

선발 육종넙치 *Paralichthys olivaceus* 및 일반넙치의 성장비교

민병화·김현철^{1*}·이정호¹·노재구¹·안혜숙¹·박철지¹·최상준¹·명정인¹
 국립수산물과학원 동해수산연구소, ¹국립수산물과학원 육종연구센터

Comparison of Growth Parameters in Selected and Unselected Strains of Olive Flounder *Paralichthys olivaceus*

Byung Hwa Min, Hyun Chul Kim^{1*}, Jeong-Ho Lee¹, Jae-Koo Noh¹,
 Hye Suck An¹, Choul-Ji Park¹, Sang Jun Choi¹ and Jeong-In Myeong¹
 East Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research &
 Development Institute, Uljin 767-863, Korea
¹Genetics & Breeding Research Center, National Fisheries Research &
 Development Institute, Geoje 656-842, Korea

To estimate the effect of selective breeding on the improvement of growth in olive flounder *Paralichthys olivaceus*, we compared the growth of a strain selected for rapid growth to that of an unselected strain from a commercial hatchery. The fish strains were fed with either moist pellets (MP) (dry matter, 59.8% crude protein; 14.1% lipid) or extruded pellets (EP) (dry matter, 50.4% crude protein; 13.8% lipid) for 190 days and were reared under similar conditions. The mortality rates were less than 2% and were not significantly different among the experimental groups. The growth rate of the selected fish was significantly greater than that of the unselected fish regardless of the diet type, and both strains fed MP grew significantly faster than those fed EP. The selected fish consumed more feed than the unselected fish. However, there was no significant difference in the feed efficiency between the selected and unselected fish. These results demonstrate that the selected fish exhibited superior growth rates, and that this was associated with a greater intake of food. Thus, selective breeding may be useful for improving the growth of commercial olive flounder.

Key words: Olive flounder, *Paralichthys olivaceus*, Selective breeding, Growth, Feed efficiency

서 론

최근 세계 경제성장에 따라 수산물의 수요는 점차 증가하고 있는 추세이나, 자연 어업 자원은 점차 감소하고 있는 추세이므로 부족한 공급량 확보를 위해서는 양식산업의 발전이 필수적이다. 이를 위해서 인공종묘생산 기술 및 양식기술 개발과 더불어, 특히 양식어종별 배합사료 개발, 백신 등 질병대책 기술개발, 사육시스템 개발, 육종 기술개발 등 다양한 양식 기술개발이 필요하다. 이중 육종기술의 개발은 획기적으로 양식생산성을 향상시킬 수 있으며, 육종기술 중 선발육종 방법은 별도의 유전자의 조작 없이 세대를 거듭할수록 지속적으로 유전적 개량을 기대할 수 있어서 양식생산성을 향상시키는 주된 양식기술로 활용된다. 어류에 있어 지금까지 선발육종되는 어종의 수는 가족에 비해 상대적으로 적지만 최근 전 세계적으로 양식어류의 선발육종을 위한 노력은 점차 증가하고 있으며, 몇몇 어종에서는 육종프로그램 개발에 의한 성장 개선이 성공적으로 이루어지고 있다 (Gjedrem, 1983, 1997).

우리나라에서는 2004년 처음으로 국립수산물과학원에 육종 연구조직을 신설하여, 유전적 다양성 확보를 바탕으로 친자확인 기술을 개발하여 넙치를 대상으로 선발육종 연구가 진행

중이다. 이러한 넙치 육종의 목적은 양식생산성의 향상과 양식이 품질을 향상 시키는데 있으며, 이를 위한 육종 선발형질로는 자연산의 체형, 속성장 및 질병내성 등이 포함되어 있다.

어류의 빠른 성장과 높은 사료효율은 성공적인 어류 양식의 결정적 요인이 될 수 있다 (Sizemore and Siegel, 1993; Fjalestad et al., 2003). 지금까지 속성장과 관련된 육종기술은 주로 연어과 어류에서 많이 연구되었으며, 육종품종의 성장개선은 주로 사료섭취량이 많아지고 사료효율이 높아지기 때문인 것으로 보고되고 있으며 (Li et al., 1998; Thodesen et al., 1999), 또 양식어의 성장도는 사료의 종류, 공급 방법에 따라 좌우되기도 한다 (Neely et al., 2008; Ogata et al., 2002).

