

동일연령군에서 크기 선별에 따른 넙치(*Paralichthys olivaceus*)의 성장, 사료효율 및 생존율의 비교

김중현, 김현철, 이정호, 노재구, 이미숙, 김경길*
국립수산과학원 어류육종연구센터

Effect of Size Grading on Growth, Feed Efficiency and Survival in Olive Flounder (*Paralichthys olivaceus*)

Jong-Hyun Kim, Hyun Chul Kim, Jeong-Ho Lee, Jae Koo Noh, Mi Sug Lee and Kyung-Kil Kim*
Fish Genetics and Breeding Research Center, National Fisheries Research and Development Institute, Geoje 656-842, Korea

This study was conducted to evaluate the effects of size grading on growth, feed efficiency and survival of juvenile olive flounder. Juvenile flounder were divided into four groups by initial average size; Small group (1.3 ± 0.23 g), medium group (3.1 ± 0.45 g), large group (4.9 ± 0.57 g) and ungraded group (3.3 ± 1.66 g). Triplicate groups of 100 fish were reared over 8 weeks. In final body weight distribution, frequency of the small size flounder (10 g) was markedly higher in the ungraded group than in the small group. Specific growth rate, feed efficiency and survival in the ungraded group were significantly lower ($P < 0.05$) than those in the pooled data of the other three graded groups, although feed intake in the ungraded group was significantly higher ($P < 0.05$) than that of the pooled data of the other three graded groups. These results show that the small flounder gained significantly faster growth and higher survival in the absence of the large flounder. Therefore, size grading seems to be an important and necessary operation to improve the growth and survival of juvenile olive flounder (1-5 g).

Keywords: *Paralichthys olivaceus*, Size grading, Growth, Feed efficiency, Survival

서 론

넙치(*Paralichthys olivaceus*)는 동북아시아에서 중요한 양식 대상종으로 이 종에 대한 공식(cannibalism)과 같은 개체간 상호작용(social interaction)은 사망률 증가의 한 원인으로 밝혀진 바 있다(Dou et al., 2000). 개체간 성장 차이 및 크기 서열은 주로 종묘생산 시기에 관찰되어 착저하는 자어들간에서 공식 현상이 나타나게 되고, 그 결과로서 자어의 사망률은 높아질 수 있다(Dou et al., 2000; Sakakura and Tsukamoto, 2002).

이에 어류의 크기에 따른 선별은 성장과 생존율의 향상뿐만 아니라 용이한 먹이공급, 수확 등과 같은 사육의 편리를 목적으로 많은 양식대상종의 사육에 사용된다(Gunnes, 1976; Baardvik and Jobling, 1990; Popper et al., 1992; Kamstra, 1993; Lambert and Dutil, 2001). 크기 선별의 주된 개념은 개체간 상호작용의 부정적인 효과를 막기 위해서 소형 및 대형 개체를 서로 분리하는 것이다(Gunnes, 1976; Knights, 1987). 일부 어종에 있어 대형 개체는 함께 사육되는 소형 개체보다 더 높은 성장률을 나

타낸다(Jobling, 1985; 1995; Saclauso, 1985). 개체간 성장 차이는 먹이 경쟁이 중요한 요소로 작용하며(Wallace and Kolbeinshavn, 1988; Jobling and Koskela, 1996), 대형 개체로부터의 경쟁이 없는 곳에서 소형 개체는 우세 서열의 부정적인 효과를 피하고 더 높은 성장률을 성취할 수 있다(Jobling and Reinsnes, 1987).

