

선발 육종된 넙치, *Paralichthys olivaceus*의 부화율 및 자치어 성장

민병화 · 이정호 · 노재구 · 김현철 · 박철지 · 최상준 · 명정인[†]

국립수산과학원 육종연구센터

Hatching Rate of Eggs, and Growth of Larvae and Juveniles from Selected Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus*

Byung Hwa Min, Jeong-Ho Lee, Jae-Koo Noh, Hyun Chul Kim,
Choul-Ji Park, Sang Jun Choi and Jeong-In Myeong[†]

Genetics and Breeding Research Center, National Fisheries Research and Development Institute,
Gyeongsangnam-do 656-842, Korea

ABSTRACT : Hatching rate, larval deformation and growth rate of selected olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) for rapid growth were compared to those of the unselected fish. Fish were spawned on the same day and cultured under the similar conditions. The selected fish had a significantly higher eggs hatching rate, and lower larval deformation. The selected fish grew significantly faster, and at the end of the experiment (8 weeks after hatching) averaged 50.49±2.67 mm in total length, 16.30±0.08 mm in body height, and 1.036±0.118 g in weight, compared to 40.55±3.13 mm, 13.50±0.96 mm, and 0.557±0.073 g for unselected fish, respectively. The selected fish had a significantly higher body shape index, however lower condition factor than the unselected fish. The results of the present study demonstrate that the selected fish of the olive flounder for rapid growth had superior growth and improved body shape.

Key words : *Paralichthys olivaceus*, Selective breeding, Hatching rate, Growth.

요 약 : 속성장 육종 넙치(selected line of olive flounder cultured, SF)의 수정란의 부화율 및 기형률, 자치어의 성장을 일반 넙치(unselected line of olive flounder cultured, UF)와 비교하였다. 동일한 날에 획득한 SF구 및 UF구 수정란의 부화율은 SF구가 96.2±1.7%, UF구는 90.4±2.1%로 SF구가 높았으며, 기형률은 UF가 유의하게 높았다. 이들 수정란으로부터 부화한 자어를 8주 동안 사육한 결과, 부화후 1주째에 SF 및 UF구의 전장은 각각 4.36±0.24, 4.25±0.20 mm였던 것이 실험 종료시에 각각 50.49±2.67, 40.55±3.13 mm로 SF구가 UF구에 비해 24.5% 빨랐다. 체고는 부화후 1주째에 각각 1.13±0.08, 1.18±0.07 mm였으며, 종료시에 각각 16.30±0.085, 13.50±0.96 mm로 SF가 UF구에 비해 20.7% 크게 나타났다. 실험 종료시에 체중은 각각 1.036±0.118, 0.557±0.073 g으로 SF구가 UF에 비해 43.0% 빨랐다. 또한 실험 종료시에 SF구와 UF구의 체형 지수는 각각 0.85±0.02, 0.82±0.03으로 SF구가 유의하게 높았으며, 비만도는 각각 7.99±0.33, 8.22±0.52로 SF구가 UF구에 비해 낮았다. 이상의 결과는 속성장을 위해 선발 육종된 넙치가 일반 넙치에 비해 성장이 월등히 우수하며, 체형이 자연산 넙치에 가깝게 개선되었음을 나타내었다.

서 론

넙치, *Paralichthys olivaceus*는 우리나라 양식산업의 대표적인 어종으로 1980년대 중반에 인공 종묘 생산 및 양식 기술이 개발되었으며, 1990년 중반에 어미의 번식주기 인위

제어로 연중 수정란 공급이 가능하게 되었고, 양식 시설의 증가와 대형화로 생산량이 지속적으로 증가하였다. 2003년 및 2005년의 넙치 양식 생산량은 각각 367.1톤, 353.6톤이었으며, 2007년에는 해수어류 양식 생산량 81,421톤 중 넙치가 41,171톤으로 약 50%를 차지하여 우리나라에서 가장 많은 생산량을 나타내고 있다(농림수산식품부, 2008). 이처럼 넙치 양식산업은 단백질 공급 산업이지만, 양식 시설 노후, 질병, 적조, 이상 기온 등에 의한 생산량 감소와 외국산

[†] 교신저자: 경남 거제시 남부면 다포리 201 국립수산과학원 육종연구센터. (우) 658-842, (전) 055-633-1272, (팩) 055-633-0891, E-mail: cosmo@nfrdi.go.kr

