

조피볼락(*Sebastes schlegeli*) 치어의 배합사료 적정 공급률과 공급횟수

이진혁 · 김강웅 · 이봉주 · 박건현¹ · 이준호¹ · 윤현호¹ · 배승철^{1*}

국립수산과학원 사료연구센터,

¹부경대학교 해양바이오신소재학과/사료영양연구소

Optimum Feeding Rate and Frequency in Juvenile Korean Rockfish *Sebastes schlegeli* Fed a Commercial Diet

Jin-Hyeok Lee, Kang-Woong Kim, Bong-Joo Lee, Gun-Hyun Park¹, Jun-Ho Lee,
Hyeon-Ho Yun¹ and Sungchul C. Bai^{1*}

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

¹Department of Marine Bio-Materials and Aquaculture / FFNRC, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Two feeding trials were conducted to investigate the effects of feeding rate and frequency on growth performance and body composition of juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* reared at $15.0 \pm 0.3^\circ\text{C}$. In the first trial, three replicate fish groups averaging 2.07 ± 0.03 g were fed a commercial diet with one of seven different daily feeding rates: 1.00%, 2.00%, 2.50%, 2.75%, 3.00%, 3.25%, and satiation (3.34%) based on body weight (BW). After four weeks of feeding, fish fed the 3% diet showed significantly higher weight gain (WG) and feed efficiency (FE) than fish that received the other feeding rates. In the second trial, the optimum feeding frequency was evaluated with three replicate fish groups averaging 2.04 ± 0.03 g. Fish were fed a commercial diet at 2.87% BW with six different daily feeding frequencies: 2, 3, 4, 5, 7, or 9 meals. After four weeks of feeding, WG, specific growth rate, FE, and protein efficiency rate in fish fed 3 meals d^{-1} were significantly higher than those of fish fed 7 or 9 meals d^{-1} . In both feeding trials, proximate composition of the entire body changed depending on the feeding rate or frequency. A broken-line regression analysis based on weight gain suggested that the optimum daily feeding rate and frequency for juvenile Korean rockfish at 15°C was 2.9% BW d^{-1} and 2–3 meals d^{-1} , respectively.

Key words: Korean rockfish, Feeding rate, Feeding frequency, Growth performance, Commercial diet

서 론

우리나라 주요 어류양식 어종인 조피볼락(*Sebastes schlegeli*)은 2010년 생산량이 20,918톤(국내 어류양식 총 생산량의 20%)으로 국내 어류양식에서 두 번째로 생산량이 많은 어종이다(FAO, 2012). 다른 어종과 마찬가지로 조피볼락의 생산성 및 양식경영비에서 가장 중요하게 영향을 미치는 것은 사료이며, 총 양식경영비의 50-60%에 이른다(Cho et al., 2006). 현재까지 조피볼락 양식의 효율적인 관리와 생산성 향상을 위해서 많은 연구들이 수행되었다. 배합사료 개발을 위해 영양소 요구

량과 사료 원료 이용성에 관한 연구들이 수행되었고(Lee et al., 1993; Kim and Bae, 1999), 배합사료에 의한 생사료 대체 가능성과 같은(Lee and Jeon, 1996), 환경 친화적인 고효율 배합사료 개발을 위하여 많은 연구들이 수행되고 있다. 하지만 조피볼락을 비롯한 양식 어류의 성장은 사료 이외에 망갈이, 선별, 수온 등의 외부 환경요인에 의해서 많은 영향을 받는다(Choi et al., 2009). 따라서, 양식어종에 대한 적합한 사료가 개발되더라도 외부환경에 따른 사료공급방법이 제대로 이루어지지 않으면 성장 및 사료효율이 달라지고, 수질오염 발생 등 많은 부작용이 일어날 수 있기 때문에(Kim et al., 2005), 효율적인 사료공급

Article history;

Received 11 June 2013; Revised 5 November 2013; Accepted 6 November 2013

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5916 Fax: +82. 51. 628. 6873

E-mail address: sccbai@empal.com

Kor J Fish Aquat Sci 46(6) 753-760, December 2013

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0753>

pISSN:0374-8111, eISSN:2287-8815

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

방법의 확립은 사료효율 및 어류 성장에 영향을 미쳐 양식어류를 보다 효율적으로 생산할 수 있을 것이다(Tsevis et al., 1992; Azzaydi et al., 2000).

배합사료의 적정 공급률과 공급횟수는 대상 어종마다 다르며, 어류의 성장단계와 사육환경에 영향을 받는다(Ng et al., 2000; Mihelakakis et al., 2002). 하지만 사육환경 조건에 따라 어류의 사료섭취량에 직접적으로 영향을 미칠 수 있기 때문에(Brett and Higgs, 1970), 대상 어종에 대한 배합사료 공급체계가 확립되지 않을 경우 배합사료가 부족 또는 과잉으로 공급되기 쉽다(Lee et al., 2000a). 배합사료가 과잉으로 공급될 경우 사료유실로 인한 경제적 손실과 수질오염이 발생 할 수 있으며, 사료가 부족하게 공급될 경우 어체내 필요한 영양소 요구량을 만족시키지 못하게 되어 어류성장을 저해 할 수 있다. 따라서 양식경영비의 높은 비중을 차지하는 배합사료의 공급체계 확립은 어류의 양식경영을 효율적으로 관리할 수 있게 할 것이며, 어류의 성장 및 사료효율 증가로 경제적인 이익뿐만 아니라 사료 과잉 공급 시 발생하는 사료유실을 최소화하여 양식배출수로 인한 환경오염을 저감 시킬 수 있을 것이다.