따라서 본 연구에서는 속성장을 육종형질로 선발된 2세대 육종넙치와 일반 양식넙치를 대상으로 2종류의 사료 (moist pellet, MP; extruded pellet, EP) 공급시 성장도, 사료섭취율 및 사료효율에 어떠한 차이가 있는지 장기간 사육을 통해 비교·조사하였다.

재료 및 방법

실험어

실험에 사용된 선발 2세대 육종넙치 (selected strain of olive

*Corresponding author: Kimhc@nfrdi.go.kr

flounder, SF)의 생산 과정은 다음과 같다. 선발육종에 필요한 유전적 다양성이 확보된 기초집단을 만들기 위해 2004년에 우리나라 전국 5개 지역의 자연산 넙치와 4개 지역 양식산 넙치를 수집하였다. 2005년에 유전적 다양성이 축소되지 않도록 유전적 유연관계를 근거로 교배지침을 작성하여 1:1 인공 수정을 통하여 1세대를 생산하였다 (Kim et al., 2008a). 이들 중 성장이 빠른 혈통을 선발하고, 그중 성장이 빠른 만 3년생 1세대 넙치를 어미로 사용하여 2008년에 실험용 2세대 육종넙치 (SF)를 생산하였다. 생산된 SF는 5톤 원형 FRP 수조 (수용적 3톤)에서 실험 전까지 사육하였으며, 이중 200마리를 무작위로 채집하여 동일 크기의 수조 2개에 각각 100마리씩 나누어 수육하였다. 대조구로 사용한 일반넙치 (unselected strain of olive flounder, USF)는 경남 거제시에 소재한 양식장에서 사육중인 넙치를 육종연구센터로 옮겨 7일간 적응시킨 후 실험에 사용하였다 (Table 1).

Table 1. Total length (TL), body weight (BW) and days after hatching (DAH) of olive flounder, *Paralichthys olivaceus* used in this experiment

Groups of exp.	TL (cm)	BW (g)	DAH
SF ¹	21.2±1.4	100.6±1.9	150
USF ²	21.9±1.2	109.3±4.4	210

¹Selected strain of olive flounder.

²Unselected strain of olive flounder.

Table 2. Nutrient contents of the experimental diets used in this experiment (unit: %)

Diets	Dry matter	Crude protein	Crude lipid	Ash
MP ¹	36.3	59.8	16.3	13.8
EP ²	91.6	50.4	13.8	10.6

¹Moist pellet.

²Extruded pellet.

사육조건 및 환경

본 실험에서는 습사료 (moist pellet, MP)와 부상사료 (extruded pellet, EP)를 각각 공급하여 사육하였다. MP는 냉동 전갱이와 분말사료 (조단백 50%이상, 조지방 2%이상, 조회분 17%이하, 인 2.7%이하)를 4:1로 혼합하여 자체 제작하였고, EP는 상업용으로 시판되는 사료를 구입하였으며, 실험에 사용되었던 각 사료의 성분은 Table 2에 나타내었다. 실험구는 혈통 및 사료종류에 따라 SF에 MP를 먹인 SF-MP구, EP를 먹인 SF-EP구, USF에 각각 MP와 EP를 먹인 USF-MP구, USF-EP구였으며, 2반복으로 설정하였다. 사료공급은 매일 2회 (09:00, 16:00) 반복으로 공급하였다. 사육기간은 총 190일 (2008년 9월 8일~2009년 3월 16일)이었으며, 사육기간 동안 광주기는 자연 상태로, 수온은 11.0~24.5°C, 염분은 30.4~32.0 ppt였다.

성장도 조사

실험 0일, 70일, 130일 및 190일째에 각각의 수조로부터

모든 생존 개체를 잡아 2-phenoxyethanol (Sigma, USA) 150 ppm을 사용하여 마취한 다음 전장 및 체중을 버니어캘리퍼스 와 전자저울을 사용하여 각각 0.1 cm와 0.1 g 단위로 측정하였다. 실험 종료시에는 증중량 (weight gain, WG), 일간성장률 (specific growth rate, SGR) 사료섭취량 (feed intake, FI) 및 사료효율 (feed efficiency, FE)을 아래의 식으로 계산하였으며, 생존율은 사육기간 중 각 실험구에서 매일 폐사개체를 파악하여 조사하였다.

