

사육밀도와 먹이 공급 횟수가 대구 (*Gadus macrocephalus*)의 성장에 미치는 영향

최영웅·박홍식*·오승용

한국해양연구원

Effects of Stocking Density and Feeding Frequency on the Growth of the Pacific Cod, *Gadus macrocephalus*

Young Ung CHOI, Heung-Sik PARK* and Sung-Yong OH

Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan 426-744, Korea

This study investigated the effects of stocking density and feeding frequency (three and five times per week) on the growth of Pacific cod, *Gadus macrocephalus*. In the first experiment, experimental groups of fish (mean weight 167.8±41.4 g) were reared at three stocking densities (4, 8 and 12 kg/m³) for 16 weeks. The total weight gain was 17.8, 17.1 and 35.4% at 4, 8 and 12 kg/m³, respectively. The specific growth rates, survival rates and feeding efficiency increased with the density, but there were no significant differences ($P>0.05$). The daily feed intake decreased as the stocking density increased, whereas the condition factors increased with the stocking density ($P<0.05$). In the second experiment, groups of fish (194.1±68.3 g) were fed either three or five times a week. The total weight gain was 14.4 and 18.5% for the fish fed three and five times per week, respectively. The specific growth rates of Pacific cod fed to satiation increased with the feeding frequency, although the difference was not significant ($P>0.05$). The survival rates, daily feed intake, feed efficiency, and condition factors of the Pacific cod were not significantly different ($P>0.05$). Based on these results, the optimum stocking density for juvenile cod is above 12 kg/m³, and the best feeding frequency is three times a week, under the conditions used in this experiment.

Key words: Pacific cod, *Gadus macrocephalus*, Stocking density, Feeding frequency, Growth

서 론

어류의 성장에 관여하는 요소로서는 유전적 요인, 성장호르몬, 갑상선호르몬, 인슐린 등의 몇 가지 호르몬을 비롯한 내적요인과 사육밀도, 먹이 등의 생물적 요인을 포함하여 수온, 염분, 수질요인 등의 외적요인으로 나눌 수 있다 (Brett, 1979). 이들 요소 중 사육밀도는 개체들 간의 먹이 경쟁과 공간 경쟁의 영향에 따라 직접적으로 성장에 미치는 요소 (Brett 1979)로서 양식의 생산비용 절감을 위해 한정된 공간에서 양식대상어종의 적정성장률을 유지하면서 단위 면적당 생산성을 높이는 것은 양식경영적 측면에서 중요한 과제이다. 그리고 적정 사육밀도의 범위는 대상어종과 성장단계에 따라 차이가 있기 때문에 각 환경조건에 맞는 구멍이 필요하다 (Holm et al., 1990; Kjartasson et al., 1988; Baker and Ayles, 1990). 또한 성장에 관여하는 요인으로서 먹이는 어류양식의 경영적 측면에서 가장 높은 비중을 차지하는 부분이다. 양식대상어종의 최대성장을 유도하기 위해서는 적합한 배합사료가 사용되어야 하고, 성장단계를 고려한 적정사료공급 횟수가 결정되어 효율적으로 사료가 공급되어야 한다. 그러나 양식대상어종에 대한 적합한 사료공급방법이 정립되지 않을 경우 최대성장을 유도할 수 없고, 과잉 공급시 수질오염을 오염시켜 질병발생의 확률을 높이는 원인이 될 수 있다. 따라서 적합

한 사료공급횟수의 결정은 어류의 최대 성장과 사료효율을 향상시켜 양식생산성을 제고함과 동시에 과잉공급으로 사료가 유실되는 경제적 손실과 수질오염을 감소시킬 수 있는 중요한 요건이다 (Ng et al., 2000; Mihelakakis et al., 2002).