조피볼락 양식은 대부분 해상가두리에서 이루어지며 연근해 지역의 수온변화에 영향을 받는다. 현재까지 조피볼락에 대한 배합사료 공급체계가 확립되어 있지 않으며, 양식생산성 극대화 와 환경친화적인 측면에서 수온변화에 따른 적정 사료공급량 및 공급횟수에 대한 가이드라인이 필요하다. 따라서, 본 연구는 조피볼락 치어에서 배합사료의 적정 공급률과 공급횟수가 15°C 수온에서 어체 성장 및 체조성에 미치는 영향 조사하기 위해서 수행되었으며, 조피볼락 배합사료 공급방법에 대한 기초 가이드라인 확립을 위해서 수행되었다.

재료 및 방법

실험어 및 사육관리

실험어는 전북 고창에서 운반된 조피볼락 치어를 부경대학교 영양대사학 실험실내 400 L수조에서 실험환경에 적응할 수 있도록 2주간 예비사육 하였다. 예비 사육 후, 본 실험에서는 배합사료 적정 공급률과 공급 횟수에 대한 2개의 사료공급 실험을 수행하였다. 적정 공급률 실험(실험 1)은 평균무게 2.09 ± 0.03 g인 치어를 36 L 사각수조에 각 실험구 당 20마리씩 3반복으로 무작위 배치하였다. 적정 공급횟수(실험 2) 실험은 평균무게 2.04 ± 0.03 g인 치어를 36 L 사각수조에 각 실험구 당 20마리씩 3반복으로 무작위 배치하였다. 실험1과 2의 사료공급 실험환경은 동일하였으며, 각 실험수조는 반 순환여과 시스템에서 유수량은 2 L/min로 조절하였다. 충분한 산소 공급을 위해 에어스톤을 설치하였으며, 전 실험기간 동안 평균수온은 15.0 ± 0.4 °C, 염분은 33 ± 1 psu, 용존산소는 7.8 ± 0.5 mL/L, pH는 7.4 ± 0.5 으로 유지하였다. 각 실험1과 2의 사육실험은 총 4주간 진행하였다.

실험사료 및 설계

실험 1에 사용된 실험사료는 조피볼락 치어의 상업용 배합사료(수협, 침강 2호S)이고 일반성분 조성은 수분 8.89%, 조단백질 47.21%, 조지방 9.22%, 조회분 14.45%로 나왔으며, 총에너지 4526, 사료 크기 2.4-2.6 mm인 사료를 사용하였다. 일일 사료 공급량은 어체 무게당 1.00%, 2.25%, 2.5%, 2.75%, 3%, 3.25% 및 반복공급(SA)으로 총 7개 실험구를 두었고, 1일 3회(08:00, 14:00, 20:00h)에 나누어 공급하였다. 실험2에 사용된 실험사료는 실험 1과 동일한 사료로 수행되었다. 사료공급량은 실험 1의 적정 공급률 결과를 바탕으로 어체중의 2.87%를 제한 공급 하였으며, 공급횟수는 1일 2회(08:00, 20:00h), 3회(08:00, 14:00, 20:00h), 4회(08:00, 12:00, 16:00, 20:00h), 5회(08:00, 11:00, 14:00, 17:00, 20:00h), 7회(08:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00, 18:00, 20:00h), 9회(08:00, 9:30, 11:00, 12:30, 14:00, 15:30, 17:00, 18:30, 20:00h)로 총 7개의 실험구를 설정하여 실험어에게 동일한 양으로 나누어 공급하였다.

어체 측정

어체 측정 항목과 방법은 실험 1과 2에서 동일하였으며, 2주에 한번 중간 측정하였다. 성장률을 측정하기 위하여 24시간 절식시킨 후 MS-222 (100 ppm)로 마취시켜 전체무게를 측정하였다. 실험 종료 후 증체율(Weight gain, WG), 사료효율(Feed efficiency, FE), 일간성장율(Specific growth rate, SGR), 단백질 전환효율(Protein efficiency ratio, PER), 생존율(Survival)을 측정 하였으며, 실험 구당 15마리씩(5 fish \times 3 replicates) 무작위 선택하여 비만도(Condition factor, CF), 간 중량지수(Hepatosomatic index, HSI), 내장 중량지수(Viscerosomatic index, VSI)를 측정하였다.

일반성분 분석

각 수조에서 5마리씩 무작위로 추출하여 분쇄한 전어체를 사용하였으며, AOAC (AOAC, 2000) 방법에 따라 수분은 상압 가열건조법(135°C, 2시간), 조단백질은 Kjeldahl 질소정량법(N \times 6.25), 조회분은 직접회화법으로 분석하였다. 조지방은 샘플은 12시간 동결 건조한 후, Soxhlet 추출법으로 분석하였다(Soxtec system 1046, Tacator AB, Sweden).

통계처리

모든 자료의 통계처리는 J.M.P program version 9.1.3 statistical software (SAS Institute, 2004)를 이용하여 One-way ANOVA test를 실시한 후, 최소 유의차 검정(LSD: Least Significant Difference)을 실시하여 평균간의 유의성($P < 0.05$)을 평가하였다. 적정 사료 공급률과 공급횟수는 Broken line regression analysis (Robbins et al., 1979)와 Second-order polynomial model (Zeitoun et al., 1976)을 이용하여 분석하였다. 모든 실험 결과값은 mean \pm SD로 표기 되었다.