저가 활어의 대량 수입에 의한 가격 하락, 사료비 및 인건비 상승에 따른 생산 단가 상승, 양식 종묘의 열성화 등으로 양식 경영에 많은 어려움이 따르고 있어 지속적으로 생산성 유지가 어려운 실정이다. 따라서 지속적이며 경쟁력 있는 넙치 생산을 위해서 최근 국립수산물과학원에서는 배합사료 개발, 유용 백신 개발, 사육 시스템 개발을 비롯하여 선발 육종에 관한 연구를 수행하고 있다. 이 중 선발 육종은 세대를 거듭할수록 유전적 개량이 누적적으로 일어나므로 생산성을 향상시키는 주된 방법 중 하나이다.

어류에 있어 선발 육종되는 어종의 수는 가축에 비해 비교적 적지만 전 세계적으로 선발 육종되는 양식 어류의 종류는 점차 증가하고 있으며, 몇몇 어종에서는 육종 프로그램에 의한 성장 개선이 성공적으로 이어져오고 있다(Gjedrem, 1983; 1997). 우리나라에서도 2005년에 속성장 및 내병성 넙치 선발 육종을 위한 기초 집단 생산이 이루어졌으며, 이로부터 2007년에는 선발 1세대, 2009년에는 선발 2세대가 국립수산물과학원에서 생산된 바 있다. 또한 성장이 뛰어난 가계를 따로 분리하여 후세대를 생산함으로써 속성장 넙치의 산업화도 모색되고 있다. 따라서 본 연구에서는 속성장 육종 넙치 품종 생산시 수정란의 부화율 및 자치어의 성장 등을 일반 양식장에서 생산되고 있는 넙치 품종의 수정란 및 자치어와 서로 비교함으로써 속성장 품종에 대한 육종효율을 검정하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 수정란 획득

실험에 사용된 속성장 넙치(selected line of olive flounder cultured, SF) 수정란을 획득하기 위하여 2004년도부터 국립수산물과학원 육종연구센터에서 육종되어온 2세대 육종 넙치(F₂) 31마리를 2009년 3월 9일부터 5월 30일까지 실내 원형 콘크리트 2개 수조(20톤)에 각각 수용하여 사육하였다. 이 기간동안 수온은 11.8~15.5°C였으며, 광주기는 자연 광주기로 유지하였다. 먹이는 1회/일 만복으로 공급하였다.

F₂로부터 획득한 수정란은 2009년 4월 30일에 친어의 자연 방란·방정을 통해 확보하였다. 대조구 넙치(unselected line of olive flounder cultured, UF)의 수정란은 상업적으로 판매되는 수정란을 구입하였으며, 산란일은 SF와 동일하였다. 수정란 확보 후 세란과정을 거쳐 다시 원형 콘크리트 수

조내 소형 가두리(100×100×50 cm)로 옮긴 후 30시간 동안 수용하였다. 정상 발생중인 SF 및 UF구의 수정란을 각각 220 ml를 수거하여 실험구당 2개의 원형 콘크리트 수조(수용적 14톤)에 각각 110 ml씩 수용하였다.

2. 부화율 및 기형률 조사

실험구별로 가두리내 부상의 수정란 50립을 수거한 후 여과 해수가 있는 1 l 비이커에 수용하여 인큐베이터에서 30시간 동안 18°C로 부화시켰으며, 수생균 억제제를 위하여 항생제(Antibiotic-Antimycotic, Life Technologies, UK) 1 ml를 첨가하였다. 부화율 조사는 배체형성기의 수정란을 사용하여 3반복으로 실시하였다. 부화는 입체현미경(SZH 10, Olympus Co, Japan) 하에서 관찰하였으며, Fig. 1에 나타난 것처럼 척추만곡 및 전곡증 현상 등 비정상적으로 나타나는 개체는 계수하여 기형률 산출에 이용하였다.