- WG (g)=final body weight (FBW)-initial body weight (IBW)
- SGR (%)=(ln FBW-ln IBW)/days×100
- FE (%)= WG/feed intake (dry matter)×100

통계처리

각 실험결과로부터 얻어진 자료값 사이의 유의차 유무는 SPSS-통계 패키지 (version 17.0)를 사용하여 one-way ANOVA test를 실시한 후, Tukey test로 평균간의 유의성을 검정하였다. 또한 성장 parameter에 대한 혈통, 사료종류, 혈통과 사료종류와의 상호작용 효과는 two-way ANOVA test로 검정하였다.

결 과

사육실험 70일까지 모든 실험구의 실험어 전장은 유의한 차이를 보이지 않았다. 130일 후, 실험어의 전장은 SF-MP구가 USF-EP구 보다 유의하게 높았다 ($P<0.05$). 실험 종료시 각 실험어의 전장은 35.9~37.9 cm였으며, 혈통과 사료종류에 유의한 영향을 받았다 ($P<0.05$). 실험어의 전장은 SF 및 USF구 모두 MP구가 EP구에 비하여 유의하게 높았으며 ($P<0.05$), MP구에서는 SF가 USF구에 비하여 유의하게 높았지만 ($P<0.05$), EP구의 경우 SF와 USF구 사이의 통계적인 차이는 없었다 ($P>0.05$) (Fig. 1, 2) (Table 3).

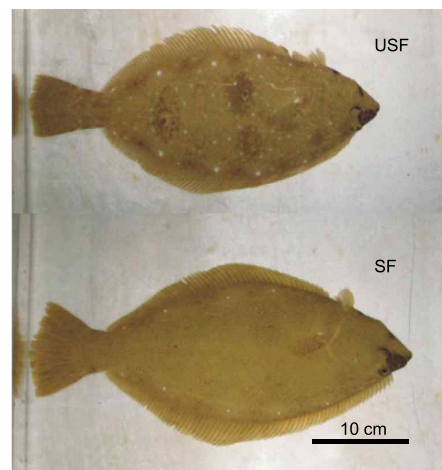


Fig. 1. Qualitative comparisons of body size of selected strain for rapid growth (SF) and unselected strain (USF) of olive flounder, *Paralichthys olivaceus* fed either moist pellet. Each fish was sampled at the end of experiment. The fish shown are generally representative of their respective experimental groups.

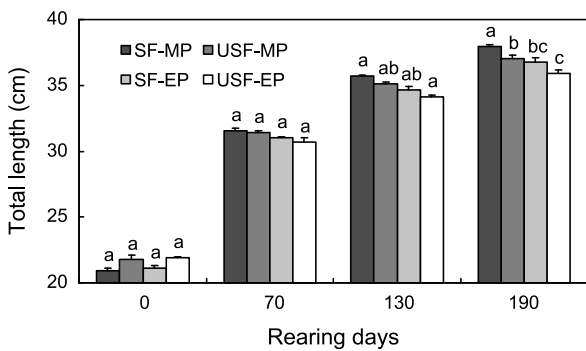


Fig. 2. Total length of the selected (SF) and unselected strain (USF) of olive flounder, *Paralichthys olivaceus* fed either moist pellet (MP) or extruded pellet (EP) for 190 days (means±S.E.).

실험 개시시에 모든 실험구의 체중은 차이가 없었으나, 70 일째에 SF 및 USF구 모두 MP구가 EP구에 비하여 유의하게 높았다 ($P<0.05$). 실험 종료시 각 실험어의 체중은 557.3~721.0 g으로 혈통과 사료종류에 각각 유의한 영향을 받았으며 ($P<0.05$), MP구 및 EP구 모두 SF구가 USF구보다 유의하게 높았다 ($P<0.05$) (Fig. 3) (Table 3).

Table 3. Growth performance and survival of the selected (SF) and unselected strain (USF) of olive flounder, *Paralichthys olivaceus* fed either moist pellet (MP) or extruded pellet (EP) for 190 days (means±S.E.)