Table 1. Growth performance of juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed a commercial diet for 4 weeks¹ (Exp. 1)

Feeding rate %	IW ³	FW ⁴	WG ⁵	SGR ⁶	FE ⁷	PER ⁸	Survival ⁹
1.00	2.08	2.63	26.65 ^d	0.91 ^d	91.47 ^{bc}	1.94 ^{bc}	100
2.25	2.07	3.64	75.76 ^c	2.17 ^c	102.08 ^a	2.16 ^a	100
2.50	2.07	3.82	84.98 ^{bc}	2.37 ^{bc}	99.78 ^{ab}	2.11 ^{ab}	100
2.75	2.10	4.00	90.82 ^{ab}	2.49 ^{ab}	94.61 ^{ab}	2.00 ^{ab}	100
3.00	2.08	4.13	98.90 ^a	2.64 ^a	92.17 ^{bc}	1.95 ^{bc}	100
3.25	2.10	4.10	95.01 ^{ab}	2.57 ^{ab}	84.69 ^c	1.79 ^c	100
SA ²	2.11	4.19	98.49 ^a	2.63 ^a	75.42 ^d	1.60 ^d	100
Pooled SEM ¹⁰	0.01	0.21	9.56	0.23	3.26	0.07	0.00

¹ Values are means form triplicate groups of fish where the values in each column the different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

²SA: Satiation (3.46%)

³IW: Initial weight (g/fish)

⁴FW: Final weight (g/fish)

⁵WG: Weight gain (%) = (final weight - initial weight) × 100 / initial weight

⁶SGR: Specific growth rate (%/day) = (log_e final weight - log_e initial weight) × 100 / days

⁷FE: Feed efficiency (%) = (wet weight gain / dry feed intake) × 100

⁸PER: Protein efficiency ratio = wet weight gain / protein intake

⁹Survival (%) = Number of fish at end of experiment / Number of fish stocked × 100

¹⁰Pooled SEM: Pooled standard error of mean: SD/\sqrt{n} .

결과 및 고찰

실험 1 (적정 사료공급률)

저수온기에 조피볼락 치어를 대상으로 4주간의 적정 사료공급률 실험결과 전 실험구에서 100%의 생존율을 보였다(Table 1). 적정 공급률 실험에 대한 성장결과는 Table 1에 나타내었다. 증체율과 일간성장율은 3.00%와 만복구 그룹에서 2.75%, 3.25% 실험구와 차이를 보이지 않았으나($P>0.05$), 1.00%, 2.25%, 2.50% 실험구에 비해 유의적으로 높은 값을 나타내었다($P<0.05$). 이는 사료 공급률과 어류의 성장 사이에 상관성을 보인 이전 연구와 유사한 결과였다(XiaoJun and Ruyung, 1992; Adebayo et al., 2000; Ng et al., 2000; Mihelakakis et al., 2002). 즉, 어류가 충분한 사료를 섭취하지 못하게 되면 체

Table 2. Growth performance of juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed a commercial diet for 4 weeks¹ (Exp. 2)

Feeding frequency (meals/day)	IW ²	FW ³	WG ⁴	SGR ⁵	FE ⁶	PER ⁷	Survival ⁸
2	2.04	3.56	74.61 ^{ab}	1.86 ^{ab}	74.14 ^{ab}	1.57 ^{ab}	100
3	2.03	3.75	84.70 ^a	2.04 ^a	79.95 ^a	1.69 ^a	100
4	2.03	3.60	77.08 ^{ab}	1.90 ^{ab}	74.33 ^{ab}	1.57 ^{ab}	100
5	2.03	3.53	73.64 ^{ab}	1.84 ^{ab}	71.66 ^{ab}	1.52 ^{ab}	100
7	2.05	3.49	69.50 ^b	1.76 ^b	68.46 ^b	1.46 ^b	100
9	2.03	3.44	69.96 ^b	1.77 ^b	68.99 ^b	1.46 ^b	100
Pooled SEM ⁹	0.00	0.04	2.28	0.04	1.69	0.04	0.00

¹ Values are means form triplicate groups of fish where the values in each column the different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

²IW: Initial weight (g/fish)

³FW: Final weight (g/fish)

⁴WG: Weight gain (%) = (final weight - initial weight) × 100 / initial weight

⁵SGR: Specific growth rate (%/day) = (log_e final weight - log_e initial weight) × 100 / days

⁶FE: Feed efficiency (%) = (wet weight gain / dry feed intake) × 100

⁷PER: Protein efficiency ratio = wet weight gain / protein intake

⁸Survival (%) = Number of fish at end of experiment / Number of fish stocked × 100

⁹Pooled SEM: Pooled standard error of mean: SD/\sqrt{n} .

내 영양소 요구량 부족으로 조직내 축적된 에너지를 소모하게 되고, 이렇게 소모된 에너지는 어체의 성장에 큰 영향을 주며, 어류의 체조성 및 생존율에도 영향을 미칠 수 있다(Weatherley and Gill, 1987).

사료효율과 단백질전환효율은 2.25% 실험구가 2.50%, 2.75% 실험구는 유의한 차이가 없었지만($P>0.05$), 1.00%, 3.00%, 3.25% 실험구와 만복구에 비해 유의하게 높게 나타났 다($P<0.05$). 본 연구에서 사료효율은 공급률이 높아질수록 증가하다가 2.25% 이후 공급률이 증가할수록 낮아지는 경향을 보였다(Table 2). 이전의 보고에서는 사료공급률이 높아질수록 체내로 에너지가 과잉으로 공급되어 단백질효율이 떨어진다고 보고되었으며(Meyer-Burgdorff et al., 1989), 반대로 사료공급률이 낮을수록 어체내에서 영양분 흡수를 최적화 하기 위하여 소화효율을 향상시킨다고 보고되었다(Zoccarato et al., 1994;

Table 3. Whole body proximate composition and biological indices of juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed a commercial diet for 4 weeks¹ (Exp. 1)

Feeding rate %	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash	CF ³	HSI ⁴	VSI ⁵
1.00	75.76 ^a	62.29	12.52 ^b	19.50 ^a	0.50 ^d	1.68 ^d	6.74 ^d
2.25	75.27 ^{ab}	60.81	18.77 ^a	18.49 ^{ab}	0.64 ^c	2.68 ^c	8.23 ^{cd}
2.50	74.33 ^b	61.98	18.94 ^a	17.90 ^{ab}	0.68 ^{bc}	2.65 ^c	7.73 ^c
2.75	74.36 ^b	61.04	18.60 ^a	18.12 ^{ab}	0.76 ^{ab}	2.85 ^c	8.39 ^c
3.00	74.25 ^b	60.83	19.82 ^a	17.08 ^b	0.79 ^a	3.37 ^b	8.84 ^{bc}
3.25	74.92 ^{ab}	62.57	17.99 ^a	17.22 ^b	0.73 ^{ab}	3.84 ^a	9.67 ^{ab}
SA ²	74.62 ^{ab}	59.91	19.27 ^a	17.25 ^b	0.71 ^{bc}	3.87 ^a	10.10 ^a
Pooled SEM ⁶	0.21	0.38	0.94	0.33	0.04	0.29	0.43