그러나 이와 같은 크기 선별이 반드시 서열 형성을 붕괴시키고, 성장 향상을 이끄는지에 대해서는 의문스럽다. 더욱이 일부 어종의 경우 크기 선별은 동등한 크기의 어류간에서 높은 수준의 상호작용 때문에 성장 감소를 나타내고 있으며(Doyle and Talbot, 1986; Baardvik and Jobling, 1990), 최근 우리나라에서 들돔(*Oplegnathus fasciatus*) 치어를 대상으로 한 실험에서도 크기 선별은 성장을 향상시키지 못하였다(Kim et al., 2004). 비록 중간에서 스트레스 내성의 차이가 있을지라도 크기 선별 그 자체는 본질적으로 어류에 대해 스트레스를 주는 절차이다(Davis and Parker, 1990; Waring et al., 1992). 또한 크기 선별은 선별 기구를 통해 이루어질지라도 노동력이 많이 소모되는 작업이며, 여기에도 크기 선별에 따른 handling 피해, 질병 발생 및 성장 감소의 부담까지 고려한다면, 선별 비용은 더욱 높아질 수 있다.

*Corresponding author: k48722@momaf.go.kr

현재까지 우리나라의 넙치에 있어 개체의 성장과 생존율에 미치는 크기 선별의 효과에 대해서는 정보가 거의 없다.

이 연구는 동일연령군의 넙치 치어를 개체 크기별로 선별하여 8주동안 사육하면서 크기에 따른 선별이 어류의 성장, 사료 효율 및 생존율에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

실험어는 국립수산과학원 어류육종연구센터에서 양식산 어미로부터 생산된 동일연령의 넙치 치어(전장 6.7 ± 1.24 cm, 체중 3.2 ± 1.57 g)를 사용하였다. 사육기간은 2004년 6월 30일부터 8월 25일까지 8주간(사료 공급일수 52일)이었으며, 실험어는 한 수조에 100마리씩 수용하여 3반복으로 실험하였다. 사육 수조는 350 L 용량의 원형 FRP 수조(수량 230 L)를 사용하여 여과해수를 실험수조마다 5-15 L/min으로 흘려주었고, 먹이는 상업용 배합사료(Jeil Feed Co., Korea)를 1일 2회 먹지 않을 때까지 충분히 공급하였다. 사육기간동안 수온은 16.8 - 26.1°C , 염분은 30.7 - 34.8 psu, 그리고 DO는 6.0 - 7.9 mg/L 범위였다.

선별은 실험시작 일주일 전에 실시하였으며, 이 때 실험어의 체중이 2.0 g 이하로 구성된 실험구를 small group, 체중 2.1-4.0 g 범위의 실험구를 midium group, 체중 4.1 g 이상의 실험구를 large group, 그리고 실험어를 무작위 추출한 실험구를 ungraded group으로 명명하고, 선별 group의 평균값을 구하여 ungraded group과 비교하기 위해 small, medium 및 large group의 값을 모아 선별 group의 pooled data를 산출하였다. 실험시작시 전장과 체중은 small group이 각각 5.1 ± 0.28 cm, 1.3 ± 0.23 g,

medium group이 각각 6.9 ± 0.33 cm, 3.1 ± 0.45 g, large group이 각각 8.0 ± 0.28 cm, 4.9 ± 0.57 g, ungraded group이 각각 6.7 ± 1.25 cm, 3.3 ± 1.66 g, 그리고 선별 group의 pooled data가 각각 6.7 ± 1.23 cm, 3.1 ± 1.54 g이었다(Figs. 1 and 2). 그리고 실험시작시 사육밀도는 small group이 231 g/m², medium group이 540 g/m², large group이 852 g/m², ungraded group이 562 g/m², 그리고 선별 group의 pooled data가 541 g/m² 이었다.

성장은 2주 간격으로 개체별 전장과 체중을 측정하였으며, 체중에 대한 변동계수(standard deviation/mean weight), 일일성장률[(ln final weight-ln initial weight)/rearing days] 및 사료효율(weight gain/feed intake, DM)을 계산하여 각 실험구간의 값을 비교하였다. 사육 중 죽은 어체는 사료공급 후 관찰하여 건져내었으며, 실험종료시 생존한 개체수에 대한 백분율로 생존율을 나타내었다.

실험 결과는 One-way ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test로 처리 평균간의 유의성($P < 0.05$)을 Statview 8.02 Korean version (SAS Institute, Cary, NC, USA)으로 검정하였다.

