

배합사료의 크기, 공급횟수 그리고 사육밀도가 조피볼락 (*Sebastes schlegelii*) 치어의 성장에 미치는 영향

오대한 · 송진우 · 김민기 · 이봉주¹ · 김강웅¹ · 한현섭¹ · 이경준*

제주대학교 해양생명과학과, ¹국립수산과학원 전략양식연구소 사료연구센터

Effect of Food Particle Size, Stocking Density and Feeding Frequency on the Growth Performance of Juvenile Korean Rockfish *Sebastes schlegelii*

Dae-Han Oh, Jin-Woo Song, Min-Gi Kim, Bong-Joo Lee¹, Kang-Woong Kim¹,
Hyon-Sob Han¹ and Kyeong-Jun Lee*

Department of Marine Life Sciences, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea

¹Aquafeed Research Center, National Fisheries Research and Development Institute, Pohang 791-923, Korea

We performed four sets of feeding trials to establish optimum feed size (Exp-I), stocking density (Exp-II) and feeding frequency (Exp-III and IV) for Korean rockfish. In Exp-I, three different particle sizes of a commercial diet (small, 2.0-2.1 mm; medium, 2.4-3.2 mm; and large, 4.0-5.3 mm) were fed to four replicate groups of fish (22.8±0.1 g), each of which was fed to apparent satiation for six weeks. In Exp-II, fish (44.3±0.4 g) were reared at four stocking densities (1.5, 3.0, 4.5 and 6.0 kg/m³) and fed a commercial diet to apparent satiation for four weeks. In Exp-III, fish (14.8±0.1 g) were fed a commercial diet once, twice, thrice, 4× or 5× a day at a feeding ratio of 3.25% of body mass. Another group of fish was fed the same commercial diet 5× a day to apparent satiation; this treatment was designated FS (five times satiation/day). In Exp-IV, fish (31.3±0.1 g) were fed a commercial diet once, twice, thrice or 4× a day to apparent satiation. Another group of fish was fed to apparent satiation once every 48 hours. In Exp-I, fish fed the large particle (4.0-5.3 mm) diet had a significantly higher feed conversion ratio and lower protein efficiency ratio than fish fed the small particle diet. In Exp-II, groups of fish reared at densities of 4.5 and 6.0 kg/m³ had significantly higher feed intake and growth performance than fish reared at 1.5 and 3.0 kg/m³. In Exp-III, fish fed to apparent satiation had significantly higher growth performances than fish fed once or 4× a day. A significantly higher feed conversion ratio and a lower protein efficiency ratio were obtained in the FS group. In Exp-IV, growth performance and feed utilization efficiency were not significantly affected by experimental variation in feeding frequency. Fish fed to apparent satiation once every 48 hours had better feed utilization than those in other treatments and growth performances of those were comparable. Therefore, the optimum feed particle size, stocking density and feeding frequency for Korean rockfish under conditions we used were 2.0-3.2 mm, 4.5-6.0 kg/m³, and once a day or once every 48 hour, respectively.

Key words: Rockfish, Feed size, Stocking density, Feeding frequency, Growth

서론

어류양식에 있어 사료의 선택과 공급방법 그리고 적절한 사육 환경의 조성은 양식어류의 성장과 건강에 직접적인 영향을 미

치는 외적 요인이다(Brett, 1979). 이러한 요인들은 개별 양식장에서 독립적으로 조절되며 그 운영방법에 따라 양식장 경제성에 큰 영향을 미친다. 사료의 크기는 어류의 사료섭취율과 소화 능력에 영향을 미칠 수 있으며(Jobling, 1987), 사료가 소화관

Article history;

