 크기가 동일 실험구내 다른 개체들에 비해 상대적으로 작았으며 체표면 또는 지느러미 등 몸의 외부에 포식성 공격을 받은 흔적을 지니고 있었다. 실험구별 생존율을 조사한 결과, 절식구들의 폐사율은 대조구에 비해 상대적으로 높았고 절식 일자에 정비례하여 생존율이 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 7). 따라서 본 실험의 넙치 생존율은 절식에 의한 개체간 공식 현상에 의한 것으로 해석할 수 있을 것이다.

이상의 결과들을 요약해 보면 여름과 가을철에 사육된 넙치는 절식에 따른 보상섭식 효과는 나타내었지만, 보상성장 효과는 뚜렷하게 관찰할 수 없었다. 또한 개체의 성장은 사료공급일수에 정비례하여 증가하였으며, 체내 단백질과 지질 함량은 절식기간에 비례하여 감소하고 반대로 수분과 회분 함량은 증가한 것으로 확인되었다. 실험구별 폐사율은 대조구보다 절식구들에서 비교적 높게 나타났으며 폐사 개체 대부분은 공식 현상에 의한 것으로 추정되었다. 결론적으로 가을철에 본 연구와 같은 일자별 반복적 절식과 재급여 체계로 넙치치어의 보상성장을 유도하는 데에는 한계가 있음을 확인하였으며, 그러므로 추후 같은 계절에 절식기간을 달리하여 넙치 치어의 성장과 생존에 미치는 영향 및 보상성장 유도에 관한 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 2001년-2004년까지 국립수산물과학원 경상과제-온대성생물 종묘생산 기술개발(수산생물의 종보존 및 양식

대상종 연구)에 의해 수행된 결과로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis. Arlington, VA, USA, 1-1298.
- Bilton, H.T. and G.L. Robins. 1973. The effects of starvation and subsequent feeding on survival and growth of fulton channel sockeye salmon fry. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 30, 1-5.
- Carstens, G.E., D.E. Johnson and M.A. Ellengerger. 1989. Energy metabolism and composition of gain in beef steers exhibiting normal and compensatory growth. *Livest. Prod. Sci.*, 43, 956.
- Cho, S.H. and J.K. Lee. 2002. Compensatory growth in juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus* in the spring. *J. Fish. Sci. Technol.*, 5, 122-126.
- Cho, S.H., S.M. Lee and J.H. Lee. 2005. Effects of the extruded pellets and rw fish-based mist pellet on growth and body composition of flounder, *Paralichthys olivaceus* L. for 10 months. *J. Aquacult.* 2, 60-65.
- Cook, J.T., A.M. Sutterlin and M.A. McNiven. 2000. Effect of food deprivation on oxygen consumption and body composition of growth-enhanced transgenic Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture*, 188, 47-63.
- Dobson, S.H. and R.M. Holmes. 1984. Compensatory growth in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *J. Fish Biol.*, 25, 649-656.
- Dou, S., T. Seikai and K. Tsukamoto. 2000. Cannibalism in Japanese flounder juveniles, *Paralichthys olivaceus*, reared under controlled conditions. *Aquaculture*, 182, 149-159.
- Duan, C. 1998. Nutritional and developmental regulation of insulin-like growth factors in fish. *J. Nutr.*, 128, 306-314.
- Eales, J.G.. 1988. The influence of nutritional state on thyroid function in various vertebrates. *Am. Zool.*, 28, 351-362.
- FitzGerald, G.J. and F.G. Whoriskey. 1992. Empirical studies of cannibalism in fish. In: *Ecology and Evolution among Diverse Taxa*. Oxford University Press, Oxford, UK, 238-255.
- Fox, L.R. 1975. Factors influencing cannibalism, a mechanism of population limitation in the predator *Notonecta hoffmanni*. *Ecology*, 56, 933-941.
- Gaylord, T.G. and D.M. III Gatlin. 2000. Assessment of compensatory growth in channel catfish (*Ictalurus punctatus*) and associated changes in body condition indices. *J. World Aquacult. Soc.*, 31, 326-336.
- Hardy, R.W. 1999. Problems and opportunities in fish feed formulation. *Aquacult. Mag.*, 25, 56-60.
- Hayward, R.S., D.B. Noltie and N. Wang. 1997. Use of compensatory growth to double hybrid sunfish growth rates. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 126, 316-322.
- Jobling, M. and J. Koskela. 1996. Interindividual variations in feeding and growth in rainbow trout during restricted feeding and in a subsequent period of compensatory growth. *J. Fish Biol.*, 49, 658-667.
- Kim, K.M., K.D. Kim, S.M. Choi, K.W. Kim and Y.J. Kang. 2005. Optimum feeding frequency of extruded pellet for the growth of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus* during the summer season. *J. Aquacult.*, 18, 231-235.
- Kim, M.K. and R.T. Lovell. 1995. Effect of restricted feeding regimens on compensatory weight gain and body tissue changes in channel catfish *Ictalurus punctatus* in ponds. *Aquaculture*, 135, 285-293.
- Lauff, R.F. and C.M. Wood. 1996. Respiratory gas exchange, nitrogenous waste excretion, and fuel usage during starvation in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *J. Comp. Physiol.*, 165B, 542-551.
- Lee, S.M., S.H. Cho and D.J. Kim. 2000. Effects of feeding frequency and dietary energy level on growth and body composition of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck & Schlegel). *Aquacult. Res.*, 31, 917-921.
- MacKenzie, D.S., C.M. VanPutte and K.A. Leiner. 1998. Nutrient regulation of endocrine function in fish. *Aquaculture*, 161, 3-25.
- Melard, C., E. Baras and D. Desprez. 1998. Compensatory growth of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. In: *Proceedings from the 4th International Symposium on Tilapia Aquaculture*, 178-185.
- Miglav, I. and M. Jobling. 1989. Effects of feeding regime on food consumption, growth rates and tissue nucleic acids in juvenile Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, with particular respect to compensatory growth. *J. Fish Biol.*, 34, 947-957.
- Miyazaki, T., R. Masuda, S. Furuta and K. Tsukamoto. 2000. Feeding behaviour of hatchery-reared juveniles of the Japanese flounder following a period of starvation. *Aquaculture*, 190, 129-138.
- Navarro, I. and J. Gutierrez. 1995. Fasting and starvation. In: *Biochemistry and Molecular Biology of Fishes*. Hochachka P.W. and T.P. Mommsen, eds. Elsevier Science, Amsterdam, Netherland, 393-434.
- Nicieza, A.G. and N.B. Metcalfe. 1997. Growth com-