3. 실험어 생산 및 사육환경

원형 콘크리트 수조에서 부화한 자어를 실험어(SF 및 UF구)로 사용하였으며, 총 사육기간은 부화 후 8주였다. 이 기

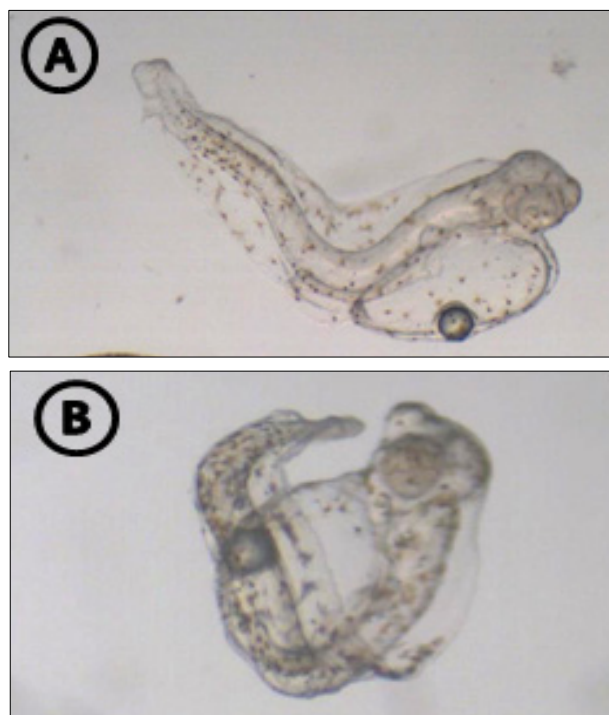


Fig. 1. Deformations (A and B) in live larvae hatched from eggs of olive flounder *Paralichthys olivaceus*.

간동안 사육 수온은 17.0~18.5°C로, 광주기는 자연광주기로 유지하였으며, 배출수의 용존산소량은 6.0 mg/ℓ 이상이 되도록 aeration 및 유수하였다.

먹이 공급은 Table 1에 나타난 바와 같이, 부화후 최초 먹이로서 해산 클로렐라로 배양된 로티퍼(Rotifers, *Brachionus plicatilis*)를 부화후 2일째에 1개체/ml부터 23일째에 15개체/

Table 1. Amount of live feeds maintained and supplied in each tank for rearing of olive flounder, *Paralichthys olivaceus* larvae and juveniles during experiment

DAH	<i>B. plicatilis</i> (inds. ml ⁻¹)			<i>Artemia</i> (inds. ml ⁻¹)		
	Maintained	Supplied in-		Maintained	Supplied in-	
		SF	UF		SF	UF
2	1	2	2	-	-	-
3	1	2	2	-	-	-
4	1	2	2	-	-	-
5	1.5	2	2	-	-	-
6	1.5	2	2	-	-	-
7	2	2	2	-	-	-
8	3	3.3	5	-	-	-
9	4	5	7.5	-	-	-
10	6	7.5	14	-	-	-
11	10	14	20	-	-	-
12	15	20	20	-	-	-
13	15	20	20	0.3	1	1
14	15	20	24	0.5	1.5	1.5
15	15	24	24	1	1.5	1.5
16	15	24	24	1	1.5	1.5
17	15	24	17	1	2	1.5
18	15	17	17	1	2	1.5
19	15	17	17	1	2	2
20	15	17	17	1.5	3	2
21	15	17	17	1.5	6	4
22	15	17	17	1.5	9	5
23	15	17	17	2	9	5
24	-	-	-	2	10	7
25	-	-	-	2	10	7
26	-	-	-	2	10	7
27	-	-	-	2	10	8
28	-	-	-	3	14	12
29	-	-	-	3	14	12
30	-	-	-	3	14	10
31	-	-	-	3	14	7
32	-	-	-	3	14	7
33	-	-	-	3	10	7
Total		433.2	275.8		158.5	110.5
mean±SD day ⁻¹		19.7±13.5*	12.5±8.5		7.0±5.1	5.3±3.5

DAH: day after hatching, SF: selected line of olive flounder cultured, UF: unselected line of olive flounder cultured. *P<0.05.

ml까지 자어가 성장함에 따라 밀도를 조절해 주었으며, 알테미아(brine shrimp, *Artemia* spp.) 유생은 부화후 13일째에 0.3개체/ml부터 33일째에 3개체/ml가 되도록 공급하였다. 이때 각 실험수조내 먹이생물을 1일 2회 조사하여 부족한 양을 보충하여 적정 밀도를 유지하였다. 초기배합사료(LOVE · LARVA[®], Japan)는 18일째부터 실험 종료시까지 5회/일 공급하였다.