	MP		EP		Two-way ANOVA		
	SF	USF	SF	USF	Strain	Diet	Strain×Diet
ITL (cm)	20.9±0.2 ^a	21.8±0.3 ^a	21.2±0.2 ^a	21.9±0.1 ^a	NS	NS	NS
FTL (cm)	37.9±0.1 ^a	37.1±0.2 ^b	36.7±0.3 ^{bc}	35.9±0.2 ^c	*	*	NS
IBW (g)	101.7±1.6 ^a	111.2±4.3 ^a	99.5±0.6 ^a	107.4±2.0 ^a	NS	NS	NS
FBW (g)	721.0±16.0 ^a	650.6±1.7 ^b	615.6±12.5 ^b	557.3±8.3 ^c	*	*	NS
WG (g)	619.4±17.7 ^a	539.4±5.9 ^b	516.1±13.1 ^b	449.9±6.4 ^c	*	*	NS
SGR	3.40±0.01 ^a	3.33±0.01 ^b	3.28±0.01 ^b	3.22±0.01 ^c	*	*	NS
FI (g/fish)	715.7±11.2 ^a	539.2±12.5 ^b	481.7±14.2 ^c	429.9±1.2 ^d	*	*	*
FE (%)	86.6±3.8 ^a	91.0±0.9 ^{ab}	107.3±5.9 ^c	104.7±1.2 ^{bc}	NS	*	NS
Survival (%)	99.5±0.5 ^a	99.0±1.4 ^a	100 ^a	98.0±1.0 ^a	NS	NS	NS

Groups with the same superscript with in the same row denote no significant difference ($P>0.05$). NS: no significant difference. * $P<0.05$.

실험 종료시 증중량, SGR, 사료섭취량, 사료효율 및 생존율은 Table 3에 나타내었다. 증중량과 SGR은 혈통과 사료종류에 각각 유의한 영향을 받았는데 ($P<0.05$), MP구는 EP구보다, 또한 MP구 및 EP구에서는 모두 SF구가 USF구보다 유의하게 높았다. SF-MP, USF-MP, SF-EP, USF-EP구의 사료섭취량은 각각 715.7, 539.2, 481.7, 429.9 g으로 혈통과 사료종류에 각각 독립적으로, 또한 상호작용에 의한 영향을 받았다 ($P<0.05$). MP구는 EP구보다 사료섭취량이 유의하게 많았으며, 각각의 사료구에서는 SF구가 USF구보다 유의하게 많았다 ($P<0.05$). 사료효율은 사료종류에는 유의하게 영향을 받는 것으로 나타났으나 ($P<0.05$), 혈통에는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났

다 ($P>0.05$). MP구는 EP구보다 사료효율이 유의하게 높았으나 ($P<0.05$), 각각의 사료구에서는 SF구와 USF구 사이에 유의한 차이가 없었다 ($P>0.05$). 생존율은 모든 실험구내에서 98.0~100%로 차이를 보이지 않았다 ($P>0.05$).

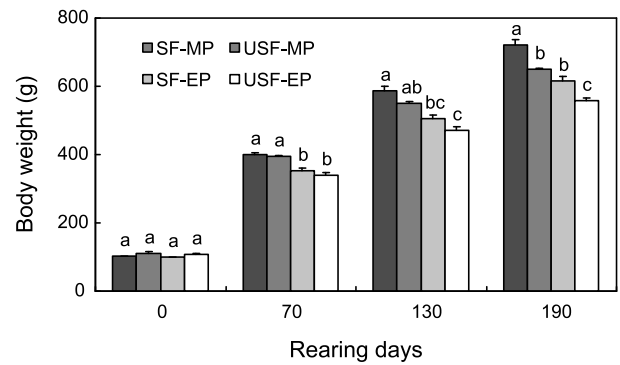


Fig. 3. Body weight of the selected (SF) and unselected strain (USF) of olive flounder, *Paralichthys olivaceus* fed either moist pellet (MP) or extruded pellet (EP) for 190 days (means±S.E.).