대구, *Gadus macrocephalus*는 우리나라와 일본, 북태평양의 알래스카만과 베링해 그리고 알류산 열도사이에 위도 34°N-63°N 사이의 분포하고, 수심 40 m-500 m에서 군집생활을 하는 냉수성 어종으로 북태평양 연안 해역에서는 상업적으로 중요한 어업자원이다 (Westrheim, 1996; NOAA, 2010). 최근 우리나라 연근해에서 대구의 어획량은 1990년대에 500톤 수준에서 2000대에 1,000-6,000 톤 사이로 증가하였지만 해황에 따라 변동 폭이 크게 나타나면서 (SK, 2010), 해당년도에 따라 공급이 불안정하고 가격의 차이가 크게 나타나고 있다. 이에 안정적인 대구자원관리와 함께 안정적인 공급을 위한 방안마련이 필요한 실정이다. 그동안 대구자원관리를 위해 금어기 설정, 체포금지체장과 기간 등에 대한 규제마련, 수정란 방류 등의 노력과 함께 Lee et al. (2005)의 한국 동해안 대구의 성숙과 산란, Seo et al. (2007)의 한국 동해계군 대구 난발생과 자치어의 성장, Lee et al. (2007)의 태평양 대구 채란, 부화 및 자어성장에 미치는 수온의 영향, Lee et al. (2009)의 대구 수정란 방류 시 부착기질과 저질의 영향 등 수정란과 자치어기의 방류를 통한 자원증강의 측면에서 연구가 진행되어 왔다. 그러나 대구를 보다 안정적으로 공급하기 위해서

*Corresponding author: hspark@kordi.re.kr

치어기 이후의 대구에 대한 양식생물학적 접근이 필요하지만 이에 대한 연구는 찾아보기 힘들다.

이 연구에서는 연중 일정하게 저수온유지가 가능한 해양심층수를 이용하여 사육밀도와 먹이 공급 횟수가 대구의 성장에 미치는 영향을 조사하여 적합한 성장을 유도하고 생산성을 향상시키기 위한 기초자료를 얻고자 하였다.

재료 및 방법

실험어 및 사육수조

실험은 대구의 사육밀도와 먹이 공급 횟수를 달리한 조건에서 성장차이를 조사하였다. 대구는 2009년 1월부터 5월까지 강원도 고성군 오호리 연안의 정치망에서 어획한 1년생 미성어 (171.9±43.3 g, NOAA, 2010)로 한국해양연구원 해양심층수센터에서 크릴새우와 인공배합사료를 혼합 공급하고, 6개월 이상 인공사육환경에서 순치사육하였다. 실험대상개체는 순치사육기간 동안 공식현상에 의해 큰 개체로부터 공격을 받아 상처가 난 개체와 성장이 더딘 개체들은 제외하고 정상적인 섭이활동과 유평하는 것들이었다. 사육수조는 원형 FRP 수조 (0.5톤)를 이용하였다.

사육밀도에 따른 성장

사육밀도에 따른 대구의 성장 차이를 조사하기 위해 2009년 10월 22일부터 2010년 2월 19일 까지 총 16주 동안 해양심층수를 이용하여 16~18 회전/일로 유지하면서 대구를 사육하였다. 대구가 정상적 대사활동을 유지하며, 생활할 수 있는 수온의 상한 13°C (Tezuka, 2006)와 자연에서 서식수온 6~9°C (Ketchen, 1961) 범위임을 고려하여 순치사육기간 동안 섭이활동을 꾸준히 유지하면서 생식활동에 적합한 온도로 관찰된 10.0±0.5°C로 유지하였으며, 이때 수온유지에는 electronic thermostat (DAC-302H, Korea)를 이용하였다. 그리고 실험기간 동안 pH는 7.2~7.9, DO 7.8~8.9 ml/L 그리고 염분은 34.4~35.0 psu의 범위였다. 수용밀도는 Atlantic cod, *Gadus morhua*의 경우 2~40 kg/m³ 범위의 사육밀도에서 저밀도 실험구에서 성장률이 높고 30 kg/m³ 이상에서 성장률이 저하되었던 것 (Lambert and Dutil, 2001)과 순치사육기간동안 15 kg/m³의 밀도로 사육한 결과 공식현상이 심하게 발생했던 결과에서 성장률이 높은 저밀도 실험구에서 적합성을 판단하기 위해 각각 4 kg/m³, 8 kg/m³ 그리고 12 kg/m³의 3 실험구로 설정하여 2회 반복 실시하였다 (Table 1). 실험에 사용한 사료는 넵치육성용 배합사료 (extruded pellet, 이화유지공업주식회사; 조단백질 함량 50.0%, 조회분 15.5%, 조지방 8.0%, 조섬유 4.0%)로 1일 1회 반복 공급하였고, 공급량은 매일 기록하여 사료효율을 조사하였다.