환수율은 사육 초기인 로티퍼의 공급 기간에는 1~2회전/일 내외로 유지하였으나, 점차 증가시켜 부화후 30일째부터는 6~12회전/일 유지시켰다.

4. 자치어 성장조사

성장조사를 위해 전장 및 체고는 부화 후부터, 체중은 5주째부터 일주일 간격으로 각 실험구의 2개 수조로부터 무작위로 각각 30마리씩 총 60마리를 채집하였으며, 샘플링 직후 2-phenoxyethanol(Sigma, USA) 15 ppm을 사용하여 마취한 다음 전장, 체고 및 체중을 측정하였다. 전장 및 체고는 만능투영기와 버니아켈리퍼스로 0.01 mm, 체중은 전자저울을 이용하여 0.001 g까지 측정하였다. 실험종료시에는 체형지수(body shape index; BSI) 및 비만도(condition factor; CF)를 아래의 공식을 이용하여 계산하였다(Kim et al., 2008).

$$\text{체형지수 (Body shape index)} = \frac{\text{전장(Total length)}}{\text{체고(Body height)} \times 3.65}$$

$$\text{비만도 (Condition factor)} = \frac{\text{체중(Body weight)}}{\text{전장(Total length)}^3} \times 1,000$$

5. 통계처리

각 실험결과로부터 얻어진 자료값 사이의 유의차 유무는 SPSS-통계 패키지(version 17.0)에 의한 *t* test(independent sample)로 검정하였다.

결 과

1. 부화율 및 기형률

속성장 넘치 수정란인 SF구의 부화율은 각각 96.2±1.7%로 대조구인 UF구의 90.4±2.1%보다 유의하게 높았다($P < 0.05$)

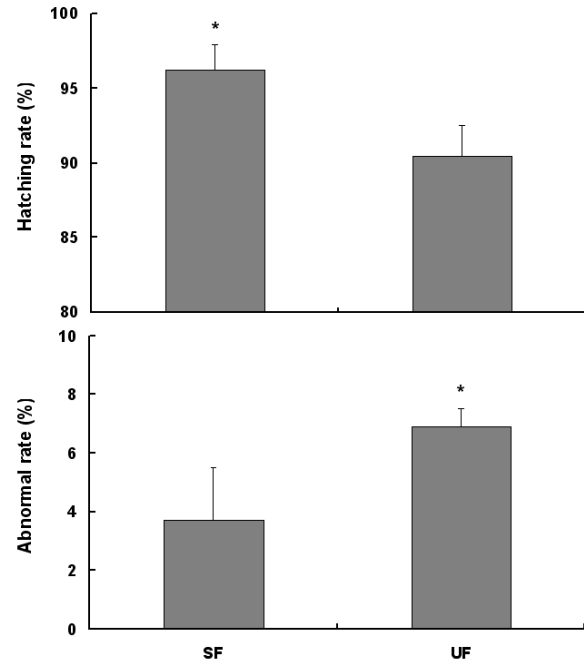


Fig. 2. Rate of eggs hatching and larval deformation of selected line for rapid growth (SF) and unselected line (UF) of olive flounder, *Paralichthys olivaceus* cultured. Values are mean±S.E.M. (n=3). * $P < 0.05$.

(Fig. 2). 또한 기형률은 UF구가 SF구보다 높은 것으로 나타났다($p > 0.05$).

2. 먹이생물 공급량

SF 및 UF구 모두 실험기간중 동일한 먹이 환경을 제공하기 위해서 로티퍼와 알테미아의 밀도를 동일하게 유지시키기 위한 일간 공급량은 Table 1에 나타내었다. UF구와 SF구의 하루 평균 로티퍼 공급량은 각각 12.5±8.5, 19.7±13.5 ml⁻¹로 SF구가 유의하게 많이 공급되었으며($P < 0.05$), 알테미아는 각각 5.3±3.5, 7.0±5.1 ml⁻¹로 SF가 많았으나 유의한 차이는 보이지 않았다($P > 0.05$).