결 과

실험시작시 ungraded group의 전장은 선별 group (small group; medium group; large group)의 pooled data와 비교하여 7-8 cm 개체의 분포 빈도를 제외하고는 분포 범위와 빈도에 있어 서로 유사하였다(Fig. 1A and B). 실험종료시 ungraded group의 전장은 10-19 cm로 분포하여 범위에 있어 선별 group의

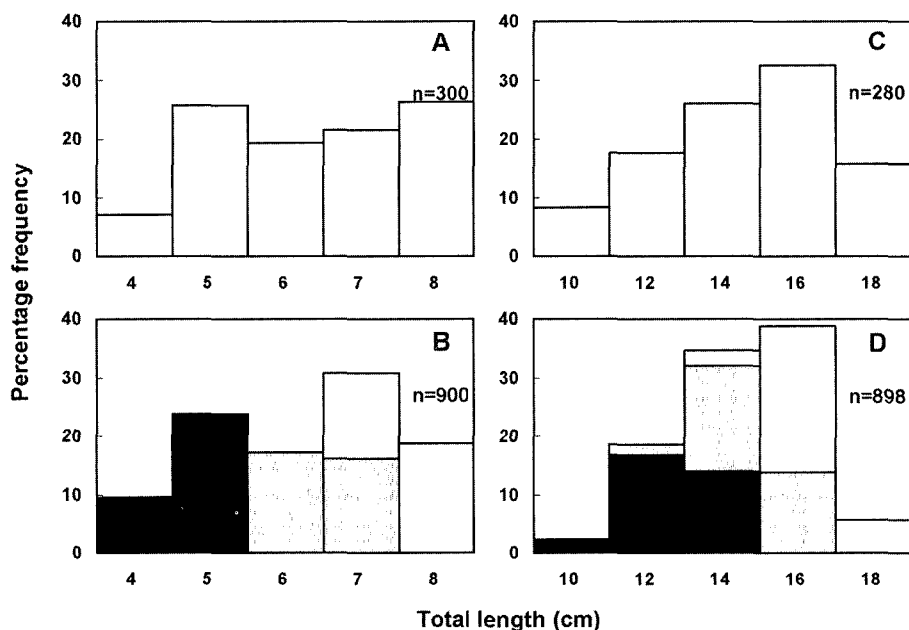


Fig. 1. Total length distribution of fish at the start (A, B) and at the end (C, D) of the experiment. A and C show length distributions for ungraded group whereas B and D show pooled data for graded groups (small, medium and large groups). Small and medium groups are represented by the solid and stippled columns, respectively.