Received 28 May 2013; Revised 8 July 2013; Accepted 12 July 2013

*Corresponding author: Tel: +82. 64. 754. 3423 Fax: +82. 64. 756. 3493

E-mail address: kjlee@jeju.ac.kr

Kor J Fish Aquat Sci 46(4) 407-412, August 2013

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0407>

pISSN:0374-8111, eISSN:2287-8815

© The Korean Society of Fishereis and Aquatic Science. All rights reserved

을 통과하는 시간과도 밀접한 관련이 있다(Hossain et al., 2000; Azaza et al., 2010). 각 성장단계에 적합한 크기의 사료를 공급하는 것은 효율적인 에너지 이용과 최대성장을 유도할 수 있다(Wang et al., 1994; Hossain et al., 2000). 현재 국내 배합사료 회사에서는 각 성장단계별 적정 사료크기를 명시한 사료급여율표를 제공하고 있다. 하지만 사료크기에 따른 성장률에 대한 기초연구가 미비하여 성장단계별 사료크기 분류 기준에 대한 과학적인 근거확립이 필요한 실정이다. 사료공급횟수는 어류의 성장과 생존율에 영향을 미치는 한 요인이다(Lee and Pham, 2010). 빈도 높은 사료공급은 치어기 어류의 성장과 생존율에 긍정적인 영향을 미칠 수 있지만(Hancz, 1982; Folkvord and Ottera, 1993), 과도한 사료공급은 사료효율 감소, 사료비용 증가를 야기시킬 뿐만 아니라 사육수질을 악화시키게 된다. 사료공급횟수에 대한 연구는 channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Andrews and Page, 1975), estuary grouper, *Epinephelus tauvina* (Chua and Teng, 1978), olive flounder, *Paralichthys olivaceus* (Lee et al., 2000a; Lee and Pham, 2010), Pacific cod, *Gadus macrocephalus* (Choi et al., 2011)를 대상으로 수행되었으며, 종간의 분명한 차이가 있는 것으로 보고되었다.

사육밀도는 어류의 성장, 사료섭취, 양식생산성에 직접적인 영향을 미친다(Rowland et al., 2006). 정상적인 성장을 유지하는 고밀도사육 방법은 경영적 측면에서 매우 중요하다. 무분별한 고밀도 양식은 어류에게 스트레스 요인으로 작용하고 수질환경을 악화시켜 질병을 유발시킬 수 있다. 사육밀도의 증가는 rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*과 halibut, *Hippoglossus hippoglossus* L의 성장에 나쁜 영향을 미칠 수 있다고 보고되었다(Holm et al., 1990; Bjornsson, 1994). Atlantic salmon, *Salmo salar*에서는 사육밀도에 따른 성장 차이가 없었지만, Arctic char, *Salvelinus alpinus*에서는 사육밀도가 증가함에 따라 오히려 성장률이 증가하였다고 보고되었다(Kjartansson et al., 1988; Baker and Ayles, 1990; Jorgensen et al., 1993). 안정적인 사육환경조성을 위해서는 대상어종에게 적합한 사료공급횟수와 사육밀도에 대한 정확한 규명이 요구된다.

조피볼락은 육식성 해산어종으로 우리나라에서 넘치 다음으로 많이 양식되는 어종이다. 2012년 양식생산량은 23,085톤으로 전 체양식생산량의 약33.1%를 차지한다(Statistics Korea, 2013). 현재까지 조피볼락을 대상으로 한 연구는 대부분 사료 첨가제 및 배합비를 대상으로 이루어졌다(Lee et al., 1996; Lee et al., 2000b; Lee et al., 2002; Kim et al., 2003; Lee et al., 2008; Seo et al., 2009; Kim et al., 2009). 사료공급횟수와 사육환경에 대한 선행연구들이 있었지만 체계적 사육기술 구축을 위한 기초연구는 미비한 실정이다(Lee et al., 1996; Myeong et al., 1997; Lee et al., 2000b). 따라서 이 연구는 조피볼락의 안정적인 양식기술 구축을 위한 기초조사의 일환으로, 배합사료의 크기(실험 1)와 사육밀도(실험 2), 사료공급횟수(실험 3, 실험 4)가 조피볼락의 성장에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

각 실험에 사용된 실험사료는 상업용 시판 조피볼락 배합사료(수협사료; 수분 6.5%, 조단백질 57.4%, 조지방 13.3%, 조회분 14.8%)를 사용하였다. 실험어는 경상남도 통영에 위치한 조피볼락 양어장에서 구입하여 제주대학교 해양과환경연구소로 운송되었다. 어류의 실험환경 적응을 위해 시판되는 조피볼락용 배합사료(수협사료)를 공급하면서 순치하였다.