먹이 공급 횟수에 따른 성장

먹이 공급횟수별 성장차이 조사는 2009년 12월 18일부터 2010년 2월 19일 까지 총 8주 동안 실시하였다. 먹이 공급 횟수는 Atlantic cod의 경우 주 3회와 5회 공급한 경우에 성장률이 양호했던 결과 (Lambert and Dutil, 2001)를 근거로, 2일마다

1회 공급한 주 3회 공급구와 주 5회공급구로 설정하여 2회 반복 실시하였다 (Table 1). 수용밀도는 10 kg/m³로 조절하여 실시하였다. 사육방법은 밀도에 따른 성장조사에서의 사육방법과 동일하였고, 실험기간 동안 pH는 7.1~7.7, DO는 6.9~7.7 ml/L 그리고 염분은 34.6~35.0 psu 범위였다.

Table 1. Total length and body weight of pacific cod at beginning of the two experiments conducted from October 2009 to February 2010

Experiment	Replicates	n	Total length (cm)	Wet weight (g)
Stoking density (kg/m³)				
4	1	13	26.7±2.4 (21.7–32.5)	149.8±45.0 (96.9–247.5)
	2	14	27.0±2.0 (24.4–30.2)	157.7±44.6 (94.0–218.5)
8	1	25	26.8±1.5 (23.9–28.9)	162.5±30.6 (108.2–215.2)
	2	24	27.2±1.7 (24.2–30.1)	171.6±33.4 (98.7–245.2)
12	1	32	27.6±1.9 (23.2–30.8)	183.9±46.4 (99.7–280.3)
	2	35	27.6±2.0 (24.2–31.0)	181.7±48.5 (116.4–284.6)
Feeding frequency (meals/week)				
3	1	24	28.8±2.4 (24.0–32.6)	206.6±61.9 (102.6–315.3)
	2	28	28.5±2.7 (24.0–33.8)	191.0±67.0 (92.8–328.2)
5	1	29	27.3±2.6 (23.4–32.8)	176.0±57.6 (88.6–308.7)
	2	26	28.5±3.0 (23.3–34.4)	205.2±84.7 (88.3–402.0)

성장조사 및 통계분석

성장조사는 2 주간격으로 실시하였고, 전장은 0.1 cm까지, 체중은 전자저울 (GP-2000, Japan)로 0.1 g까지 측정하였으며 Richer (1969)의 방법에 따라 일간성장률 (SGR)을 구하였고, 일간섭식율 (DFI), 사료전환효율 (FE), 비만도 (CF)는 아래의 식을 이용하여 조사하였다.

$$\text{Specific growth rate (SGR)} = \ln(\text{final weight} - \text{initial weight}) / \text{rearing time} \times 100$$

$$\text{Daily feed intake (DFI)} = (\text{day matter}) \times 100 / \{(\text{initial fish weight} + \text{final fish weight} + \text{dead fish weight}) \times \text{days fed} / 2\}$$

$$\text{Feed efficiency (FE)} = \text{Fish wet weight gain} \times 100 / \text{feed intake}$$

$$\text{Condition factor (CF)} = \text{Fish wet weight} \times 100 / \text{Total length (cm)}^3$$

실험결과의 분석은 T-test와 One-way ANOVA-test를 실시하였고, 모든 과정은 SPSS Version 10.0 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA)을 이용하였다.

Table 2. Growth performance of pacific cod in reared on the three different density from October 2009 to February 2010

	Stocking density		
	4 kg/m ³	8 kg/m ³	12 kg/m ³
Total weight gain (g/tank)	739.7	1,399.9	4,399.7
Survival rate	70.0±12.0 ^a	73.6±13.6 ^a	81.7±9.5 ^a
Specific growth rate	4.10±0.12 ^a	4.15±0.07 ^a	4.25±0.14 ^a
Daily feed intake	2.78±0.07 ^a	1.36±0.04 ^b	0.90±0.08 ^c
Feed efficiency (%)	31.6±2.6 ^a	33.5±7.0 ^a	57.8±8.1 ^a
Condition factor	0.86±0.04 ^a	0.89±0.07 ^{ab}	0.91±0.06 ^b

Values (mean±SD) with different superscript letters in the same row are significantly different ($P<0.05$).