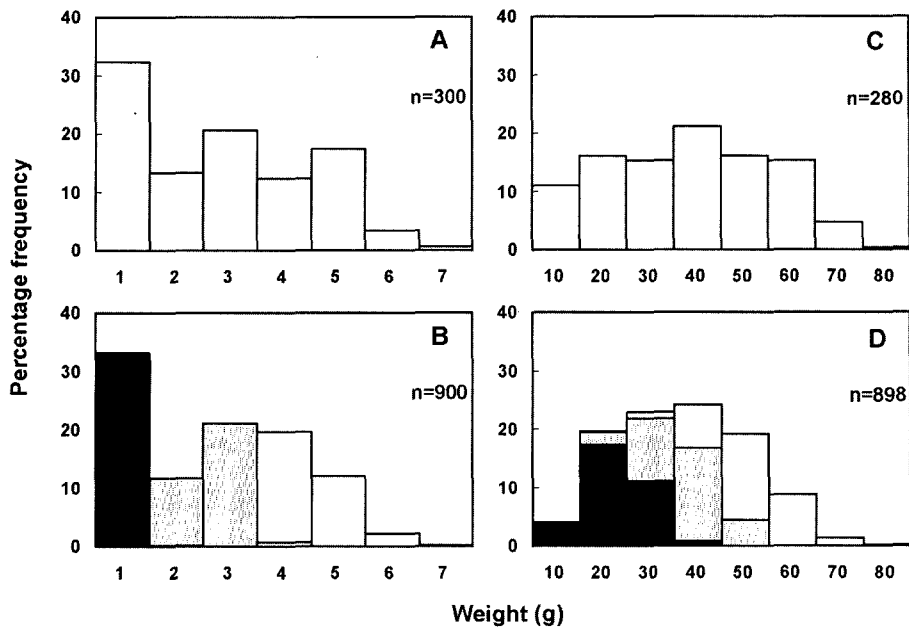


Fig. 2. Weight distribution of fish at the start (A, B) and at the end (C, D) of the experiment. A and C show weight distributions for ungraded group whereas B and D show pooled data for graded groups (small, medium and large groups). Small and medium groups are represented by the solid and stippled columns, respectively.

pooled data와 유사하게 나타났으나, 전장의 분포 빈도에 있어서는 10 cm 수준의 소형 개체 빈도에서 ungraded group이 8.2%로 small group의 2.3%에 비해 높고, 18 cm 수준의 대형 개체 빈도에서 ungraded group이 15.7%로 large group의 5.7%에 비해 높게 나타나 선별 group과 ungraded group 간에서 차이를 보였다(Fig. 1C and D). 체중에 있어서는 실험시작시 4-5 g 개체의 분포 빈도를 제외하고는 선별 group의 pooled data와 ungraded group 간에서 분포 범위와 빈도에 있어 서로 유사하였고(Fig. 2A and B), 실험종료시에도 이들의 체중이 10-82 g으로 분포하여 범위에 있어 서로 유사하게 나타났다(Fig. 2C and D). 그러나 실험종료시 체중의 분포 빈도에 있어서는 10 g 수준의 소형 개체 빈도에서 ungraded group이 11.1%로 small group의 3.9%에 비해 높고, 60 g 수준의 대형 개체 빈도에서 ungraded group이 15.4%로 large group의 8.8%에 비해 높게 나타나 선별 group과 ungraded group 간에서 차이를 나타내었다(Fig. 2C and D).

실험일수에 대한 체중의 성장은 실험시작시 ungraded group이 3.3 ± 0.01 g으로 medium group의 3.1 ± 0.02 g 및 선별 group의 pooled data의 3.1 ± 0.01 g에 비해 높았으나($P < 0.05$), 실험종료시에는 ungraded group이 40.4 ± 1.16 g, medium group이 41.7 ± 0.41 g, 선별 group의 pooled data가 41.5 ± 0.05 g으로 서로 유사한 체중을 보였다(Fig. 3). 그리고 small group과 large group의 체중은 다른 실험구들에 비해 실험종료시까지 지속적으로 각각 낮고 높게 유지되었다. 체중에 대한 small group, medium group 및 large group의 변동계수는 실험어의 체중이 증가할수록 증가한 반면, 선별 group의 pooled data와 ungraded

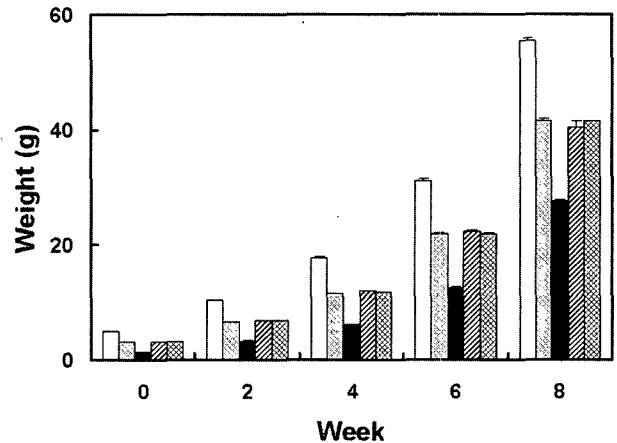


Fig. 3. Mean weights with standard errors of graded and ungraded groups of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) reared over 8 weeks. □, Large group; ▨, Medium group; ■, Small group; ▩, Ungraded group; ▤, The small, medium and large pooled.