실험 1은 사료크기에 따른 실험으로, 수협사료 회사에서 제공하는 권장급여율표를 참고하여 실험어류의 평균체중에 적합한 사료(medium, 2.4-3.2 mm)를 기준으로 실험어류가 섭취 가능한 범위에서 크기가 큰 사료(large, 4.0-5.3 mm)와 작은 사료(small, 2.0-2.1 mm)로 총 3단계의 사료를 선택하여 공급하였으며 실험어류가 성장함에 따라 입자 크기도 적절히 조절하였다. 평균무게 22.8 ± 0.05 g의 조피볼락을 12개의 200 L 원형 플라스틱 수조에 각 실험구당 60 마리씩 4반복으로 배치하였다. 실험사료 공급은 1일 2회(08:00 시와 18:00 시)에 나누어서 6주간 반복공급 하였다. 사육수온은 20-22°C 범위로 자연수온에 의존하였다.

실험 2는 사육밀도에 따른 실험으로 다음과 같다. 평균무게 44.3 ± 0.4 g의 조피볼락을 사육밀도를 달리하여 총 12개의 수조에 무작위로 배치하였다. 사육밀도는 저밀도부터 고밀도까지 각각 1.5, 3.0, 4.5, 6.0 kg/m³이 되도록 실험어류의 마리수를 달리하여 3반복으로 배치하였다. 실험사료(3.0-3.2 mm)는 1일 2회(08:00시와 18:00시) 반복공급 하였다. 사육실험은 4주간 진행되었으며 사육수온은 17-20°C 범위로 자연수온에 의존하였다.

실험 3은 사료공급횟수에 대한 실험으로 다음과 같다. 평균무게 14.8 ± 0.1 g의 조피볼락을 18개의 60 L 원형 플라스틱 수조에 각 실험구당 25 마리씩 무작위로 배치하였다. 실험구는 실험사료(2.4-2.6 mm)의 공급횟수를 달리하여 1일 1-5회(08:00, 10:30, 13:00, 15:30, 18:00시) 나누어 공급하는 5개의 실험구와 1일 5회 반복공급하는 1개 실험구(FS, five times satiation/day)로 총 6개의 실험구가 설정되었다. 반복공급 실험구를 제외한 나머지 실험구들은 1일 어체중의 3.25%의 사료가 공급되었다. 사료의 공급량은 반복공급량의 80%로 설정되었다. 사료공급은 6주간 진행되었으며 사육수온은 20-25°C 범위로 자연수온에 의존하였다.

실험 4는 실험 3의 사료공급횟수 실험과 유사한 실험으로 다음과 같다. 평균무게 31.3 ± 0.1 g의 조피볼락을 15개의 150 L 원형 플라스틱 수조에 각 실험구당 20 마리씩 무작위로 3반복 배치하였다. 실험사료(3.0-3.2 mm) 공급방법은 횟수를 달리하여 2일 1회(08:00시) 반복공급하는 실험구와 1일 1-4회(08:00, 11:00, 14:00, 17:00시)까지 반복공급하는 4개의 실험구로 총 5개의 실험구가 설정되었다. 사료공급은 8주간 진행되었으며 사육수온은 18-23°C 범위로 자연수온에 의존하였다.

모든 실험은 유수식 시스템을 이용하여 실시되었으며 사육수

는 모래여과해수를 사용하여 2-3 L/min의 유수량이 되도록 조절하였고 실험수조에 용존산소 유지를 위하여 에어스톤을 설치하였다. 용존산소는 7.80-8.05 mg/L, 염분농도는 32-34 ppt 범위를 보였으며 광주기는 형광등을 이용하여 12L:12D 조건으로 유지되었다.

각각의 사료공급실험 종료 후 실험어의 성장률을 측정하기 위하여 24시간 절식시킨 후 전체 어류무게를 측정하였다. 무게측정 후 최종평균무게, 일간성장률, 사료전환효율, 단백질이용효율, 사료섭취량, 생존율을 조사하였다.

실험사료의 일반성분 분석은 AOAC (1995) 방법에 따라 분석되었다.

실험사료의 배치는 완전확률계획법(Completely randomized design)을 실시하였고, 성장결과는 SPSS (Version 12.0) 프로그램을 이용하여 One-way ANOVA로 통계 분석되었다. 데이터 값의 유의차는 Turkey's HSD ($P \leq 0.05$)로 비교되었다. 데이터는 평균값 \pm 표준편차(mean \pm SD)로 나타내었으며, 백분율 데이터는 arcsine 변형 값으로 계산하여 통계 분석되었다.