결 과

사육밀도에 따른 성장

사육밀도를 달리한 조건에서 사육실험결과를 Table 2에 나타내었다. 실험 시작시 사육밀도 4 kg/m³, 8 kg/m³ 그리고 12 kg/m³의 실험어가 각각 26.7±2.4, 27.0±1.6 그리고 27.6±2.0 cm에서 실험종료시 30.9±2.3, 31.2±2.0 그리고 32.0±2.64 cm로 성장하였고, 체중은 153.6±44.1, 167.0±32.0 그리고 182.9±47.5 g에서 각각 257.3±60.0, 273.8±61.6 그리고 302.7±80.6 g으로 성장하였으나 전장과 체중에서 모두 실험구간의 유의 차이는 없었다 ($P>0.05$, Fig. 1). 총 증중량은 (total weight gain, g/tank)은 실험종료시 사육밀도 4 kg/m³, 8 kg/m³ 그리고 12 kg/m³에서 각각 739.7, 1,399.9 그리고 4,399.7 g으로 최초체중의 각각 17.8, 17.1 그리고 35.4% 증가하였고, 사육밀도는 각각 4.8, 9.3, 16.6 kg/m³으로 증가하였다 (Table 2). 생존율은 각각 70.3, 73.6 그리고 81.7%로 고밀도 실험구에서 높았으나 통계적 유의 차이는 없었다 ($P>0.05$). 일간성장률에서도 4 kg/m³, 8 kg/m³ 그리고 12 kg/m³에서 각각 4.10, 4.15 그리고 4.25%로 사육밀도가 높을수록 성장률이 높았지만 통계적 유의 차이는 관찰되지 않았다 ($P>0.05$). 일간섭식률은 각각 2.78, 1.36 그리고 0.90%로 저밀도 실험구에서 높게 나타났고 ($P<0.05$), 사료 효율은 31.6, 33.5 그리고 57.8%로 고밀도 실험구에서 높게 나타났으나 유의적 차이는 없었다 ($P>0.05$). 비만도는 사료효율이 증가함에 따라 높은 경향으로 최고밀도 실험구 12 kg/m³에서 0.91로 4 kg/m³의 0.86과 8 kg/m³의 0.89에 비하여 높게 나타났다 ($P<0.05$).

먹이 공급 횟수에 따른 성장

먹이 공급 횟수를 달리한 조건에서 사육실험결과를 Table 3에 나타내었다. 실험 시작시 주 3회와 주 5회 공급구에서 실험어의 전장이 각각 28.6±2.5와 27.9±2.8 cm에서 실험 종료시에 30.4±2.68 그리고 30.1±2.5 cm로 성장하였고, 체중은 실험 시작시 각각 198.5±64.4, 189.7±72.4 g에서 실험종료시에 247.6±85.2 그리고 246.2±85.1 g으로 성장하였으나 실험구간의 유의차이는 없었다 ($P>0.05$). 총증중량은 실험종료시에

주 3회와 주 5회 공급구에서 각각 1431.7 그리고 1795.7 g으로 최초체중의 14.4%, 18.5% 증가하였고, 생존율은 유의차이 없이 비슷한 수준이었다 ($P>0.05$, Table 3). 일간성장률은 주 5회 공급구에서 0.47%로 주 3회 공급구의 0.39%에 비해 높게 나타났으나 유의차이는 없었다 ($P>0.05$, Table 3). 일간섭식률에서도 주 5회 공급구에서 1.12%로 주 3회 공급구의 1.08%보다 높았으나 유의차이는 없었고 ($P>0.05$), 이와는 반대로 사료 효율은 주 3회공급구에서 56.4%로 주 5회공급구의 50.0%보다 높게 나타났으나 유의차이는 없었다 ($P>0.05$). 비만도는 주 5회 공급구에서 0.89로 주 3회 공급구 0.84보다 높았지만 두 시험구간의 차이는 없었다 ($P>0.05$).

Table 3. Growth performance of pacific cod in reared on the two feeding frequency from December 2009 to February 2010

	Feeding frequency (meals/week)	
	Three meals a week	Five meals a week
Total weight gain (g/tank)	1,431.3	1,795.7
Survival rate	68.1±3.9 ^a	68.5±1.9 ^a
Specific growth rate	0.39±0.07 ^a	0.47±0.05 ^a
Daily feed intake	1.08±0.01 ^a	1.12±0.06 ^a
Feed efficiency (%)	56.4±11.4 ^a	50.0±1.8 ^a
Condition factor	0.84±0.10 ^a	0.89±0.31 ^a

Values (mean±SD) with different superscript letters in the same row are significantly different ($P<0.05$).