고 찰

일반적으로 어류에서 성장 변이는 많은 내외부적인 요인 때문이며, 여기에는 어미의 영향 (Heath et al., 1999), 배의 발달 속도 (Robison et al., 2001), 위의 크기 (Rindorf, 2002), 먹이종류 (Wolters et al., 2009), 먹이 섭취량 (Ogata et al., 2002; Mambrini et al., 2006), 대사율 (Boily and Magnan, 2002), 수온과 유전자형 (Wangila and Dick, 1988), 습성 (Ruzzante, 1994) 및 소화효율 (Bendiksen et al., 2003; Menoyo et al., 2003)을 들 수 있으며, 성장률에 있어 이와 같은 근본적인 변이 요인들을 이해하는 것은 효과적인 육종 기술개발과 성장 예측을 가능하게 할 것으로 보인다. 따라서 본 연구에서는 2종류의 사료 (MP 및 EP)를 공급하였을 때, 주요 경제형질 중의 하나인 속성장을 육종형질로 선발육종 중인 넙치의 성장도와 성장관련 요인을 일반 넙치와 비교하고자 하였다. 결과적으로 190일간 사육시 MP 및 EP 공급구 모두에서 SF구는 USF구보다 성장이 빨랐으며, 이러한 이유는 사료효율에 차이가 없었던 것으로 추정할 때 SF구가 USF구보다 사료섭취량이 많았기 때문으로 볼 수 있다. 많은 사료섭취량은 사료내 단백질 섭취량의 증가를 의미하는 것으로 이로 인해 단백질 섭취가 더 많았던 SF구가 성장이 더 빨랐던 것으로 보여 진다. 실제적으로 육종 은연어와 자연산 은연어를 비교했을 때 단백질 섭취량과 단백질 대사율은 육종 은연어가 더 높았으며, 이러한 패턴은 메기 (*Ictalurus punctatus*) (Small, 2005)를 비롯하여 육상가축 (양, 돼지, 토끼, 쥐)에서도 유사하게 나타나고 있다 (양: Cammack et al., 2005; 돼지: Woltmann et al., 1992; 토끼: Ozimba and Lukefahr, 1991; 쥐: Lin et al., 1979). Thodesen 등(1999)은 5세대동안 선발된 대서양연어와 자연산 대서양연어의 성장을 비교한 결과, 전자가 성장이 더 빨랐으며 이는 더 많은 사료 섭취량과 높은 사료효율 때문인 것으로 보고하

고 있다. 또한 16세대동안 성장을 위해 육종된 은연어, *Oncorhynchus kisutch*는 자연산보다 성장이 빨랐는데, 이 역시 사료섭취율, 사료효율 및 단백질 대사가 육종 은연어에서 높은 것으로 나타났다 (Neely, 2008). 이 외에도 빠른 성장과 사료효율의 상호관계는 다른 어종에서도 확인되고 있다 (Grisdale-Helland and Helland, 1998; Li et al., 1998; Smith et al., 1988). 이처럼 선발육종에 의해 나타나는 성장 개선은 주로 높은 사료섭취량과 사료효율 때문인 것으로 추측할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 혈통에 따른 성장이 사료섭취량과의 관계는 인정되나 사료효율과는 연관성이 나타나지는 않았던 것은 다음과 같이 해석해 볼 수 있다. 첫째 사료섭취량만이 실질적인 실험어의 성장에 영향을 미쳤을 것으로 추정된다. 이와같이 육종어종의 사육시 사료섭취량만이 성장차이의 요인으로 작용한 유사한 결과가 넙치와 대서양 연어에서 보고된 바 있다 (Ogata et al., 2002; Wolters et al., 2009). 둘째 본 연구에서도 나타났듯이 어체가 클 수록 사료효율이 낮아지는 특성 (Cuenco et al., 1985)과, 본 연구에서 실험종료시에 육종구와 대조구의 어체 크기가 상이하였던 점을 고려할 때 본 연구의 결과만으로 혈통에 따른 사료효율 차이의 유무를 판단하기는 어렵다고 여겨진다.