¹Values are means form triplicate groups of fish where the values in each column the different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

²SA: Satiation (3.46%)

³CF: Condition factor = $100 \times \text{Body weight} / \text{Total body length}^3$

⁴HSI: Hepatosomatic index = $\text{Liver weight} / \text{Body weight} \times 100$

⁵VSI: Viscerosomatic index = $\text{Visceral weight} / \text{Body weight} \times 100$

⁶Pooled SEM: Pooled standard error of mean: SD/\sqrt{n} .

Van Ham et al., 2003). 이밖에 줄무늬 농어(*Morone saxatilis*) 및 귀족도미(*Sparus aurata*)와 같은 타 어종의 실험과 유사한 결과를 보였다(Hung et al., 1993; Mihelakakis et al., 2002).

전어체 일반성분 분석결과는 Table 3에 나타내었다. 수분함량은 1.00% 실험구가 2.50%, 2.75%, 3.00%에 비해 유의하게 높게 나타났으며($P < 0.05$), 다른 실험구와는 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 조단백질 함량은 전 실험 구에서 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 조지방 함량은 1.00% 실험구가 다른 실험 구에 비해 유의하게 낮게 나타났으며 ($P < 0.05$), 1.00% 실험구를 제외한 다른 실험구간에는 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 조회분 함량은 1.00% 실험구가 3.00%, 3.25%, 반복구에 비해 유의하게 높게 나타났으며($P < 0.05$), 2.25%, 2.50%, 2.75% 실험구와는 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 결과적으로 사료 공급률이 증가할수록 체내 축적되는 지방 함량이 증가하는 경향을 보였고, 조 회분은 감소하는 경향을 보였지만, 1% 공급률을 제외한 나머지 실험구는 유의차를 보이지 않았다(Table 3). Lee and Hur (1993)은 조피볼락을 대상으로 한 10주간의 절식실험에서 실험기간 동안 전어체의 일반성분 변화를 조사하였는데, 절식기간이 길어질수록 수분함량은 증가하고 단백질 및 지질함량은 감소하였다고 보고하였다. 또한 사료공급률의 증가로 인해 어체내 지질 함량이

Table 4. Whole-Body proximate composition and biological indices of juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed a commercial diet for 4 weeks¹ (Exp. 2)

Feeding frequency (meals/day)	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash	CF ²	HSI ³	VSI ⁴
2	74.82	61.33	18.52	18.74	0.64 ^a	3.68 ^{abc}	12.33 ^{ab}
3	74.96	60.98	18.11	18.85	0.65 ^a	3.51 ^{bc}	12.17 ^{ab}
4	74.34	61.26	17.17	18.72	0.65 ^a	4.23 ^a	13.28 ^a
5	73.95	59.57	16.83	19.04	0.62 ^{ab}	3.32 ^c	11.80 ^{ab}
7	75.2	60.47	16.00	19.83	0.57 ^b	3.19 ^c	11.75 ^b
9	73.91	61.00	16.47	18.88	0.57 ^b	2.91 ^c	11.47 ^b
Pooled SEM ⁵	0.22	0.27	0.39	0.17	0.01	0.19	0.26

¹Values are means form triplicate groups of fish where the values in each column the different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

²CF: Condition factor = $100 \times \text{Body weight} / \text{Total Body Length}^3$

³HSI: Hepatosomatic index = $\text{Liver weight} / \text{body weight} \times 100$

⁴VSI: Viscerosomatic index = $\text{Visceral weight} / \text{body weight} \times 100$

⁵Pooled SEM: Pooled standard error of mean: SD/\sqrt{n} .

증가하면 에너지 소화율을 감소시킬 수 있으며(Smith, 1989), 영양소 소화율은 사료공급률에 따라 달라 질 수 있다는 연구 결과가 보고되었다(Hastings, 1969). 이와 비슷한 연구 결과가 넘치 치어를 대상으로 한 Kim et al. (2007)에 의해 보고되었고, 연구결과 사료 공급률 1.0% 일 때 2.2-2.8% 실험구에 비해 여 낮은 전어체 지질함량을 보이고 있지만, 2.2-2.8% 실험구의 지질 함량은 유의차를 보이지 않았다. 실험1의 비만도, 간중량지수, 내장중량지수는 사료공급률이 증가 할수록 수치가 증가하는 경향이 나타났는데(Table 3, Fig. 3), 사료공급률이 많은 2.75% 3.00% 3.25% 실험구의 비만도가 1.00% 실험구에 비해 유의적으로 높은 결과를 보였다($P < 0.05$). 2.25% 2.50% 실험구와 반복구와는 유의한 차이가 나타나지 않았다($P > 0.05$). 간중량지수는 사료 공급률이 증가할수록 높아지는 경향을 보였으나, 반복구와 3.25% 실험구간에는 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 내장중량지수 역시 사료 공급률이 증가할수록 높아지는 경향을 보였으며, 반복구와 3.25% 실험구는 실험구간에 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 이것은 사료공급률이 높아질수록 체내 에너지의 축적이 높아지기 때문인 것으로 확인되며, Shimeno et al. (1997)에 따르면 어류의 체내 대사작용 중 pentose phosphate cycle이 사료공급률에 민감하게 반응한다고 보고 하였다. 즉, 사료공급률이 증가할수록 여분의 에