결과 및 고찰

실험 1의 성장결과는 Table 1에 나타내었다. 최종무게, 일간 성장률은 사료의 크기에 영향을 받지 않았다. 사료전환효율과 실험구가 Small 실험구에 비해 유의적으로 낮게 나타났다. 사료섭취량과 생존율에서는 유의적인 차이가 없었다. 영양소의 소화와 흡수는 소화효소활성에 의해 영향을 받으며 이는 소화율과 직결된다(Klein et al., 1998). Large 실험구에서의 낮은 사료전환효율과 단백질이용효율은 소화효소와의 접촉과 작용면적의 감소에 의한 소화효율의 저하에 기인한 것으로 추측된다(Tibaldi et al., 2006). 사료회사에서 제공하는 배합사료 권장

급여율표는 각 성장단계에 대한 구분이 광범위하여 적정 크기의 사료를 선택하는데 다소 어려움이 있어, 적정사료 크기가 보다 세분화되어야 할 것으로 사료된다. 실험 1의 결과, 조피볼락(23-45 g)의 적정 사료크기는 2.0-3.2 mm 범위인 것으로 판단된다.

실험 2의 성장결과는 Table 2에 나타내었다. 최종무게, 일간 성장률, 사료섭취량은 4.5, 6.0 kg/m³ 실험구가 1.5, 3.0 kg/m³ 실험구에 비해 유의적으로 높았다. 사료전환효율, 단백질이용효율, 생존율은 모든 실험구에서 유의적인 차이가 없었다. Choi et al. (2011)은 Pacific cod, *Gadus macrocephalus*를 4-12 kg/m³의 사육밀도 범위에서 사육한 결과 성장에서 유의적인 차이가 없었으며 사료효율은 고밀도 실험구에서 유의적으로 높게 나타났다고 보고하였다. Lambert and Dutil. (2001)은 사육밀도의 증가가 Atlantic cod, *Gadus morhua*의 성장과 사료섭취율을 감소시킨다고 보고하고 있으며 brook char *Salvelinus fontinalis*와 rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*를 대상으로 실시된 연구에서도 사료섭취율 감소가 보고되었다(Vijayan and Leatherland, 1988; Holm et al., 1990). 반면에 Salas-Leiton et al. (2008)은 Senegalese sole, *Solea senegalensis*의 경우 저밀도에 비해 고밀도 환경에서 보다 빠른 섭이행동을 보여 사료섭취율이 증가되었으며 이러한 행동은 먹이경쟁에 의한 것이라 서술하고 있다. 사육밀도는 어류의 행동습성에 따른 서식공간과 먹이경쟁에 큰 영향을 미치며 이는 사료섭취율과 성장에 직접적으로 연관된다(Jobling, 1985; Papoustoglou et al., 1987). 본 연구에서 나타난 고밀도 실험구의 성장률 증가는 저밀도 실험구에 비해 상대적으로 많은 개체가 먹이활동을 함으로서 먹이경쟁 욕구를 자극하여 사료섭취량이 증가했기 때문으로 판단되며, 조피볼락(44-60 g)의 적정 사육밀도는 4.5-6.0 kg/m³ 범위인 것으로 사료된다.

실험 3과 4의 성장결과는 Table 3에 나타내었다. 실험 3의 최종무게와 일간성장률은 1일 5회 반복급이를 실시한 FS 실험구가 일정량을 1일 1회 공급한 실험구와 1일 4회 나누어 공급한 실험구에 비해 유의적으로 높았다. 사료전환효율과 단백질이용효율은 FS 실험구가 다른 실험구에 비해 유의적으로 낮은 효율을 보였다. 사료섭취량은 FS 실험구가 다른 실험구에 비해 유의적으로 높았고 생존율은 모든 실험구에서 유의적인 차이를 보이지 않았다. 실험 4에서는 1일 1회와 2일 1회 공급한 실험구의 사료섭취량이 다른 실험구에 비해 유의적으로 낮았으나 성장률과 사료효율에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 생존율은 모든 실험구에서 유의적인 차이가 없었다. Lee et al. (1996, 2000b)은 25-60 g 크기의 조피볼락 적정사료공급횟수는 2일 1회이며, 6-20 g 크기에서는 1일 1회라고 보고하였다. 이러한 결과는 본 연구결과와 일치하는 결과이다. 사료 공급횟수는 사료섭취 후 장이 비워지는 시간과 밀접한 관련이 있으며 (Holmgren et al., 1983; Lee et al., 2000b), 사육조건에 따라 다르게 나타난다(Lambert and Dutil, 2001). 결론적으로 15-30 g 조피볼락의 적정사료공급횟수는 1일 1회, 30-50 g은 2일 1회