고 찰

이 연구에서는 연중 저수온 유지가 가능한 해양심층수를 이용하여 대구의 적정사육환경을 구명하기 위한 실험을 수행하였다. 사육대상어종의 적정사육환경을 구명하기 위해서는 실험기준을 여러 단계로 세분화하여 설정한 후 결과를 도출하는 것이 보다 정확할 것이다. 그러나 대구는 연중 저수온에서 관리되어야 하는 점과 자연산 대구의 먹이불임과정이 까다로운 점 등에서 처음부터 세분화된 기준을 적용하는 것은 시설과 비용 등의 면에서 많은 어려움이 따른다. 이에 이 연구에서는 Lambert and Dutil (2001)에 의해 도출되었던 Atlantic cod에서 사육밀도와 먹이공급횟수의 적정범위를 고려한 대구의 사육밀도와 먹이공급횟수 실험기준을 설정하여 성장차이를 조사하였다.

어류의 적정 성장과 사료효율을 유도하고, 양식 생산에 소요되는 비용을 절감하기 위해서는 수온, 염분, 수질 요인 등의 외적요인과 먹이조건, 사육밀도와 같은 생물학적 요인이 고려되어야 한다. 이들 조건 중 사육밀도는 정도에 따라 개체들간의 먹이 경쟁과 공간 경쟁을 유발시켜 성장에 영향을 미치는 요소 (Brett, 1979)로서 비용을 절감하고, 한정된 공간에서 적정 성장을 유도하기 위하여 여러 어종에서 검토되어 왔다. Atlantic salmon, *Salmo salar* (평균체중 71.4 g)는 사육밀도 21~86 kg/m³의 범위에서 사육한 결과 먹이를 충분히 공급해

줄때 최고밀도로 사육하여도 저밀도와 성장 차이는 없었고 (Hosfeld et al., 2009), rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (평균 체중 180 g)의 경우 10~80 kg/m³범위에서 사육한 결과 80 kg/m³까지 사육이 가능하다고 한다 (North et al., 2006). 그러나 Atlantic cod (832~1,002 g)의 경우 사육밀도 2~40 kg/m³에서 사육한 결과 30 kg/m³이상의 밀도에서 사육할 경우 성장률이 감소한다. (Lambert and Dutil, 2001). 이 연구에서 1년생 대구 미성어를 수온 10℃에서 사육밀도 4 kg/m³, 8 kg/m³ 그리고 12 kg/m³으로 설정하여 16주간 사육한 결과 실험구간의 전장과 체중의 성장에서 유의적 차이는 없었다. 일간성장률은 밀도가 높을수록 높은 경향이었으나 유의적 차이는 없었다. 그러나 일간섭식율은 저밀도 실험구에서 높고, 사료효율에서는 이와는 반대로 고밀도 실험구에서 높게 나타났다. 이와 같은 원인은 사료효율이 같은 밀도에서 사료급여량이 많을수록 낮아지고, 또한 반복 공급보다는 반복의 80%의 전후를 공급하는 것에서 향상된 결과를 얻었던 보고 (El-Sayed et al., 1995; Lee et al., 1996)로서 설명될 수 있을 것이다. 즉 이 연구에서 전 실험구의 대구가 먹이를 먹지 않을 때까지 반복으로 공급한 것에서 저밀도 실험구에서는 먹이를 섭식할 수 있는 기회가 늘어나서 최적 사료효율을 유도할 수 있는 사료량보다 과도하게 섭취하게 되어 사료효율이 저하된 것으로 판단된다. 그러나 먹이경쟁이 심한 고밀도 실험구에서는 개체별로 저밀도 실험구에서보다 적은 양의 사료를 섭취한 결과 대구의 성장에 적합한 양의 사료를 섭취하게 되었고, 사료효율에서 양호한 결과를 얻을 수 있었던 것으로 판단된다. 총 증중량에서는 최고밀도도 실험구 12 kg/m³에서 4,399 g으로 최초중량의 35.4%가 증가하여 가장 높은 생산성을 관찰 할 수 있었고, 생존율에서는 12 kg/m³에서 가장 높았으나 유의 차이는 없었다. 그리고 비만도에서도 12 kg/m³ 고밀도 실험구에서 0.91로 가장 높았다. 위의 결과를 종합해 볼 때 대구 1년생 미성어의 적정성장과 생산성향상을 위해서는 12 kg/m³ 이상의 밀도에서 사육하는 것이 적합할 것으로 판단된다. 그러나 최적밀도의 상한은 이 연구의 결과에서 추정할 수 없었다. 다만 예비실험에서 15m³ 이상의 밀도에서 공식현상이 심하게 나타났던 것을 고려하면 그 이하의 사육밀도로 판단되지만 이에 대한 실험이 진행되지 못했으므로 추후 보완실험이 진행되어야 할 것이다. 이상의 결과는 1년생 미성어를 대상으로 도출된 결과로서 같은 어종에 있어서도 성장단계에 따른 행동습성의 변화에 따라서도 차이가 있을 수 있기 때문에 안정적인 관리를 위해서는 향후 성장단계에 따른 적정사육밀도의 정보제공이 더 필요하다.