본 연구에서는 MP와 EP를 공급하였으며, 그 결과 혈통과는 상관없이 MP를 공급한 실험구가 EP 공급구보다 성장이 유의하게 빨랐다. 이는 MP가 EP보다 성장에 필요한 조단백질 함량과 조지방 비율이 많았기 때문인 것으로 생각해 볼 수 있다. 또한 일반적으로 넙치의 최대 성장을 위한 사료 내 단백질 함량은 46.4~51.2%로 평가되고 있으며 (Kim et al., 2002), 본 연구에서의 MP 및 EP의 단백질 함량은 넙치의 성장에 충분한 데도 불구하고 MP구가 성장이 빠른 것은 넙치가 EP보다는 MP를 더 잘 소화시킬 수 있었던 것이 아닌가 추정된다. 이와 같이 넙치에서 EP보다 MP를 공급하였을 때 사료섭취량의 증가는 이미 많은 연구에서 밝혀진 바 있다 (Lee et al., 2005; Kim et al., 2006; Kim et al., 2008b).

이상의 결과를 종합해 보면, 성장도를 우선 형질로 하여 선발된 2세대 육종넙치는 일반넙치보다 MP공급시 15.5% ((육종넙치 증중량-일반넙치 증중량)/일반넙치 증중량)×100, EP공급시 14.7% 성장이 빨랐다. 이것은 육종넙치의 사료섭취량이 많았기 때문인 것으로 추정된다. 그러나 사료효율은 개체가 클수록 낮아지는 특성과 실험종료시에는 성장이 빨랐던 육종넙치가 더 컸던 점을 고려해 볼 때, 본 연구의 사료효율은 보정되어져 할 필요성이 있다고 생각된다. 또한 성장 변이의 정확한 메커니즘을 구명하기 위해서는 차후 영양 및 에너지 대사, 체성분 및 소화능력까지도 조사해야 할 것으로 생각된다.

사 사

이 연구는 국립수산물확원 (육종기술개발, RP-2010-AQ-086)의 지원에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

Bendiksen EA, Berg OK, Jobling M, Arnesen AM and

Masoval K. 2003. Digestibility, growth and nutrient utilization of Atlantic salmon parr (*Salmo salar* L.) in relation to temperature, feed fat content and oil source. *Aquaculture* 224, 283-299.

Boily P and Magnan P. 2002. Relationship between individual variation in morphological characters and swimming costs in brook charr (*Salvelinus fontinalis*) and yellow perch (*Perca flavescens*). *J Exp Biol* 205, 1031-1036.

Cammack KM, Leymaster KA, Jenkins TG and Nielsen MK. 2005. Estimates of genetic parameters for feed intake, feeding behavior, and daily gain in composite ram lambs. *J Anim Sci* 83, 777-785.

Cuenco ML, Stickney RR and Grant WE. 1985. Fish bioenergetics and growth in aquaculture ponds: II. Effect of interactions among size, temperature, dissolved oxygen, unionized ammonia and food on growth of individual fish. *Ecological Modelling* 27, 191-206.

Fjalestad KT, Moen T and Gomez-Raya L. 2003. Prospects for genetic technology in salmon breeding programmes. *Aquac Res* 34, 397-406.

Gjedrem T. 1983. Genetic variation in quantitative traits and selective breeding in fish and shellfish. *Aquaculture* 33, 51-72.

Gjedrem T. 1997. Selective breeding to improve aquaculture production. *World Aquaculture* 28, 33-45.

Grisdale-Helland B and Helland SJ. 1998. Macronutrient utilization by offspring from wild and selected Atlantic salmon. In: *Energy Metabolism of Farm Animals*. McCracken KJ, Unsworth EF and Wylie ARG, eds. CAB International, Oxon, U.K. 221-224.

Heath DD, Fox CW and Heath JW. 1999. Maternal effects on offspring size: variation through early development of chinook salmon. *Evolution* 53, 1605-1611.

Kim HC, Noh JK, Lee JH, Kim JH, Park CJ, Kang JH, Kim KK, Lee JG and Myeong JI. 2008a. Estimation of genetic parameters and reproductivity test of genetic evaluation for growth-related traits of olive flounder *Paralichthys olivaceus* at 180 days of age. *J Aquacult* 21, 317-324.

Kim KD, Kang YJ, Lee HY, Kim KW, Kim KM and Lee SM. 2006. Evaluation of extruded pellets as a growing diet for adult flounder *Paralichthys olivaceus*. *J Aquacult* 19, 173-177.