3. 자치어 성장

1) 전장, 체고 및 체중

SF 및 UF구의 전장 성장을 조사한 결과, 부화후 1주째에는 각각 4.36±0.24, 4.25±0.20 mm였으며, 부화후 3주째까지는 서로 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 그러나 부화후 4주

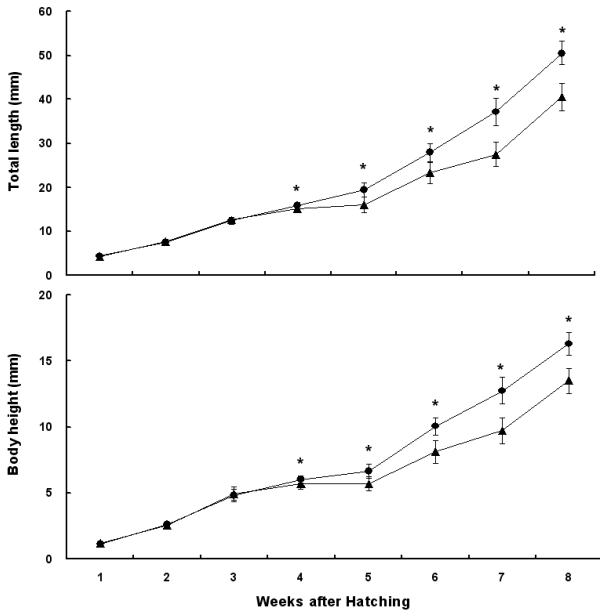


Fig. 3. Total length and body height of selected line for rapid growth (SF, ●) and unselected line (UF, ▲) of olive flounder, *Paralichthys olivaceus* cultured. Values are mean±SD (n=60). *P<0.001.

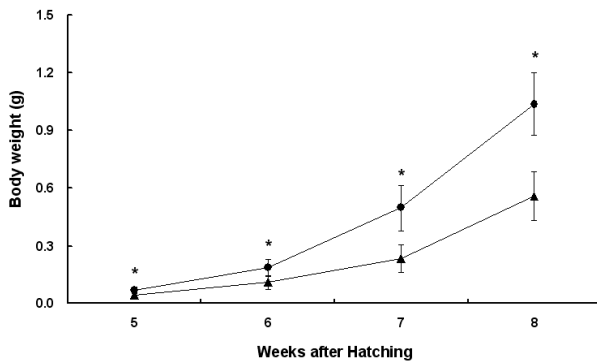


Fig. 4. Body weight of selected line for rapid growth (SF, ●) and unselected line (UF, ▲) of olive flounder, *Paralichthys olivaceus* cultured. Values are mean±SD (n=60). *P<0.001.

째부터는 SF구가 UF보다 전장이 크게 나타나기 시작하였으며(Fig. 5), 실험종료시에는 각각 50.49±2.67, 40.55±3.13 mm로 SF구가 UF구에 비해 24.5% 빨랐다(Fig. 3)(P<0.001).

SF 및 UF구의 체고는 부화후 1주째에 각각 1.13±0.08,

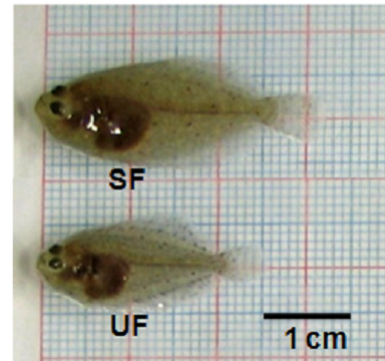


Fig. 5. Qualitative comparisons of body size of selected line for rapid growth (SF) and unselected line (UF) of olive flounder, *Paralichthys olivaceus* cultured. Each fish was sampled at 6 weeks after hatching. The fish shown are generally representative of their respective experimental groups.

1.18±0.07 mm였으며, 4주째부터 SF구가 UF구보다 성장이 빠르기 시작하여(Fig. 5), 실험종료시에는 SF구 및 UF구의 체고가 각각 16.30±0.085, 13.50±0.96 mm로 SF가 UF구에 비해 20.7% 크게 나타났다(Fig. 3)(P<0.001).

부화후 5주째에 SF 및 UF구의 체중은 각각 0.068±0.016, 0.041±0.014 g으로 서로간의 차이를 보였으며, 실험종료시에는 각각 1.036±0.118, 0.557±0.073 g으로 SF구가 UF구에 비해 43.0% 빨랐다(Fig. 4)(P<0.001).