group에 있어서는 감소하는 것으로 나타났으며, 특히 선별 group의 pooled data의 경우 체중 증가에 따라 변동계수의 급격한 감소를 나타내었다(Fig. 4). 실험 전 기간을 통하여 각 실험구의 일일성장률은 small group이 $5.8 \pm 0.02\%$, medium group이 $5.0 \pm 0.01\%$, large group이 $4.7 \pm 0.02\%$, ungraded group이 $4.8 \pm 0.06\%$, 선별 group의 pooled data가 $5.0 \pm 0.01\%$ 로, small group 및 large group에서 각각 최고치 및 최저치를 보였으며, medium group과 선별 group의 pooled data는 ungraded group에 비해 높은 수치의 일일성장률을 나타내었다($P < 0.05$, Table 1). 그리고 사료섭취율은 ungraded group이 $2.11 \pm 0.005\%$ 로 medium group

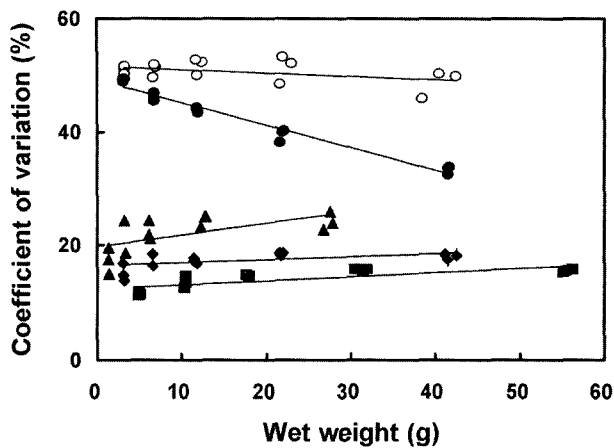


Fig. 4. Coefficient of variation (weight, %) plotted against wet weight (g) for graded and ungraded groups of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). ■, Large group; ◆, Medium group; ▲, Small group; ○, Ungraded group; ●, The small, medium and large pooled. Lines indicate log-regression of the data.

의 $2.08 \pm 0.011\%$ 및 선별 group의 pooled data의 $2.07 \pm 0.006\%$ 에 비해 높게 나타난 반면, 사료효율에 있어서는 ungraded group이 1.55 ± 0.008 로 medium group의 1.59 ± 0.009 및 선별 group의 pooled data의 1.60 ± 0.004 에 비해 낮게 나타났다($P < 0.05$). 8주의 실험기간동안 전체 1,200마리 중 22마리의 실험어가 사망하였으며(Figs. 1 and 2), ungraded group의 생존율은 $93.3 \pm 0.88\%$ 로 99.3% 이상으로 나타난 다른 실험구들에 비해 유의적으로 낮게 나타났다($P < 0.05$, Table 1).

고찰

개체 크기에 따른 우열과 관련이 있는 넙치 치어의 공격성은 본래부터 타고난 공식 행동으로 나타난다(Dou et al., 2000; Sakakura and Tsukamoto, 2002). 이에 따라 넙치 치어의 크기 서열은 개체간의 상호작용과 성장에 영향을 미칠 수 있다(Dou et al., 2004). 본 연구에서도 실험종료시 체중의 분포에 따른 소형 개체(체중 10 g)의 빈도는 ungraded group에 비해 크기 선별한 small group에서 매우 낮게 나타났다. 그리고 체중에 대한 ungraded group의 변동계수는 실험어의 크기가 증가할수록 완만하게 감소한 반면, 선별 group (small group; medium group; large group)의 pooled data에 있어서는 체중 증가에 따라 변동

계수의 급격한 감소를 나타내었다. 이러한 결과는 실험이 진행되면서 선별 group의 pooled data에서 개체간 작은 성장 차이를 보이면서 크기가 같게 되는 데 비해 우열이 존재하는 ungraded group에서는 개체간의 크기 차이가 실험시작시와 같이 지속되고 있음을 나타낸다. 개체간의 크기 차이는 경쟁에 의해 억제 받는 집단에서 증가하기 때문에(Jobling, 1995), 본 연구의 ungraded group에서 개체간 성장 차이가 지속되는 현상은 넙치 치어에서도 먹이섭취 및 영역 차지 등의 생태학적 경쟁 및 우열에 따른 것으로 추측된다.