양식대상어종에 대한 적정 사료공급 횟수의 결정은 최대 성장과 사료효율을 얻을 수 있는 양식생산성 향상의 측면과 파잉공급으로 사료가 유실되는 경제적 손실과 수질오염 감소를 위해 중요하다 (Ng et al., 2000; Mihelakakis et al., 2002). 최대 성장을 유도하기 위해 적합한 사료공급횟수의 기준마련은 channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Andrews and Page, 1975), estuary grouper, *Epinephelus tauvina* (Chua and Teng, 1978), 그리고 flounder, *Paralichthys olivaceus* (Lee et al., 2000)

에서 이루어진 바 있고, 종에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다. Channel catfish는 1일 1회 공급하는 것 보다 1일 2회 공급할 때 먹이효율이 더 좋다고 하였고 (Andrew and Page, 1975), estuary grouper에서 사료공급은 2일에 1회 공급하는 것이 적합하다고 한다 (Chua and Teng, 1978). 이처럼 종에 따른 차이는 각 대상어종이 사료를 섭취한 후 장의 내용물이 비워지는 시간과 밀접한 연관성에 따른 것으로 먹이공급 직후부터 식욕이 되돌아오는 시간에 따라 적절히 사료공급을 한다면 성장과 사료효율을 향상시킬 수 있다 (Holmgren et al., 1983; Lee et al., 2000). 가자미류의 적정사료공급횟수의 조사에서 Lemon sole, *Microstomus kitt*는 수온 9.5~10.5℃ 범위에서 72시간 후 식욕을 되찾아 섭식활동을 시작하지만 Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus*은 120시간 이후에도 섭식활동을 하지 않는다고 한다. 이에 비해 yellowtail flounder, *Limanda ferruginea*는 위의 종들에 비해 위가 작고 장이 길어 자주 먹이를 섭식한다고 한다 (Davenport et al., 1990). Atlantic cod의 경우 섭식량이 많고, 일단 섭식이 끝나면 다음 섭식까지는 긴 시간이 소요되기 때문에 적정 성장을 유지시키기 위해서 2일에 1회 공급하는 것이 적당한 것으로 보고된 바 있다 (Braaten, 1983; Jobling, 1988). 그리고 사육밀도 10 kg/m³에서 사육할 때 사료를 반복으로 주 2회, 3회와 5 회로 공급을 달리 할 경우 주 2회에 공급할 때 성장률이 가장 낮고 주 3회와 5회의 경우에 성장률이 차이가 없었다. 그러나 사육밀도가 40 kg/m³으로 증가할 경우 성장률의 유지를 위해서는 주 5회 공급할 때 적당한 것으로 나타나 먹이 공급 횟수는 사육조건에 따라 차이가 있다고 보고된 바 있다 (Lambert and Dutil, 2001). 이 연구에서는 순치사육기간동안 예비실험으로 대구가 사료공급 후 식욕이 돌아오는 상태를 판단하기 위해서 행동습성을 관찰하여 공급 횟수를 기준을 정하였다. 최초사료 공급 후 대구는 실험수조의 중하층과 수조 바닥 주변부에서 움직임이 거의 없이 가끔 지느러미를 움직이는 행동만을 보였다. 24시간 후 먹이를 공급하게 되면 전날에 비해 먹이에 대한 활동성이 매우 소극적으로 전체의 약 1/4의 개체만이 수표면 근처에서 섭식반응을 하였다. 그러나 48시간 후 공급하면 대부분의 개체가 먹이에 빠르게 반응하면서 수표면의 사료로 몰려들어 섭식활동을 하였다. 위의 결과와 Lambert and Dutil (2001)의 결과를 바탕으로 대구 미성어 (176~206 g)를 사육밀도 12 kg/m³에서 주 3회와 주 5회 공급구로 나누어 사육실험한 결과 전장과 체중의 성장과 차이는 관찰되지 않았다. 생존율은 두 시험구간의 차이가 없이 비슷한 수준이었고, 일간성장률, 일간섭식률 그리고 비만도에서 주 5회 공급구에서 높게 나타났으나 유의적 차이는 없었다. 사료효율은 주 3회 공급구에서 56.4%로 높게 나타났으나 두 시험구간의 유의적 차이는 없었다. 이러한 결과에서 주 3회와 5회 공급구 사이에 뚜렷한 차이는 관찰되지 않아 1년생 대구 미성어의 적정 성장유지와 경제성을 고려한 사료공급을 위해서는 반복으로 주 3회 공급하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 그러나 최대성장을 유도하기 위한 사료 공급 횟수는 어체의 크기, 사육조건에 따라 달라질 수 있어 (Wang et al., 1998; Lambert and Dutil et al.,