2) 체형지수 및 비만도

실험 종료시인 부화 8주째에 체형지수를 조사한 결과, SF구와 UF구는 각각 0.85±0.02, 0.82±0.03으로 SF구가 유의하게 높았으며(P<0.001), 비만도는 각각 7.99±0.33, 8.22±0.52로 SF구가 UF구에 비해 유의하게 낮았다(P<0.01)(Table 2).

Table 2. Body shape and condition factor of selected line for rapid growth (SF) and unselected line (UF) of olive flounder, *Paralichthys olivaceus* cultured at 8 weeks after hatching

Body shape		Condition factor	
SF	UF	SF	UF
0.85±0.02**	0.82±0.03	7.99±0.33*	8.22±0.52

Values are mean±SD (n=60). *P<0.01, **P<0.001

고 찰

육종 프로그램은 품종의 생산성 및 품질을 향상시키는데 그 목적이 있으며, 또한 주요 경제형질(예, 사료효율, 성장률, 질병 저항성, 품질, 성숙연령 등)이 포함되어야 한다(Gjedrem, 2000). 왜냐하면 어류의 빠른 성장과 높은 사료효율은 성공적 어류 양식의 결정적 요인이 될 수 있기 때문이다(Sizemore & Siegel, 1993; Fjalestad et al., 2003). 본 연구에서는 주요 경제형질 중의 하나인 성장률과 관련하여 2세대 동안 육종한 넙치로부터 생산된 수정란의 부화율과 이후 부화한 자치어의 성장률에 대한 육종효율을 검증하고자 하였다.

일반적으로 어류의 난질, 부화율 및 자어 기형률은 어류의 성공적인 종묘 생산에 있어 매우 중요한 요인이며(Kjørsvik et al., 1990), 이들은 주로 어미의 영양상태, 스트레스, 유전, 과숙, 수질 등 다양한 요인에 의해 영향을 받는다(Westernhagen et al., 1988; Bromage et al., 1994; Cameron et al., 1996; Brooks et al., 1997; Makhotin et al., 2001). 또한 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*)에서 근친교배는 수정률, 부화율 및 기형률을 감소시킨다는 보고가 있다(Su et al., 1996; Kincaid, 1976). 본 연구에서는 SF구와 UF구에 비해 부화율이 높고 기형률이 낮았는데, 이는 SF구와 UF구의 근친 정도는 정확히 파악할 수 없으므로 근친을 배제한다면 아마도 어미의 내인성 요인(연령, 영양상태, 성장 관련 호르몬 분비 등) 및 환경적 요인(수온, 염분, 광주기 등)에 기인한 것으로 여겨진다.

선발 육종에 의한 성장 개선은 주로 연어과 어류에서 많이 나타나고 있다. Thodesen 등(1999)은 5세대 동안 선발된 대서양연어와 자연산 대서양연어의 성장을 비교한 결과, 전자가 성장이 더 빨랐으며, 이러한 결과는 더 많은 사료 섭취량과 높은 사료효율 때문인 것으로 보고하고 있다. 또한 16세대 동안 성장을 위해 육종된 은연어(*Oncorhynchus kisutch*)는 자연산보다 성장이 빨랐는데, 이 역시 사료 섭취율, 사료효율 및 단백질 대사가 육종 은연어에서 높은 것으로 나타났다(Neely, 2008). 이 외에도 빠른 성장과 사료효율의 상호관계는 다른 어종에서도 확인되고 있다(Li et al., 1998; Smith et al., 1988). 본 연구에서도 육종 넙치 속성장 품종인 SF구는 UF구보다 성장이 유의하게 빨랐다. 이러한 이유는 다음과 같이 해석해 볼 수 있다. 일반적으로 수정란의 부화후, 자치어 생산시 초기 먹이 생물인 로티퍼와 알테미아 밀도를 일