실험어 개체간 크기 차이가 매우 큰 ungraded group에 있어서는 개체간 상호작용의 부정적인 효과 때문에, ungraded group 보다는 크기를 선별한 group에서 더 좋은 성장을 기대할 수 있다(Jobling and Reinsnes, 1987; Knights, 1987). 본 연구에서도 선별 group의 pooled data는 ungraded group에 비해 높은 수치의 일일성장률을 나타내었다. 그래서 넙치 치어의 크기 선별은 대형 개체로부터 소형 개체의 분리에 따른 성장 향상에 비례하여 선별 group의 성장 향상을 초래하였다. 이와 유사한 결과는 Atlantic salmon, *Salmo salar* (Gunnes, 1976), gilthead sea bream, *Sparus auratus* (Popper et al., 1992) 및 나일틸라피아, *Oreochromis niloticus* (Brzeski and Doyle, 1995)에서 관찰된 바 있으나, 반면 크기 선별이 Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (Wallace and Kolbeinshavn, 1988; Baardvik and Jobling, 1990), 유럽산 뱀장어, *Anguilla anguilla* (Kamstra, 1993), turbot, *Scophthalmus maximus* (Sunde et al., 1998), Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus* (Stefansson et al., 2000), Atlantic cod, *Gadus morhua* (Lambert and Dutil, 2001) 및 돌돔(Kim et al., 2004)의 성장을 향상시킬 수 없음이 제시된 바 있다. 이러한 결과로부터 개체간에서 큰 크기 차이가 필수적으로 높은 수준의 경쟁 및 호전적인 상호작용을 이끄는 것이 아님과 동시에, 성장 저하를 초래하는 것도 아님을 검토해 볼 수 있다(Baardvik and Jobling, 1990; Sunde et al., 1998; Stefansson et al., 2000).

제한적인 먹이공급 조건 하에서 일어나는 어류 집단 내 서열의 출현은 잘 알려진 현상이며(Wallace and Kolbeinshavn, 1988), Jobling and Koskela (1996)는 먹이공급에 따른 무지개송어, *Oncorhynchus mykiss* 개체간의 성장 차이를 분석하여 먹이를 공급하지 않은 시기에는 먹이섭취의 서열이 설립되었으나, 이후 먹이를 충분히 공급하여 순식간에 먹이섭취 서열이 붕괴되

Table 1. Specific growth rate, feed intake, feed efficiency and survival of graded and ungraded groups of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*)

Group	SGR (%)	Feed intake (%)	Feed efficiency	Survival (%)
Small	5.8 ± 0.02^a	2.10 ± 0.006^{ab}	1.66 ± 0.003^a	99.3 ± 0.67^a
Medium	5.0 ± 0.01^b	2.08 ± 0.011^{bc}	1.59 ± 0.009^b	100.0 ± 0.00^a
Large	4.7 ± 0.02^d	2.06 ± 0.007^c	1.57 ± 0.009^c	100.0 ± 0.00^a
Ungraded	4.8 ± 0.06^c	2.11 ± 0.005^a	1.55 ± 0.008^c	93.3 ± 0.88^b
Small, medium and large pooled	5.0 ± 0.01^b	2.07 ± 0.006^c	1.60 ± 0.004^b	99.8 ± 0.22^a

Values (mean \pm SE of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P < 0.05$).

있음을 보고하였다. 따라서 충분한 먹이의 공급은 실험어의 공격성을 줄이는 데 있어 중요한 요인이 될 수 있으며(Jobling, 1985; Sunde et al., 1998), 이에 본 연구에서는 실험기간 중 크기를 측정하는 일자를 제외하고는 사료를 지속적으로 충분하게 공급하였는데, 이를 통해 ungraded group의 사료섭취율은 선별 group의 pooled data에 비해 높게 나타났다. 이와 유사하게 Dou et al. (2004)에 의하면, 넙치 치어에게 충분한 먹이가 공급될 때 소형 개체는 대형 개체와 공존하는 곳에서도 대형 개체가 존재하지 않을 때처럼 많은 먹이를 섭취함을 지적하였다. 그리고 Dou et al. (2000)은 넙치 치어의 공격성이 먹이 부족 기간동안 두드러지게 될 수 있으며, 먹이 공급이 제한적일 때 개체간 우열의 차이가 더욱 증가될 수 있음을 보고하였다.