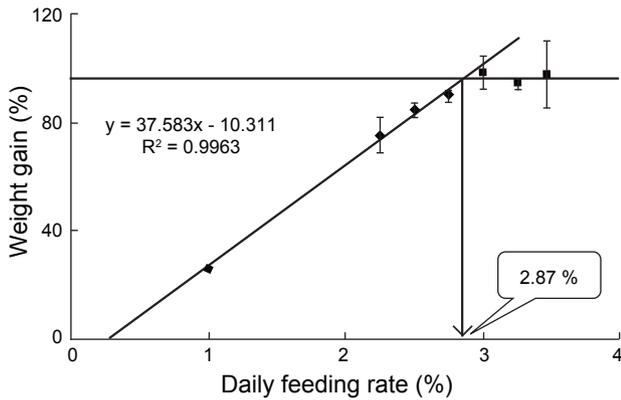


Fig. 1. Broken line analysis of weight gain (WG, %) for optimum feeding rate of juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed a commercial diet for 4 weeks in Exp 1.

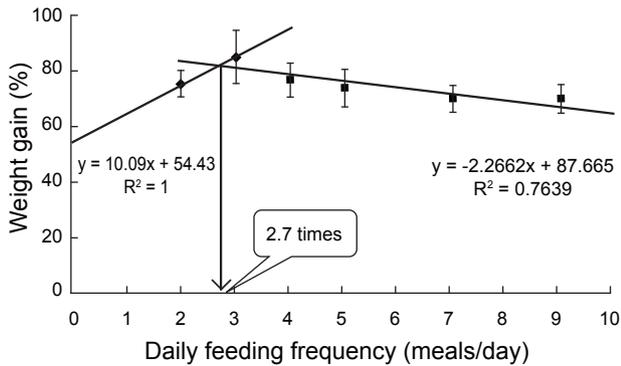


Fig. 2. Broken line analysis of weight gain for optimum feeding frequency of juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed a commercial diet for 4 weeks in Exp 2.

니지가 pentose phosphate cycle로 생성된 NADPH를 통해 지방산으로 환원되면서 판토텐산으로 전환된다. 판토텐산은 글리세롤과 반응하여 중성지방이 되는데 이것이 체내 조직에 축적되며, 넘치(Kim et al., 2010; kim et al., 2011)와 조피볼락(Lee et al., 1996)의 실험결과 유사한 결과를 보였고, 본 실험결과와 유사한 결과를 보였다(Fig 3). 조피볼락 증체율 결과를 바탕으로 한 배합사료의 적정 공급률은 broken line regression analysis로 분석한 결과 어체중의 2.87%로 분석되었다.

실험 2(적정 사료공급 횟수)

조피볼락 치어를 대상으로 4주간의 사료 공급횟수 실험기간 동안 모든 실험구에서 100%의 생존율을 보였다(Table 2). 사료 공급횟수 실험에 대한 성장결과는 Table 2에 나타내었다. 모든 성장관련 결과에서 유사한 경향을 나타내었다. 증체율, 일간성장율, 사료효율과 단백질전환효율에서 3회 실험구가 2회, 4회,

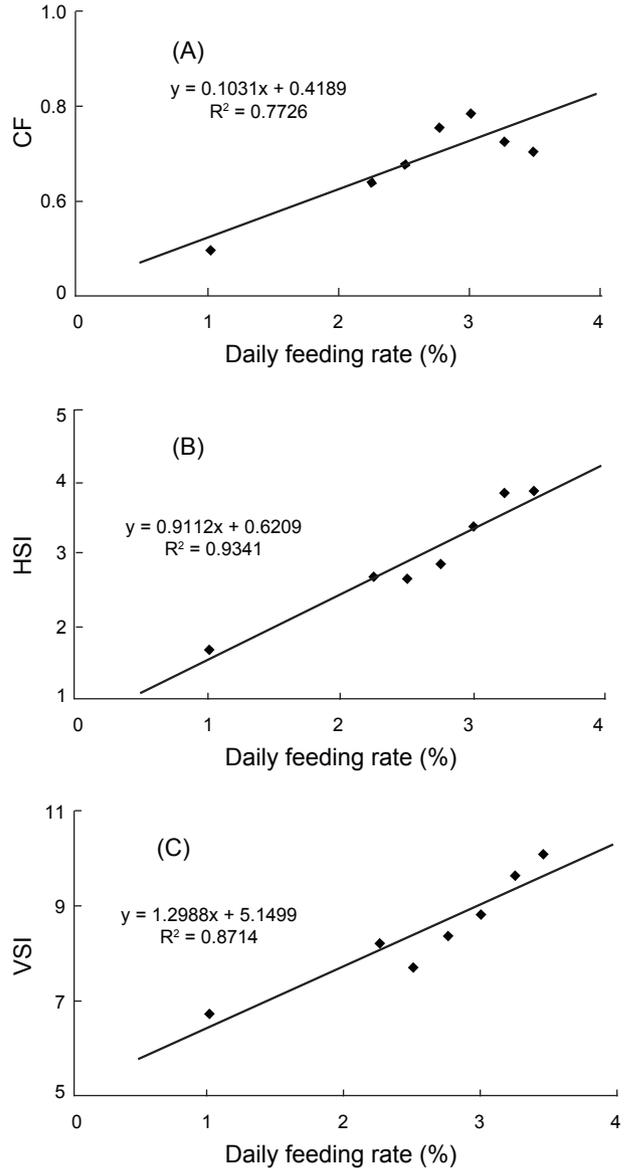


Fig. 3. Correlation between feeding rate and biological indices; condition factor (A), hepatosomatic index (B) and viscerosomatic index (C) of juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed a commercial diet for 4 weeks.