정 수준으로 유지하기 위하여 공급하게 된다. 본 연구에서는 SF구가 UF구보다 상대적으로 이들 먹이생물이 많이 공급되었는데, 이것은 SF구가 UF구보다 먹이 섭취량이 많았기 때문인 것으로 보여 진다. 또한 4주째부터 성장의 차이가 나타난 것은 다음과 같이 추론해 볼 수 있다. 초기 자어의 발달과 성장에 있어 호르몬은 매우 중요한 역할을 하며, 특히 갑상선호르몬, 코티졸, 성장호르몬, 프로락틴은 이러한 과정에 필수적인 호르몬이다(Brown & Bern, 1989). 넙치에서 이들 호르몬의 분비세포는 부화후 약 25일에 변태(metamorphosis)와 더불어 급속히 발달하므로(Tanaka et al., 1995), 변태전까지는 호르몬에 의한 성장 차이를 보이지 않다가, 변태 이후에 SF구는 많은 먹이섭취량으로 인해 에너지 섭취가 상대적으로 많아지게 되며, 이는 성장에 필요한 호르몬 합성 및 분비에 사용되어 최종적으로 성장이 UF구보다 촉진되는 것으로 추정해 볼 수 있다. 특히 넙치 변태후 초기 치어기에는 성장을 위해 성장호르몬과 프로락틴이 계속적으로 증가하며, 이를 위해서는 외부로부터 단백질 요구량이 높아진다고 보고된 바 있다(Tanaka et al., 1995). 본 연구에서는 초기 배합사료 공급량 및 섭취량을 조사하지는 못했지만, 먹이 생물 섭취량을 고려해 볼 때 배합사료 섭취량도 SF구가 UF구보다 많았을 것으로 생각된다. 이는 성장에 필요한 단백질 섭취가 SF구가 UF구에 비해 더 많음을 의미하며, 이로 인해 성장이 SF구가 더 빠른 것으로 보여 진다. 실제적으로 육종 은연어와 자연산 은연어에서 단백질 섭취량과 단백질 대사 제거율은 육종 은연어가 더 높았으며, 이러한 패턴은 메기(*Ictalurus punctatus*)를 비롯하여 육상 가축에서도 나타나고 있다(양: Cammack et al., 2005; 돼지: Woltmann et al., 1992; 토끼: Ozimba & Lukefahr, 1991; 쥐: Lin et al., 1979). 일반적으로 어류에서 성장 변이는 많은 내·외부적인 요인 때문이며, 여기에는 어미의 영향(Heath et al., 1999), 배 발달 속도(Robison et al., 2001), 위 크기(Rindorf, 2002; Grove et al., 1978), 먹이 섭취량(Ogata et al., 2002; Mambrini et al., 2006), 대사율(Boily & Magnan, 2002), 수온과 유전자형(Wangila & Dick, 1988), 습성(White, 1985; Robinson & Doyle, 1990; Ruzzante, 1994) 및 소화효율을 들 수 있다(Bendiksen et al., 2003; Menoyo et al., 2003). 따라서 성장률에 있어 이와 같은 근본적인 변이 요인들을 이해하는 것은 효과적인 육종 프로그램 개발과 성장 성과의 예측을 가능하게 할 것으로 보인다.

일반적으로 양식산 넙치의 체고는 자연산의 체고보다 높게 나타나고 있는데, 이것은 수정란 생산업체의 넙치 선발방향이 체형보다는 체중 중심으로 이루어진 결과로 추정된다 (Kim et al., 2008). 본 연구에서 사용된 SF구의 선조인 F₁ 및 F₂ 선발시에는 넙치의 전장, 체중 크기뿐만 아니라 전장에 대한 체고의 비를 양식산과 자연산 중간 형질로 맞추었다. 그 결과, SF구의 체형지수는 0.85로 UF구의 0.82보다 높았다. 또한 비만도를 조사한 결과 SF구와 UF구가 각각 7.99, 8.22로 SF구가 낮았다. 이러한 결과는 전장에 대한 체고의 길이가 SF구가 상대적으로 UF구보다 작음을 나타내며, 이것은 SF구가 자연산에 가깝게 체형형질이 개선되었음을 시사한다.

이상의 결과를 종합해 보면, 성장도를 우선 형질로 하여 선발된 육종 넙치 품종이 일반 대조구 넙치보다 성장이 월등히 빨랐으며, 이러한 이유는 육종에 의한 먹이 섭취량이 많았기 때문인 것으로 추정된다. 앞으로는 단지 먹이 섭취량을 증가시켜 속성장을 유도했는지, 사료효율을 높여 성장이 빨랐는지에 대한 연구가 더 필요하며, 이와 더불어 영양 및 에너지 대사, 체성분 및 소화능력까지도 조사해야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 국립수산물과학원(육종기술개발, RP-2009-AQ-087)의 지원에 의하여 연구되었습니다.