본 연구에서 ungraded group의 생존율은 선별 group들에 비해 유의적으로 낮게 나타났는데, 실험기간 중 죽은 개체는 대부분의 소형 개체 중에서도 가장 작은 개체였고, 먹이를 공급하지 않은 크기 측정일 직후에 집중적으로 나타났으며, 죽은 어류에서 공격받은 흔적이 뚜렷하게 관찰되었다. 그리고 대형 개체가 소형 개체를 공격하는 현상은 이 시기에 자주 관찰되었으며, Dou et al. (2004)이 고찰한 바와 같이 대부분의 소형 개체에서 발생하는 육체적인 손상으로부터의 회복은 과외의 에너지 소비를 수반하여 최종 결과로서 ungraded group에서 성장과 사료효율의 감소까지 이끌 수 있는 것으로 생각된다. 또한 개체간 공격 행동이 나타나는 동안, 우열을 나타내는 높고 낮은 서열의 개체 양쪽은 모두 어느 정도의 스트레스를 경험하지만, 낮은 서열의 개체에게만은 스트레스가 계속 유지된다(Stefansson et al., 2000; Dou et al., 2004). 따라서 ungraded group에서 개체간 우열의 존재로 나타나는 생리적인 스트레스는 대형 개체에 비해 소형 개체에서 활성이 낮아지고 성장이 느려지게 하는 원인으로 판단된다.

결론적으로 크기가 작은 넙치는 큰 넙치가 없는 곳에서 유의하게 빠른 성장과 높은 생존율을 나타내었다. 따라서 크기 선별은 넙치 치어(체중 1-5 g)의 성장과 생존율을 향상시키기 위해서 중요한 작업이 될 수 있다.

요 약

동일연령군의 넙치 치어를 개체 크기별 4개의 group (small group, 체중 1.3 ± 0.23 g; medium group, 체중 3.1 ± 0.45 g; large group, 체중 4.9 ± 0.57 g; ungraded group, 체중 3.3 ± 1.66 g)으로 나누어 8주동안 사육하면서 크기 선별이 어류의 성장, 사료효율 및 생존율에 미치는 영향을 조사하였다. 실험종료시 체중의 분포에 따른 소형 개체(체중 10 g)의 빈도는 크기 선별한 small group에 비해 ungraded group에서 매우 높게 나타났다. 실험 전 기간동안의 일일성장률은 small group 및 large group에서 각각 최고치 및 최저치를 보였으며, medium group과 선별 group (small group; medium group; large group)의 pooled data는

ungraded group에 비해 높은 수치의 일일성장률을 나타내었다 ($P < 0.05$). 사료섭취율은 ungraded group이 medium group 및 선별 group의 pooled data에 비해 높았던 반면, 사료효율에 있어서는 ungraded group이 이들에 비해 낮게 나타났다($P < 0.05$). 그리고 ungraded group의 생존율은 93.3%로 99.3% 이상으로 나타난 다른 실험구들에 비해 유의적으로 낮게 나타났다($P < 0.05$). 결론적으로 크기가 작은 넙치는 큰 넙치가 없는 곳에서 유의하게 빠른 성장과 높은 생존율을 나타내었다. 따라서 크기 선별은 넙치 치어(체중 1-5 g)의 성장과 생존율을 향상시키기 위해서 중요한 작업이 될 수 있다.