Table 1. Growth performance of juvenile Korean rockfish *Sebastes schleglii* (mean initial body weight 22.8 \pm 0.0 g) fed the commercial diets with different pellet size for 6 weeks

	Small (2.0-2.1 mm)	Medium (2.4-3.2 mm)	Large (4.0-5.3 mm)
FBW ¹	44.9 \pm 2.4	42.9 \pm 0.5	42.1 \pm 2.7
SGR ²	1.64 \pm 0.13	1.54 \pm 0.03	1.49 \pm 0.16
FCR ³	1.17 \pm 0.05 ^b	1.32 \pm 0.09 ^{ab}	1.40 \pm 0.19 ^a
PER ⁴	1.64 \pm 0.07 ^a	1.45 \pm 0.11 ^{ab}	1.36 \pm 0.18 ^b
FI ⁵	25.3 \pm 2.1	26.3 \pm 1.6	26.8 \pm 2.5
Survival (%)	99.2 \pm 1.0	99.2 \pm 1.0	97.9 \pm 5.3

Values are presented as mean \pm SD. Values in the same row having different letters are significantly different ($P < 0.05$)

¹Final mean body weight (g)

²Specific growth rate (%) = $100 \times [\ln(\text{final mean body weight}) - \ln(\text{initial mean body weight})] / \text{days}$

³Feed conversion ratio = dry feed fed/wet weight gain

⁴Protein efficiency ratio = wet weight gain/total protein given

⁵Feed intake (g/fish) = dry feed consumed (g)/fish

Table 2. Growth performance of juvenile Korean rockfish *Sebastes schleglii* (mean initial body weight 44.3±0.4 g) reared in the four different densities for 4 weeks

Density (kg/m ³)	FBW ¹	SGR ²	FCR ³	PER ⁴	FI ⁵	Survival (%)
1.5	47.6±0.13 ^a	0.91±0.02 ^a	1.30±0.07	1.34±0.07	13.4±0.65 ^a	100±0.0
3.0	55.9±0.38 ^b	1.05±0.01 ^{ab}	1.03±0.05	1.70±0.08	14.1±0.66 ^a	100±0.0
4.5	61.5±1.50 ^c	1.23±0.10 ^c	1.13±0.16	1.57±0.25	35.7±2.51 ^b	100±0.0
6.0	59.6±1.12 ^c	1.17±0.07 ^{bc}	1.11±0.10	1.58±0.14	32.3±0.93 ^b	100±0.0

Values are presented as mean ± SD. Values in the same row having different letters are significantly different ($P < 0.05$)

¹Final mean body weight (g)

²Specific growth rate (%) = $100 \times [\ln(\text{final mean body weight}) - \ln(\text{initial mean body weight})] / \text{days}$

³Feed conversion ratio = dry feed fed/wet weight gain.

⁴Protein efficiency ratio = wet weight gain/total protein given.

⁵Feed intake (g/fish) = dry feed consumed (g)/fish.

Table 3. Growth performance of juvenile Korean rockfish *Sebastes schleglii* (mean initial body weight 14.8±0.1 and 31.3±0.1 g) fed the commercial diets with different feeding frequencies for 6 and 8 weeks