2001; Dwyer et al., 2002), 향후 대구의 성장단계 그리고 다양한 사육조건에 대해서도 사료공급횟수의 효율적인 범위의 설정이 필요하다.

이상의 결과는 해양심층수를 이용하여 자연산 대구 1년생을 대상으로 도출한 것으로 인공산을 대상으로 했을 때는 보다 정확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 현재 안정적 생산과 우리나라 수온조건에서 연중 대구의 생식상한수온 13℃ (Tezuka, 2006) 이하로 관리돼야 하는 점에서 후자의 실험조건의 적용은 거의 불가능하다. Atlantic cod의 경우 안정적인 생산을 위해 자연에서 포획한 개체를 중간육성하여 공급하는 불완전 양식이 행해져 왔다 (Jobling, 1988; Dos Santos et al., 1993). 그러나 대구의 경우 상업적 규모의 양식은 이루어지지 않고 있다. 일본의 경우 중부해역에 위치한 도야마현수산시험장에서 해양심층수를 이용하여 대구 친어의 사육관리와 채란기술 및 종묘생산기술개발 등의 재생산 연구가 진행되고 있다 (Tezuka, 2006). 현재 국내에서도 대구 자원이 불규칙하게 변동하는 상황에서 안정적인 공급할 수 있는 방안을 마련하는 것이 필요한 상황이다. 이에 따라 대구의 생태적 특성과 경제성을 고려한 안정적 사육기술확립에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

사 사

이 연구는 농림수산식품부 수산특정연구개발사업인 “외해 심층가두리를 이용한 대구·참다랑어 양식기술개발”의 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Andrew JW and Page JW. 1975. The effects of frequency of feeding on culture of catfish. *Trans Am Fish Soc* 104, 317-321.
- Baker RF and Ayles GB. 1990. The effects of varying density and loading level on the growth of Arctic char (*Salvelinus alpinus* L.) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J World Aquacult Soc* 21, 58-62.
- Braaten B. 1983. Status and future prospects: cod and other marine fish as industrial products. *Fisk Gang* 69, 263-269, (Translated from Norwegian by *Can Trans Fish Aquat Sci No.* 5022, 1983).
- Brett JR. 1979. Environmental factors and growth. In: *Fish Physiology*, Vol. VIII, Hoar, WS Randall DJ and Brett JR eds. Academic Press, New York, U.S.A., 599-625.
- Chua T-E and Teng S-K. 1978. Effects of feeding frequency on the growth of young estuary grouper, *Epinephelus tauvina* (Forsk.), culture in floating net-cages. *Aquaculture* 14, 31-47.
- Davenport J, Kjorsvik E and Haug E. 1990. Appetite, gut transit, oxygen uptake and nitrogen excretion in captive Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus* L., and lemon sole, *Microstomus kitt* (Walbaum). *Aquaculture* 90, 267-277.
- Dos Santos J, Burkow IC and Jobling M. 1993. Patterns of growth and lipid deposition in cod (*Gadus morhua* L.) fed natural prey and fish-based feeds. *Aquaculture* 110, 173-180.
- Dwyer K, Brown C, Parrish C and Lall S. 2002. Feeding frequency affects food consumption, feeding pattern and growth of juvenile yellowtail flounder (*Limanda ferruginea*). *Aquaculture* 213, 279-292.
- El-Sayed AM, Mostafa KA, Mohamma JSA, El-Dehaimi A and Kayid M. 1995. Effects of stocking density and feeding levels on growth rate and feed utilization of rabbitfish *Siganus canaliculatus*. *J World Aquaculture Soc* 26, 212-216.
- Holm JC, Refsite T and Bo S. 1990. The effect of fish density and feeding regimes on individual growth rate and mortality in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 89, 225-232.
- Holmgren S, Grove DJ and Fletcher DJ. 1983. Digestion and control of gastrointestinal motility. In: *Fish Physiology*. Rankin JC, Picher TJ and Dugan RT, Eds. Wiley, New York, U.S.A., 23-40.
- Hosfeld CD, Hammer J, Handeland S, Fivelstad S and Stefansson S. 2009. Effects of fish density on growth and smoltification in intensive production of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 294, 236-241.
- Jobling M. 1988. A review of the physiological and nutritional energetics of cod, *Gadus morhua* L., with particular reference to growth under farmed conditions. *Aquaculture* 70, 1-19.
- Ketchen KS. 1961. Observations on the ecology of the Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in Canadian waters. *J Fish Res Board Can* 18(4), 513-558.
- Kjartansson H, Fivelstad S, Thomassen TM and Smith MJ. 1988. Effects of different stocking densities on physiological parameters and growth of adult Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) reared in circular tanks. *Aquaculture* 73, 261-274.
- Lambert Y and Dutil J-D. 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.
- Lee CS, Hur YH, Lee JY, Kim WK, Hong SH, Hwang SJ and Choi SH. 2005. Maturity and spawning of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in the East Sea.