감사의 글

이 연구는 국립수산물과학원(어류 육종 프로그램 연구(넙치), RP-2005-AQ-012)의 지원에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

- Baardvik, B. M. and M. Jobling, 1990. Effect of size-sorting on biomass gain and individual growth rates in Arctic charr, *Salvelinus alpinus* L. *Aquaculture*, 90, 11-16.
- Brzeski, V. J. and R. W. Doyle, 1995. A test of an on-farm selection procedure for tilapia growth in Indonesia. *Aquaculture*, 137, 219-230.
- Davis, K. B. and N. C. Parker, 1990. Physiological stress in striped bass: Effect of acclimation temperature. *Aquaculture*, 91, 349-358.
- Dou, S., R. Masuda, M. Tanaka and K. Tsukamoto, 2004. Size hierarchies affecting the social interactions and growth of juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture*, 233, 237-249.
- Dou, S., T. Seikai and K. Tsukamoto, 2000. Cannibalism in Japanese flounder juveniles, *Paralichthys olivaceus*, reared under controlled conditions. *Aquaculture*, 182, 149-159.
- Doyle, R. W. and A. J. Talbot, 1986. Artificial selection on growth and correlated selection on competitive behaviour in fish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 43, 1059-1064.
- Gunnes, K., 1976. Effect of size grading young Atlantic salmon (*Salmo salar*) on subsequent growth. *Aquaculture*, 9, 381-386.
- Jobling, M., 1985. Physiological and social constraints on growth of fish with special reference to Arctic charr, *Salvelinus alpinus* L. *Aquaculture*, 44, 83-90.
- Jobling, M., 1995. Simple indices for the assessment of the influences of social environment on growth performance, exemplified by studies on Arctic charr. *Aquacult. Int.*, 3, 60-65.
- 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.
- Jobling, M. and T. G. Reinsnes, 1987. Effect of sorting on size-frequency distributions and growth of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* L. *Aquaculture*, 60, 27-31.

- Kamstra, A., 1993. The effect of size grading on individual growth in eel, *Anguilla anguilla*, measured by individual marking. *Aquaculture*, 112, 67–77.
- Kim, J. H., I. C. Bang, J. K. Cho and J. M. Baek, 2004. Effect of size grading on growth and sex ratio of parrot fish (*Oplegnathus fasciatus*). *J. Kor. Fish. Soc.*, 37, 197–201.
- Knights, B., 1987. Agonistic behaviour and growth in the European eel, *Anguilla anguilla* L., in relation to warm-water aquaculture. *J. Fish Biol.*, 31, 265–276.
- Lambert, Y. and J. D. Dutil, 2001. Food intake and growth of adult Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) reared under different conditions of stocking density, feeding frequency and size-grading. *Aquaculture*, 192, 233–247.
- Popper, D. M., O. Golden and Y. Shezifi, 1992. Size distribution of juvenile gilthead sea bream (*Sparus aurata*), practical aspects. *Israeli J. Aquacult. Bamidgeh*, 44, 147–148.
- Saclauso, C. A., 1985. Interaction of growth with social behaviour in *Tilapia zilli* raised in three different temperatures. *J. Fish Biol.*, 26, 331–337.
- Sakakura, Y. and K. Tsukamoto, 2002. Onset and development of aggressive behavior in the early life stage of Japanese flounder. *Fish. Sci.*, 68, 854–861.
- Stefansson, M. Ö., A. K. Imsland, M. D. Jenssen, T. M. Jonassen, S. O. Stefansson and R. FitzGerald, 2000. The effect of different initial size distributions on the growth of Atlantic halibut. *J. Fish Biol.*, 56, 826–836.
- Sunde, L. M., A. K. Imsland, A. Folkvord and S. O. Stefansson, 1998. Effects of size grading on growth and survival of juvenile turbot at two temperatures. *Aquacult. Int.*, 6, 19–32.
- Wallace, J. C. and A. G. Kolbeinshavn, 1988. The effect of size grading on subsequent growth in fingerling Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.). *Aquaculture*, 73, 97–100.
- Waring, C. P., R. M. Stagg and M. G. Poxton, 1992. The effects of handling on flounder (*Platichthys flesus* L.) and Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *J. Fish Biol.*, 41, 131–144.

원고접수 : 2005년 5월 24일

수정본 수리 : 2005년 7월 13일