	FBW ¹	SGR ²	FCR ³	PER ⁴	FI ⁵	Survival (%)
<i>Exp-III (Restricted feeding)</i>						
One meal/day	30.1±0.7 ^a	2.21±0.08 ^a	1.25±0.12 ^a	1.40±0.14 ^b	19.4±0.15 ^a	97.3±2.3
Two meal/day	31.0±0.1 ^{ab}	2.30±0.02 ^{ab}	1.22±0.09 ^a	1.44±0.11 ^b	19.6±0.28 ^a	96.0±4.0
Three meal/day	31.1±0.6 ^{ab}	2.32±0.06 ^{ab}	1.20±0.05 ^a	1.45±0.07 ^b	19.6±0.36 ^a	96.0±4.0
Four meal/day	30.5±0.6 ^a	2.25±0.08 ^a	1.19±0.11 ^a	1.47±0.13 ^b	19.3±0.04 ^a	98.7±2.3
Five meal/day	31.3±1.1 ^{ab}	2.33±0.11 ^{ab}	1.19±0.08 ^a	1.47±0.10 ^b	19.6±0.32 ^a	96.0±0.0
FS ⁶	32.9±1.3 ^b	2.47±0.13 ^b	1.62±0.10 ^b	1.08±0.06 ^a	27.8±2.99 ^b	93.3±8.3
<i>Exp-IV (apparent satiation)</i>						
One meal/day	48.8±3.0	0.89±0.12	1.50±0.21	1.18±0.17	25.9±2.3 ^a	83.3±7.6
Two meal/day	48.8±2.5	0.76±0.29	2.10±0.51	0.88±0.24	35.7±4.4 ^{bc}	81.7±5.8
Three meal/day	51.2±3.1	0.95±0.17	1.63±0.18	1.04±0.19	32.3±3.3 ^{ab}	81.7±2.9
Four meal/day	49.0±0.4	0.90±0.02	2.10±0.40	0.85±0.16	37.3±6.4 ^c	83.3±2.3
One meal/two days	48.2±3.3	0.86±0.13	1.44±0.30	1.24±0.26	23.9±2.2 ^a	90.0±5.0

Values are presented as mean ± SD. Values in the same row having different letters are significantly different ($P < 0.05$)

¹Final mean body weight (g)

²Specific growth rate (%) = $100 \times [\ln(\text{final mean body weight}) - \ln(\text{initial mean body weight})] / \text{days}$

³Feed conversion ratio = dry feed fed/wet weight gain

⁴Protein efficiency ratio = wet weight gain/total protein given

⁵Feed intake (g/fish) = dry feed consumed (g)/fish

⁶FS = five times satiation/day

며 만복공급 보다는 적정 공급량을 제한급이하는 것이 바람직하다고 판단된다.

이번 연구에서 조피볼락의 적정 사육환경과 사료공급방법에 대한 기초자료를 도출할 수 있었다. 이러한 자료는 안정적인 조피볼락 생산을 위한 사육기술개발에 유용하게 이용될 것이며, 체계적인 조피볼락 배합사료 공급체계를 확립하는데 중요한 자료로 사용될 것이다.

