

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

이진혁 · 이봉주 · 김강웅 · 한현섭* · 박건현¹ · 이준호¹ · 윤현호¹ · 배승철

국립수산과학원 사료연구센터, ¹부경대학교 해양바이오신소재학과/사료영양연구소

Optimal Feeding Frequency for Juvenile Korean Rockfish *Sebastes schlegeli* Fed Commercial Diet at Two Different Water Temperatures

Jin-Hyeok Lee, Bong-Joo Lee, Kang-Woong Kim, Hyon-Sob Han*, Gun-Hyun Park¹, Jun-Ho Lee, Hyeon-Ho Yun¹ and Sungchul C. Bai

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

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

We conducted two feeding trials to investigate the optimal feeding frequency of juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed a commercial diet of expanded pellets containing 47.2% crude protein, 9.2% crude lipid, and 14.5% ash at two different water temperatures. In the first experiment, triplicate groups of 20 fish with an average weight of 2 g were fed an equal amount of diet (5.97% based on body weight) at one of six feeding frequencies (2, 3, 4, 5, 7, or 9 meals/day) for four weeks at 17.5°C. After four weeks, we measured weight gain (WG), specific growth rate (SGR), feeding efficiency (FE), and protein efficiency ratio (PER). Fish fed diet five meals/day grew significantly better than those fed nine meals/day. The second experiment used identical experimental conditions and feeding regions, except the food ration was slightly less (5.92% based on body weight) and the water temperature was increased to 20°C. After four weeks, we again measured WG, SGR, FE and PER. Fish fed seven meals/day grew significantly faster than those fed 2, 3, 4, or 9 meals/day. Whole-body protein levels in fish fed three meals/day was higher than those fed four meals/day in 17.5°C water, but whole-body lipids in the fish fed four meals/day was higher than those fed two meals/day in 20°C water. A second-order polynomial analysis based on WG suggested the optimal feeding frequency for juvenile Korean rockfish was five meals/day at 17.5°C and six meals/day at 20°C, indicating that fish reared in higher water temperature require higher feeding frequencies.

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

서론

국내 어류양식에서 조피볼락은 두 번째로 생산량이 많은 어종으로 2013년에는 23,085톤이 생산되어(Statistics Korea, 2013), 국내 어류양식 총 생산량의 33%를 차지하는 중요한 양식어종이다. 다른 양식어종과 마찬가지로 사료비용은 조피볼락 총 양식경영비의 50-60%에 이르며(Cho et al., 2006), 조피볼락 양식의 효율적인 관리와 생산성 향상을 위해 많은 사료 영양학적 연구들이 수행되었다. 조피볼락의 영양소 요구량과 사료 원료 이용성에 관한 연구들이 수행 되었으며(Lee et al.,

1993; Kim and Bae, 1999; Lee et al., 2000a), 최근에는 환경 친화적인 고효율 배합사료 개발을 위한 연구들이 수행되고 있다. 또한, 생사료 대비 배합사료의 사육효과 비교 실험이 수행되어, 배합사료에 의한 생사료 대체 가능성이 보고되고 있다(Lee and Jeon, 1996). 그러나 대상 양식어종에 대한 적합한 사료가 개발 되더라도 사료공급방법이 제대로 이루어지지 않으면 성장 및 사료효율을 저하시킬 뿐만 아니라 수질오염을 발생시키는 등 많은 부작용을 일으킬 수 있다(Kim et al., 2005). 대부분 해상 가두리에서 생산되고 있는 국내 조피볼락 양식은 먹이섭식 특성상 침강사료를 공급하기 때문에 현장에서 적정 사료공급량을

Article history;

Received 31 October 2013; Revised 5 December 2013; Accepted 9 December 2013

*Corresponding author: Tel: +82. 54. 230. 3600 Fax: +82. 54. 230. 3699

E-mail address: hyonsob@korea.kr

Kor J Fish Aquat Sci 46(6) 761-768, December 2013

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0761>

pISSN:0374-8111, eISSN:2287-8815

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

파악하기 쉽지 않아 사료가 과잉 또는 과소 공급되기 쉽다. 따라서, 이를 개선할 수 있는 사료공급체계 연구가 필요한 실정이다.

양식어종의 적정 사료 공급공급횟수는 어류의 성장단계, 수온 및 사료조성 등에 영향을 받기 때문에(NRC, 2011), 적정 사료 공급체계에 관한 연구는 양식 생산성에 직접적으로 영향을 미칠 수가 있다(Seo et al., 2005). 특히 조피볼락 양식은 대부분 해상가두리에서 이루어질 뿐만 아니라 인근해 지역의 수온변화에 쉽게 영향을 받기 때문에, 수온 변화에 의한 적정 사료 공급공급 횟수 연구는 양식 생산성을 높이기 위한 기초 연구라고 할 수 있다. 변온동물인 어류에서 수온은 성장과 발육에 영향을 미치는 중요한 요인으로 수온 변화에 따라 생리대사 활성이 조절되며(Pelletier et al., 1995), 어류의 사료 섭취에 직접적인 영향을 미친다(Choi et al., 2002). 조피볼락의 적정 사육수온은 18-22℃이며, 23℃ 이상의 사육수온 환경에서는 먹이섭식 활동이 저하되고 25℃ 이상으로 상승하면 면역력 저하가 발생한다(Choi et al., 2011). 따라서, 각 성장단계에서 수온별 적정 사료 공급공급 횟수 확립은 기초연구로 양식대상어종을 효율적으로 생산성을 높이는 유용한 자료가 될 것이다(Tsevis et al., 1992; Azzaydi et al., 2000).