5회와는 유의한 차이를 보이지 않았으며($P>0.05$), 7회, 9회 실험 구에 비해 유의하게 높은 결과를 나타내었다($P<0.05$). 4주간의 실험기간 동안 증체율과 사료효율은 공급횟수가 늘어날수록 증가하다가 적정 공급횟수 이상일 경우 감소하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 어류의 장내 소화 또는 흡수와 밀접한 관계가 있는 것을 보이며(kim et al., 2005), Henken et al. (1985)는 사료공급횟수의 증가가 소화율을 감소 시킨다고 보고 하였다. 이와 같은 경향은 치어기 넘치(Lee et al., 1999)와 조피볼락(Lee

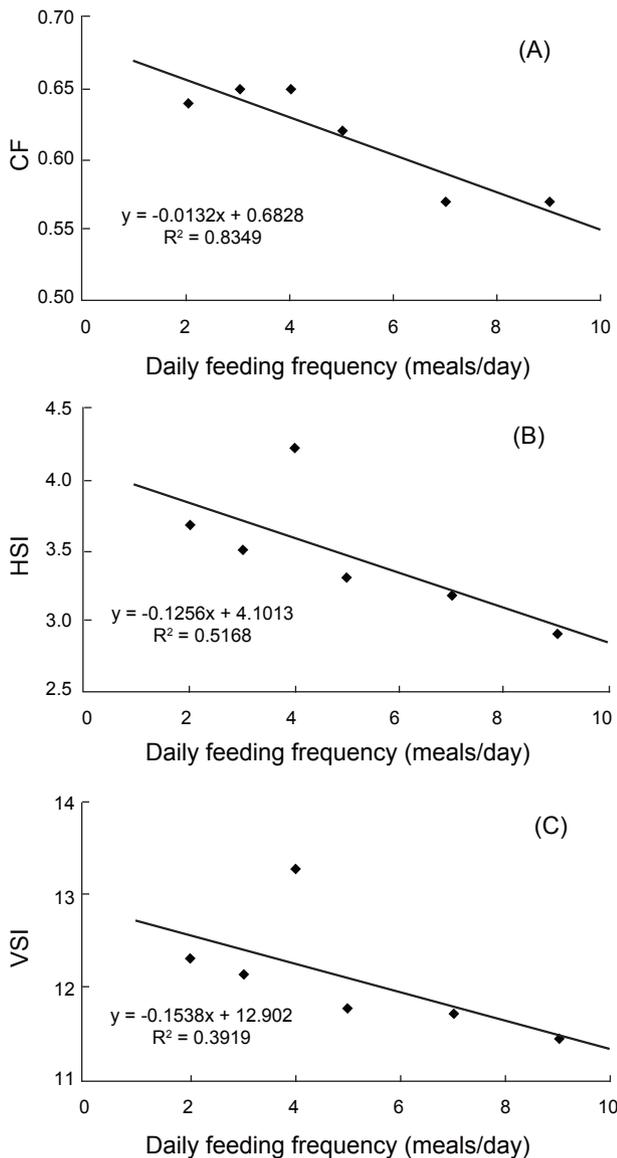


Fig. 4. Correlation between feeding frequency and biological indices; condition factor (A), hepatosomatic index (B) and viscerosomatic index (C) of juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegelii* fed a commercial diet for 4 weeks.

et al., 2000b)을 대상으로 한 연구결과에도 나타났다. 하지만 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*), 넙치 및 붉바리(*Epinephelus akaara*)를 대상으로 한 연구에서는 적정 공급횟수 이상에서 성장 및 사료섭취율이 일정한 것으로 보고되었다(Grayton and Bermish., 1977; Kayano et al., 1993; Kim et al., 2005). 사료 효율이 사료 공급횟수 이상에서 증가하지 않는 현상은 그 어종의 소화기관의 사료 섭취허용량과 섭취 에너지 요구량 만족 여부 때문이라 보고되었다(Lee and Putnam, 1973; Page and

Andrews, 1973). 저수온기 조피볼락 치어의 일일 적정 사료공급 횟수는 증체율 결과를 바탕으로 second-order polynomial analysis로 분석한 결과 2.7회로 나타났다(Fig. 2).

전어체 일반성분 분석결과는 Table 4에 나타내었다. 일반성분 분석결과 전 실험 구에서 유의한 차이를 보이지 않았지만 ($P>0.05$), 사료 공급횟수가 늘어날수록 조지방 함량이 감소한 반면 조 회분은 증가하는 경향을 보였다(Table 4). 이와 유사한 연구결과가 넙치에서 보고 되었는데, 사료공급횟수가 증가함에 따라 지질, 탄수화물 및 에너지 소화율이 감소하는 경향을 보였다(Seo et al., 2005). 이러한 결과는 실험1과 반대의 결과를 보여주고 있으며, 사료공급 횟수가 늘어날수록 에너지 축적률이 떨어지는 것을 나타내고 있다. 실험2의 비만도, 간중량지수, 내장중량지수는 공급 횟수가 증가할수록 수치가 감소하는 것을 볼 수 있다(Table 5, Fig. 4). 사료공급량이 동일한 조건에서 적정 공급횟수 이상으로 사료공급 횟수를 늘리게 되면 한번에 공급되는 사료량이 상대적으로 적어 사료의 장 통과시간을 빨라지게 할 뿐만 아니라 사료의 소화효율을 떨어뜨릴 수 있다고 보고 되었으며(Liu and Liao, 1999), 본 실험결과 그 수치가 감소하는 것을 볼 수 있었다(Fig. 4).