사 사

이 논문은 2010년도 제주대학교발전기금 청봉학술연구기금의 지원에 의해서 연구되었음

참고문헌

- Andrew JW and Page JW. 1975. The effects of frequency of feeding on culture of catfish. *Trans Am fish Soc* 104, 317-321.
- Association of Official Analytical Chemists. 1995. Official methods of analysis, 16th edition. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA.
- Azaza MS, Dhraief MN, Kraiem MM and Baras E. 2010. Influences of food particle size on growth, size heterogeneity, food intake and gastric evacuation in juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. 1758. *Aquaculture* 309, 193-202.
- 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*). World Aquacult 21, 58-62.
- Bjornsson B. 1994. Effects of stocking density on growth rate of halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) reared in large circular tanks for three years. Aquaculture 123, 259-270.
- Brett JR. 1979. Environmental factor and growth. In: Fish Physiology, Vol. VIII, Hoar, WS Randall DJ and Brett JR, eds. Academic Press, New York, USA., 599-625.
- Choi YU, Park HS and Oh SY. 2011. Effects of stocking density and feeding frequency on the growth of the Pacific cod, *Gadus macrocephalus*. Kor J Fish Aquat Sci 44, 58-63.
- Chua TE and Teng SK. 1978. Effects of feeding frequency on the growth of young estuary grouper, *Epinephelus tauvina* (Forsk.) culture in floating net-cages. Aquaculture 14, 31-47.
- Folkvord A and Ottera H. 1993. Effects of initial size distribution, day length, and feeding frequency on growth, survival and cannibalism in juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). Aquaculture 114, 243-260.
- Hancz, C. 1982. Preliminary investigations on the feeding frequency and growth of juvenile carp in aquaria. Aquacult Hung (Szarvas) 3, 33-35.
- Holm JC, Refstie 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: Rankin JC, Pitcher TJ and Dugan RT, Eds. Control Processes in Fish Physiology. Wiley, New York, NY, USA., 23-40.
- Hossain MAR, Haylor GS and Beveridge MCM. 2000. The influence of food particle size on gastric emptying and growth rates of fingerling African catfish, *Clarias gariepinus* Burchell, 1822. Aquac Nutr 6, 73-76.
- Jobling M. 1985. Physiological and social constraints on growth of fish with special reference to Arctic char, *Salvelinus alpinus* L. Aquaculture 44, 83-90.
- Jobling M. 1987. Influences of food particle size and dietary energy content on patterns of gastric evacuation of fish: test of a physiological model of gastric emptying. J Fish Biol 30, 299-314.
- Jørgensen EH, Christiansen JS and Jobling M. 1993. Effects of stocking density on food intake, growth performance and oxygen consumption in Arctic char (*Salvelinus alpinus*). Aquaculture 110, 191-204.
- Kim YC, Park GJ, Lee JH, Kim KW, Son MH and Bai SC. 2009. Effects of the dietary β -1,3 glucan on growth, hematological and body composition in juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). Kor J Fish Aquat Sci 42, 609-613.
- Kim KW, Park KY, Lim YS, Kim TW, Yang JH, Park HW and Bai SC. 2003. Effects of dietary energy and protein levels on growth, respiration and growth efficiency of juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*). J Aquaculture 16, 88-93.
- Kjartansson H, Fivelstad S, Thomassen JM and Smith M.J. 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.
- Klein S, Cohn SM and Alpers DH. 1998. The alimentary tract in nutrition. In: Shils ME, Olson, AJ, Shike M and Ross AC. Eds. Modern Nutrition in Health and Disease., 605-630.
- Lambert Y and Dutil J. 2001. Food intake and growth of adult Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) reared under different condition of stocking density, feeding frequency and size-grading. Aquaculture 192, 233-247.
- Lee SM, Cho SH and Kim DJ. 2000a. Effects of feeding frequency and dietary energy level on growth and body composition of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck & Schlegel). Aquaculture Research 31, 917-921.
- Lee SH, Yoo GY, Choi SM, Kim KW, Kang YJ and Bai SC. 2008. Effects of dietary probiotics supplementation on juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. J Aquaculture 21, 82-88.
- Lee SM, Hwang UK and Cho SH. 2000b. Effects of feeding frequency and dietary moisture content on growth, body composition and gastric evacuation of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture 187, 399-409.
- Lee SM, Jeon IG and Lee JY. 2002. Effects of digestible protein and lipid levels in practical diets on growth, protein utilization and body composition of juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*). Aquaculture 211, 227-239.
- 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, 385-404.
- Lee SM and Pham MA. 2010. Effects of feeding frequency and feed type on the growth, feed utilization and body composition of juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. Aquaculture Research 41, 166-171.
- Myeong JI, Pack SY and Chang YJ. 1997. Effects of water temperature and feeding rate on growth and feed efficiency of Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*. J Aquaculture 10, 311-320.
- Papoutsoglou SE, Papaparaskeva-Papoutsoglou E and Alexis MN. 1987. Effects of density on growth rate and production of rainbow trout over a full rearing period. Aquaculture 66, 9-17.
- Rowland SJ, Mifsud C, Nixon M and Boyd P. 2006. Effects of stocking density on the performance of the Australian freshwater silver perch (*Bidyanus bidyanus*) in cages. Aquaculture 253, 301-308.
- Salas-Leiton E, Anguis V, Manchado M and Cañavate JP. 2008. Growth, feeding and oxygen consumption of Senegalese sole (*Solea senegalensis*) juveniles stocked at different densities. Aquaculture 285, 84-89.
- Seo JY, Kim KD and Lee SM. 2009. Effects of supplemental herb medicines in the diets on growth, feed utilization and

- body composition of juvenile and grower rockfish *Sebastes schlegeli*. J Aquaculture 22, 112-117.
- Statistics Korea. 2013. Statistic Database for Aquaculture production. Retrieved from <http://kostat.go.kr> on March 21.
- Tibaldi E, Hakim Y, Uni Z, Tulli F, Francesco M, Luzzana U and Harpaz S. 2006. Effects of the partial substitution of dietary fish meal by differently processed soybean meals on growth performance, nutrient digestibility and activity of intestinal brush border enzymes in the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). Aquaculture 261, 182-193.
- Vijayan MM and Leatherland JF. 1988. Effect of stocking density on the growth and stress-response in brook char, *Salvelinus fontinalis*. Aquaculture 75, 159-170.
- Wang J, Pu H, Tian X, Zhao D and Zong J. 1994. The role of food particle size in the growth of juvenile carp (*Cyprinus carpio* L.). J Dalian Fish 9, 72-77.