- J Kor Fish Soc 38, 245-25.
- Lee JY, Lee CS, Kim WK, Park SU and Min BH. 2007. Effects of Water Temperature on Egg Development, Hatching and Laval Growth Rearing of the Pacific cod *Gadus macrocephalus*. J Aquaculture 20(4), 260-264.
- Lee SG, Park KD and Gwak WS. 2009. Effects of Adhesive Substrates and Bottom Materials on Release of Fertilized Eggs by Pacific Cod, *Gadus macrocephalus*. J Kor Fish Soc 42(1), 63-67.
- Lee SM, Cho SH, and Kim DJ. 2000. Effects of feeding frequency and dietary energy level on growth and body composition of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck and Schlegel). Aquac Res 31, 917-921.
- Lee SM, Kim SH, Jeon IG, Kim SM and Chang YJ. 1996. Effects of Feeding Frequency on Growth, Feed Efficiency and Body Composition of Juvenile Korean Rockfish (*Sebastes schlegeli*). J Aquaculture 9(4), 385-394.
- Mihelakakis A, Tsolkas C and Yoshimatsu T. 2002. Optimization of feeding rate of hatchery-produced juvenile gilthead sea bream *Sparus aurata*. J World Aquaculture Soc 33, 169-175.
- Ng WK, Lu KS, Hashim R and Ali A. 2000. Effects of feeding rate on growth, feed utilization and body composition of a tropical bagrid catfish. Aquaculture Int 8, 19-20
- NOAA. 2010. Alaska Fisheries Science Center. Retrieved from http://www.afsc.noaa.gov/species/Pacific_cod.php. Accessed 12 Mar 2010
- North BP, Turnbull JF, Ellis T, Porter MJ, Migaud H, Bron J and Bromage NR. 2006. The impact of stocking density on the welfare of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 255, 466-479
- Ricker WE. 1969. Effect of size-selective mortality and sampling bias and estimates of growth, mortality, production and yield. J Fish Res Board Can 26, 479-541.
- Seo YS, Park ME, Kim JG and Lee SU. 2007. Egg Development and Juvenile Growth of the Pacific Cod *Gadus macrocephalus* (Korean East Sea Population). J Kor Fish Soc 40, 380-386.
- SK. 2010. Fishery Production Survey from <http://fs.fips.go.kr/main.jsp>. Accessed 22 Jan 2010
- Tezuka N. 2006. A Concrete Example for Rearing Broodstock of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*). Bull Fish Res Agen 17, 147-149.
- Wang N, Hayward RS and Notile DB. 1998. Effect of feeding frequency on food consumption, growth, size variation, and feeding pattern of age-0 hybrid sunfish. Aquaculture 165, 261-267.
- Westrheim SJ. 1996. On the Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in British Columbia waters, and a comparison with Pacific cod elsewhere, and Atlantic cod (*G. morhua*). Can Tech Rep Fish Aquat Sci 2092, 390.

2010년 8월 11일 접수

2010년 10월 6일 수정

2011년 2월 10일 수리