- compensation in juvenile Atlantic salmon: Responses to depressed temperature and food availability. *Ecology*, 78, 2385-2400.
- Paul, A.J., J.M. Paul and R.L. Smith. 1995. Compensatory growth in Alaska yellowfin sole, *Pleuronectes asper*, following food deprivation. *J. Fish Biol.*, 46, 442-448.
- Power, D.M., J. Melo and R.A. Santos. 2000. The effect of food deprivation and refeeding on the liver, thyroid hormones and transthyretin in sea bream. *J. Fish Biol.*, 56, 374-387.
- Qin, J. and A.W. Fast. 1996. Size and feed dependent cannibalism with juvenile snakehead, *Channa striatus*. *Aquaculture*, 144, 313-320.
- Quinton, J.C. and R.W. Blake. 1990. The effect of feed cycling and ration level on the compensatory growth response in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *J. Fish Biol.*, 37, 33-41.
- Seo, J.Y., H.S. Jang, K.D. Kim, G.U. Kim and S.M. Lee. 2005. Effects of dietary composition, feeding satiation rate and feeding frequency of extruded pellets on growth and body composition of flounder, *Paralichthys olivaceus*. *J. Aquacult.*, 18, 98-106.
- Wang, Y., Y. Cui, Y. Yang and F. Cai. 2000. Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*, reared in seawater. *Aquaculture*, 189, 101-108.
- Weatherly, A.H. and H.S. Gill. 1981. Recovery growth following periods of restricted rations and starvation in rainbow trout *Salmo gairdneri* Richardson. *J. Fish Biol.*, 18, 195-208.
- Xie, S., X. Xhu, Y. Cui, R.J. Wootton, W. Lei and Y. Yang. 2001. Compensatory growth in the gibel carp following feed deprivation: temporal patterns in growth, nutrient deposition, feed intake and body composition. *J. Fish Biol.*, 8, 999-1009.

2007년 2월 13일 접수

2008년 4월 1일 수리