이전 조피볼락 연구에서는 본 연구와 달리 Myeong et al. (1997)의 연구에서는 육상수조양식장에서 1년생 조피볼락의 적정 공급률이 만복공급의 70-80%라고 보고 되었고, 평균체중 25-60 g 크기의 조피볼락 적정사료공급횟수는 2일 1회이며, 6-20 g 크기에서는 1일 1회라고 보고하였다(Lee et al., 1996; Lee et al., 2000b). 이러한 결과들은 적정 사료공급률과 공급 횟수가 어종, 성장단계, 수온, 사료내 영양소 종류와 함량 및 사육 조건 등에 의해서 영향을 받는다는 것으로 보고되었으며(Wang et al., 1998; Lambert et al., 2001; Dwyer et al., 2002; Riche et al., 2004), 체중에 대한 백분율로 나타낸 적정 사료공급률은 어체크기가 증가할수록 감소하고, 수온이 높아지면 증가하는 것으로 보고되었다(Brett, 1979). 어류는 변온동물로, 수온이 낮을수록 소화효소의 활성 및 대사율이 감소하지만, 반대로 사료 공급률이 같을 경우 수온이 상승함에 따라, 소화효소의 활성 및 대사가 증가되어 체내에 축적된 지방의 이용성을 증대시킬 수 있다고 보고되었고(Fänge and Grove, 1979; Fauconneau et al., 1983), Kim et al. (2011)의 연구에서는 고수온기에 비해 저수온기에서 어체내 지방함량이 높게 나타나는 경향을 보였다. 향후 조피볼락의 사료 공급체계의 확립을 위해서는 사료공급률을 다르게 하였을 때의 사료 적정 공급횟수, 성장단계별 또는 적수온과 고수온기에 적정 사료공급률과 공급횟수에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

본 연구를 통한 조피볼락 치어의 최적성장을 위한 상업용 배합사료의 적정 공급률과 공급횟수는 증체율을 바탕으로 한 broken line analysis로 분석한 결과 적정 공급률은 2.9% 이상 3% 미만이며 적정 공급횟수는 증체율을 바탕으로 second-order polynomial analysis로 분석한 결과 1일 2회에서 3회를 공

급하는 것이 적정 수준인 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원(친환경 실용배합사료 개발 및 품질 관리연구, RP-2013-AQ-116)의 지원에 의해 운영되었습니다.

References

- Adebayo OT, Balogun AM and Fagbenro OA. 2000. Effects of feeding rate on growth; Body composition and economic performance of juvenile clariid catfish hybrid (♀ *Clarias gariepinus* × ♂ *Heterobranchus bidorsalis*). J Aquaculture Trop 15, 109-117.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2000. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 17th Edition. Cunniff P, ed. Association of Official Analytical Chemists, Inc, Arlington, VA, U.S.A.
- Azzaydi M, Martines FJ, Zamora S, Valzquez S and Madrid JA. 2000. The influence of nocturnal vs. diurnal feeding under winter conditions on growth and feed conversion of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*, L.) Aquaculture 182, 329-338.
- Brett JR and Higgs DA. 1970. Effects of temperature on rate of gastric digestion in fingerling sockeye salmon (*Onchorhynchus nerka*) in relation to temperature and ration size. J Fish Res Bd Can 26, 2363-2394.
- Brett, J.R., 1979. Environmental Factors and Growth. In: Hoar WS, Randall DJ and Brett JR. eds. Fish Physiology 8, Academic Press, London, 599-675.
- Cho SH, Lee SM, Park BH and Lee SM. 2006. Effect of feeding ratio on growth and body composition of juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus* fed extruded pellets during the summer season. J Aquaculture 251, 78-84.
- Choi YU, Lee SR and YD. 2002 Effect of water temperature and stocking density on growth of juvenile red drum *Sciaenops ocellatus*. J Aquaculture 15, 131-138.
- Choi HS, Myoung JI, Park MA. and Cho MY. 2009. A Study on the summer mortality of Korean rockfish *Sebastes schlegeli* in Korea. J Fish Pathol 22, 155-162.
- Choi HS, Huh MD, Lee MK Choi HJ and Park MA. 2011. Histopathological observation of liver in cultured black rock fish *Sebastes schlegeli* J Fish Pathol 24, 225-236
- Dwyer KJ, Brown JA, Parrish C and Lall SP. 2002. Feeding frequency affects food consumption, feeding pattern and growth of juvenile yellowtail flounder (*Limanda ferruginea*). Aquaculture 213, 279-292. [http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00224-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00224-7).
- Fange R. and Grove D. 1979. Digestion. In: Fish physiology 8: Bioenergetic and Growth. Brett JR, ed. Academic Press, New York, U.S.A., 161-260.
- FAO. 2012. Fishstat plus, universal software for fishery statistical time series. Food and Aquaculture Organization, United Nations, Rome. Electronic webpage.
- Fauconneau B, Choubert G, Blanc D, Breque J and Luquet P. 1983. Influence of environmental temperature on flow rate of foodstuffs through the gastrointestinal tract of rainbow trout. J Aquaculture 34, 27-39.
- Grayton BD and Beamish FWH, 1977. Effects of feeding frequency on food intake, growth and body composition of rainbow trout *Salmo gairdneri*. Aquaculture 11, 159-172.
- Hastings WH. 1969. Nutritional score. In: Neuhaus OW and Halver eds. Fish in research. Academic press, New York, U.S.A. 263-292.
- Henken AM, Kleingeld DW and Tijssen PAT. 1985. The effect of feeding level on apparent digestibility of dietary dry matter, crude protein and gross energy in the African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). Aquaculture 51, 1-11
- Hung SSO, Conte FS and Hallen EK. 1993. Effects of feeding rates on growth, body composition and nutrient metabolism in striped bass (*Morone saxatilis*) fingerlings. J Aquaculture 112, 349-361.
- Kayano Y, Yao S, Yamamoto S and Nakagawa H. 1993. Effects of feeding frequency on the growth and body constituents of young red-spotted grouper, *Epinephelus akaara*. Aquaculture 110, 271-278.
- Kim KW and Bae SC. 1999. Possible use of the dietary fish meal analogue in juvenile Korean Rockfish, *Sebastes schlegeli*. J Kor Fish Soc 32, 149-154.
- Kim KM, Kim KD, Choi SM, Kim KW and Kang YJ. 2005. Optimum feeding frequency of extruded pellet for the growth of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus* during the summer season. J Aquaculture 18, 231-235.
- Kim KD, Kang YJ, Kim KW and Kim KM. 2007. Effects of feeding rate on growth and body composition of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus*. J World Aquaculture Soc 38, 169-173. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-7345.2006.00086.x>.
- Kim KW, Hwang NY, Son MH, Kim KD, Lee JH, Liu Y, Yun YH, Park GH, Kim SS, Lee KJ and Bai SC. 2011. Optimum feeding rates in juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed practical expanded pellet at low and high water temperature. J Aquaculture 44, 345-351.
- Lambert, Y and Dutil JD, 2001. Food intake and growth of adult Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) rear under different conditions of stocking density, feeding frequency and size- grading. Aquaculture 192, 233-247. <http://dx.doi.org/10.1007/s10499-007-9129-7>.
- Lee JY, Kang YJ, Lee SM and Kim IB. 1993. Optimum digestible energy to protein ratio in diets for the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. J Aquaculture 6, 29-46.
- Lee SM and Hur SB. 1993. Effects of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids on growth and biochemical changes in