Kim KD, Kang YJ, Lee JY, Nam MM, Kim KW, Jang MS and Lee SM. 2008b. Evaluation of extruded

- pellets and raw fish-based moist pellet for growth of sub-adult flounder *Paralichthys olivaceus*. J Aquacult 21, 102-106.
- Kim KW, Wang XJ and Bai SC. 2002. Reevaluation of the dietary protein requirement of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. Aquacult. Res 33, 673-679.
- Lee SM, Seo JY, Lee YW, Kim KD, Lee JH and Jang HS. 2005. Evaluation of experimental extruded pellet, commercial pellet and raw fish-based moist pellet for growing flounder, *Paralichthys olivaceus*. J Aquacult 18, 287-297.
- Li MH, Robinson EH and Wolters WR. 1998. Evaluation of three strains of channel catfish *Ictalurus punctatus* fed diets containing three concentrations of protein and digestible energy. J World Aquac Soc 29, 155-160.
- Lin PY, Romsos DR, Vander Tuig JR and Leveille GA. 1979. Maintenance energy requirements, energy retention and heat production of young obese (ob/ob) and lean mice fed a high-fat or a high-carbohydrate diet. J Nutr 109, 1143-1153.
- Mambrini M, Labbe L, Randriamanantsoa F and Boujard T. 2006. Response of growth selected brown trout (*Salmo trutta*) to challenging feeding conditions. Aquaculture 252, 429-440.
- Menoyo D, Lopez-Bote CJ, Bautista JM and Obach A. 2003. Growth, digestibility and fatty acid utilization in large Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed varying levels of n-3 and saturated fatty acids. Aquaculture 225, 295-307.
- Neely KJ, Myers JM, Hard JJ and Shearer KD. 2008. Comparison of growth, feed intake, and nutrient efficiency in a selected strain of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) and its source stock. Aquaculture 283, 134-140.
- Ogata HY, Oku H and Murai T, 2002. Growth, feed efficiency and feed intake of offspring from selected and wild Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). Aquaculture 211, 183-193.
- Ozimba CE. and Lukefahr SD. 1991. Evaluation of purebred and crossbred rabbits for carcass merit. J Anim Sci 69, 2371-2378.
- Ruzzante DE. 1994. Domestication effects on aggressive and schooling behavior in fish. Aquaculture 120, 1-24.
- Rindorf A. 2002. The effect of stomach fullness on food intake of whiting in the North Sea. J Fish Biol 61, 579-593.
- Robison BD, Wheeler PA, Sundin K, Sikka P and Thorgaard GH. 2001. Composite interval mapping reveals a major locus influencing embryonic development rate in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). J Heredity 92, 16-22.
- Sizemore FG and Siegel HS. 1993. Growth, feed conversion, and carcass composition in females of four broiler crosses fed starter diets with different energy levels and energy to protein ratios. Poult Sci 72, 2216-2228.
- Small BC. 2005. Differences in growth and nutrient efficiency between and within two channel catfish *Ictalurus punctatus* strains. J World Aquac Soc 36, 8-13.
- Smith RS, Kincaid HL, Regenstein JM and Rumsey GL. 1988. Growth, carcass composition, and taste of rainbow trout of different strains fed diets containing primarily plant or animal protein. Aquaculture 70, 309-321.
- Thodesen J, Grisdale-Hellend B, Helland SJ and Gjerde B. 1999. Feed intake, growth and feed utilization of offspring from wild and selected Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture 180, 237-246.
- Wangila BCC and Dick TA. 1988. Influence of genotype and temperature on the relationship between specific growth rate and size of rainbow trout. Trans Am Fish Soc 117, 560-564.
- Wolters WR, Barrows FT, Burr GS and Hardy RW. 2009. Growth parameters of wild and selected strains of Atlantic salmon, *Salmo salar*, on two experimental diets. Aquaculture, in press.
- Woltmann MD, Clutter AC, Buchanan DS and Dolezal HG. 1992. Growth and carcass characteristics of pigs selected for fast or slow gain in relation to feed intake and efficiency. J Anim Sci 70, 1049-1059.

2010년 7월 26일 접수
 2010년 9월 30일 수정
 2010년 10월 13일 수리