인용문헌

- Bendiksen EA, Berg OK, Jobling M, Arnesen AM, 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, 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.
- Bromage N, Bruce M, Basavaraja M, Rana K, Shields R, Young C, Dye J, Smith P, Gillespie M, Gamble J (1994) Egg quality determinants in finfish: the role of over-ripening with special reference to the timing of stripping in the Atlantic halibut *Hippoglossus hippoglossus*. *J World Aquacult Soc* 25:13-21.
- Brooks S, Tyler CR, Sumpter JP (1997) Egg quality in fish: what makes a good egg? *Rev Fish Biol Fish* 7: 387-416.
- Cameron P, Berg J, Westernhagen HV (1996) Biological effects monitoring of the North Sea employing fish embryological data. *Environ Monit Assess* 40:107-124.
- Brown CL, Bern HA (1989) Hormones in early development with special reference to teleost fishes. In: Scanes CG, Scheibman MP (eds.) *Hormones in Development, Maturation and Senescence of Neuroendocrine Systems*. Academic Press, New York, pp 289-306.
- Cammack KM, Leymaster KA, Jenkins TG, 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.
- Fjalestad KT, Moen T, 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 Aquacult* 28:33-45.
- Gjedrem T (2000) Genetic improvement of cold-water species. *Aquac Res* 31:25-33.
- Grove DJ, Loizides LG, Nott J (1978). Satiation amount, frequency of feeding and gastric emptying rate in *Salmo gairdneri*. *J Fish Biol* 12:507-516.
- Heath DD, Fox CW, 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, Myeong JI (2008) 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 Aquaculture 21:317-324 (in Korean).
- Kincaid HL (1976) Effect of inbreeding on rainbow trout population. Trans Am Fish Soc 105:273-280.
- Kjørsvik E, Mangor-Jensen A, Holmefjord I (1990) Egg quality in fishes. Adv Mar Biol 26:71-113.
- Li MH, Robinson EH, 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 JG, 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 1. J Nutr 109:1143-1153.
- Makhotin V, Solemdal P, Korsbrekke K, Salhaug A (2001) Types and Frequency of Malformations and Mortality in Eggs of Arcto-Norwegian Cod: A Field Study. pp 1-17.
- Mambrini M, Labbe L, Randriamanantsoa F, 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, 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, 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, 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, Lukefahr SD (1991) Evaluation of purebred and crossbred rabbits for carcass merit. J Anim Sci 69:2371-2378.
- Rindorf A (2002) The effect of stomach fullness on food intake of whiting in the North Sea. J Fish Biol 61:579-593.
- Robinson BW, Doyle RW (1990) Phenotypic correlations among behavior and growth variables in tilapia: implications for domestication selection. Aquaculture 85:177-186.
- Robison BD, Wheeler PA, Sundin K, Sikka P, Thorgaard GH (2001) Composite interval mapping reveals a major locus influencing embryonic development rate in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). J Heredity 92:16-22.
- Ruzzante DE (1994) Domestication effects on aggressive and schooling behavior in fish. Aquaculture 120:1-24.
- Sizemore FG, 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.
- Smith RS, Kincaid HL, Regenstein JM, 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.
- Su GS, Liljedahl LE, Gall GAE (1996) Genetic and environmental variation of body weight in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 144:71-80.
- Tanaka M, Tanangonan JB, Tagawa M, de Jesus EG, Nishida H, Isaka M, Kimura R, Hirano T (1995) Development of the pituitary, thyroid and interrenal glands and applications of endocrinology to the improved rearing of marine fish larvae. Aquaculture 135:111-126.
- Thodesen J, Grisdale-Hellend B, Helland SJ, 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, 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.
- Westernhagen H, Dethlefsen V, Cameron P, Berg J, Furstenberg G (1988) Developmental defects in pelagic fish embryos from the western Baltic. Helgol Wiss Meeresunters 42:

13-36.

White JR (1985) Determination of the energetic cost of swimming from the analysis of growth rate and body composition in juvenile chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*. *Comp Biochem Physiol A* 81:25-33.

Woltmann MD, Clutter AC, Buchanan DS, Dolezal HG (1992) Growth and carcass characteristics of pigs selected

for fast of slow gain in relation to feed intake and efficiency. *J Anim Sci* 70:1049-1059.

농림수산식품부, 2008. 2007어업생산통계연보.

(received 2 October 2009, received in revised form 3 November 2009, accepted 9 November 2009)