- the Korean rockfish *Sebastes schlegeli* III. Changes of body compositions with starvation. *J Aquaculture* 6, 199-211.
- Lee SM and Jeon IG. 1996. Evaluation of dry pellet on growth of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*) by comparing with moist pellet and raw fish based moist pellet. *J Aquaculture* 9, 247-254.
- Lee DJ and Putnam GB. 1973. The response of rainbow trout to varying protein/energy ratios in a test diet. *J Nutr* 10, 916-922.
- 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, 385-204.
- Lee SM., Seo CH and Cho YS. 1999. Growth of the juvenile olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) fed the diets at different feeding frequencies. *J Kor fish Soc* 32, 18-21.
- 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*). *Aquaculture* 31, 917-921. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2109.2000.00505.x>.
- Lee SM, Hwang and Cho SH. 2000b. Effects of feeding frequency and dietary moisture on growth, body composition and gastric evacuation of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture* 16, 39-46. [http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00318-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00318-5).
- Lee SM and Kim KD. 2001. Effects of dietary protein and energy levels on growth, protein utilization and body composition of juvenile masu salmon (*Oncorhynchus masou*). *Aquaculture* 187, 399-409. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1355-557x.2001.00004.x>.
- Liu FG and Liao CI. 1999. Effect of feeding regimen on the food consumption, growth and body composition in hybrid striped bass *Morone saxatilis* × *M. chrysops*. *Fish Sci* 64, 513-519.
- Meyer-Burgdorff KH, Osman MF, Gunther KD. 1989. Energy metabolism in *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture* 79, 283-291.
- Mihelakakis A, Tsolkas C and Yoshimatsu T. 2002. Optimization of feeding rate of hatchery-produced juvenile gilthead seabream *Sparus aurata*. *J World Aquacult Soc* 22, 169-175. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-7345.2002.tb00491.x>.
- Myeong JI, Pack SY, 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.
- 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. *Aquacult Int* 8, 19-29.
- NRC (Nutrient Research Council). 1993. Nutrient requirement of fish. National academy Press, Washington DC, U.S.A., 114.
- Page JW and Andrews JW. 1973. Interaction of dietary Levels of protein and energy on channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *J Nutr* 103, 1339-1346.
- Pelletier D, Blier P, Dutil JD and Guderley H. 1995. How should enzyme activities be used in fish growth studies? *J Exp Biol* 198, 1493-1497.
- Riche M, Haley DI, Oetker M, Garbrecht S and Garling DL. 2004. Effect of feeding frequency on gastric evacuation and the return of appetite in tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture* 234, 657-673. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.12.012>.
- Robbins KR, Norton HW and Baker DH. 1979. Estimation of nutrient requirements from growth data. *J Nutr* 109, 1710-1714.
- Seo JY, Choi KH, Choi J and Lee SM. 2005. Effects of feeding frequency of extruded diets containing different macronutrients levels on apparent nutrient digestibility in grower flounder *Paralichthys olivaceus*. *J Aquaculture* 18, 160-166.
- Shimeno S, Shikata T, Hosokawa H, Masumoto T and Kheyyali D. 1997. Metabolic response to feeding rates in common carp, *Cyprinus carpio* *Aquaculture* 151, 371-377.
- Smith LS. 1989. Digestive functions in teleost fishes. In: Halver JE ed. *Fish Nutrition*. Academic Press, London, U.K., 332-411.
- Tsevis N, Klaoudatos S and Condes A. 1992. Food conversion budget in sea bass *Dicentrarchus labrax*, fingerlings under two different feeding frequency patterns. *J Aquaculture* 101, 293-304.
- Van Ham EH, Berntssen MHG, Imsland AK, Parpoura AC, Bonga SEW and Stefansson SO. 2003. The influence of temperature and ration on growth, feed conversion, body composition and nutrient retention of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture* 217, 547-558.
- Wang N, Hayward RS and Noltie DB. 1998. Effect of feeding frequency on food consumption, growth, size variation, and feeding pattern of age-0 hybrid sunfish. *Aquaculture* 165, 261-267.
- Weatherley AH and Gill HS. 1987. The biology of fish growth. 4. Protein, lipid and caloric contents. Academic press, London, U.K., 139-146.
- XiaoJin X and Ruyung S. 1992. The bioenergetics of the southern catfish (*Scophthalmus maximus*). *J Aquaculture* 217, 547-558.
- Zeitoun IH, Ullrey DE and Magee WT. 1976. Quantifying nutrient requirements of fish. *J Fish Res Bd Can.* 33, 167-172.
- Zoccarato IG, Benatti ML, Bianchini M, Boccignone A, Conti R, Napolitano and Palmegiano GB. 1994. Differences in performance, flesh composition and water output quality in relation to density and feeding levels in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), farming. *Aquaculture* 25, 639-647.