이전의 연구에서 여러 어종들에 있어 적정 공급횟수에 대한 연구들이 보고 되었으며, 1년생 무지개송어(400-700 g)는 1일 4회(Ruohonen et al., 1998), 틸라피아(183 g)는 1일 3회(Riche et al., 2004), 조피볼락의 경우 6-20 g 크기에서 1일 1회 또는 2일 1회 공급하는 것이 적당한 것으로 보고 되었다(Lee et al., 1996). 그러나 적정 사료공급횟수는 어체 크기와, 수온에 따라 달라 질 수 있기 때문에(Brett and Higgs, 1970), 조피볼락 배합 사료 공급량에 대한 기초 가이드라인 확립을 위해서는 다양한 어체크기 및 수온에 따른 적정 공급횟수 연구가 필요하다.

본 연구는 조피볼락 치어에서 배합사료의 적정 공급횟수를 조사하기 위해 수행되었으며, 수온별 사료공급량에 의한 어체성장 및 체조성 변화에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

실험어 및 사육관리

전북 고창에서 조피볼락 치어를 구매하여 부경대학교 영양 대사학 실험실로 운반하였고, 실험환경에 적응 시키기 위해 400 L수조에서 2주간 예비 사육하였다. 예비사육 후, 수온별 배합사료 적정 공급횟수에 대한 2개의 사료공급 실험을 수행하였다. 사육수온 17.5℃에서의 적정 공급횟수 실험은 평균무게 2.01±0.03 g인 조피볼락 치어를 36 L 사각수조에 각 실험 구 당 20마리씩 3반복으로 무작위 배치하였다. 전 실험기간 동안 평균수온은 17.5±0.3℃로 유지되었다. 사육수온 20℃의 적정 공급횟수 실험에서는 평균무게 2.03±0.03 g인 치어를 36 L 사각수조에 각 실험 구 당 20마리씩 3반복으로 무작위 배치하였고, 전 실험기간 동안 평균수온은 20±0.3℃로 유지되었다.

Table 1. Proximate analysis of the experimental diet for juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* (% of dry matter basis)

	Commercial diet
Moisture (%)	8.89
Crude protein (%)	47.21
Crude lipid (%)	9.22
Crude ash (%)	14.45
Gross energy (cal/g)	4526
Diet size (mm)	2.4 - 2.6

두 실험 모두에서 실험수조는 반순환여과식 시스템이었으며, 유수량은 2 L/min로 조절되었다. 충분한 용존산소 공급을 위해 에어스톤을 설치하였으며, 사육실험은 각각 4주간 실시하였다.

실험사료 및 실험설계

수온별 공급횟수 실험에 사용된 실험사료는 두 실험에서 동일하게 조피볼락 치어용 상업 배합사료(수협, 침강 2호S)를 사용하였고, 일반성분 조성은 Table 1에 나타내었다. 사료공급구는 두 실험에서 동일하게 1일 2회(08:00, 20:00), 3회(08:00, 14:00, 20:00), 4회(08:00, 12:00, 16:00, 20:00), 5회(08:00, 11:00, 14:00, 17:00, 20:00), 7회(08:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00, 18:00, 20:00), 9회(08:00, 9:30, 11:00, 12:30, 14:00, 15:30, 17:00, 18:30, 20:00)로 총 6개의 실험구를 설정하였으며, 사료 공급량은 이전의 연구결과를 기초로 적정 공급량(17.5℃에서는 5.97%, 20℃에서는 5.92% based on body weight)값을 제한공급 하였다(NFRDI, 2011).

어체측정

어체측정 항목과 방법은 수온별 실험에서 동일하였다. 어체측정은 2주에 한번씩 측정하였고 4주간의 실험 종료 후, 24시간 절식시킨 후 MS-222 (100 ppm)로 마취시켜 전체무게를 측정하였다. 실험 종료 후 증체율(weight gain), 사료효율(feed efficiency), 일간성장율(specific growth rate), 단백질전환효율(protein efficiency ratio), 생존율(survival)을 측정 하였으며, 실험 구당 15마리씩(5 fish×3 replicates) 무작위 선택하여 비만도(condition factor), 간중량지수(hepatosomatic index, HSI), 내장중량지수(viscerosomatic index, VSI)를 구하였다.

일반성분 분석

각 수조별로 5마리씩 무작위로 선택된 실험어 전어체는

Table 2. Growth performance of juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegelii* fed commercial diet for 4 weeks in the water temperature at 17.5°C and 20°C

Water Temp (°C)		Feeding frequency (meals/day)						Pooled SEM ⁹
		2	3	4	5	7	9	
17.5	IW ²	2.00	2.02	1.99	2.01	2.01	2.01	0.00
	FW ³	5.70	5.81	5.97	6.10	5.58	5.18	0.13
	WG ⁴	185.5 ^{ab}	188.2 ^{ab}	199.3 ^{ab}	203.3 ^a	177.5 ^{bc}	157.1 ^c	6.80
	SGR ⁵	328 ^{ab}	3.31 ^{ab}	3.42 ^{ab}	3.46 ^a	3.18 ^{bc}	2.95 ^c	0.08
	FE ⁶	61.8 ^{ab}	62.5 ^{ab}	64.5 ^{ab}	66.1 ^a	58.7 ^{bc}	53.1 ^c	1.89
	PER ⁷	1.31 ^{ab}	1.32 ^{ab}	1.37 ^{ab}	1.40 ^a	1.24 ^{bc}	1.13 ^c	0.04
	Survival ⁸	100	100	100	100	100	100	0.00
	20.0	IW ²	2.03	2.04	2.05	2.02	2.03	2.02
FW ³	5.29	5.32	5.36	5.44	5.8	5.05	0.10	
WG ⁴	160.2 ^b	162.5 ^b	163.8 ^b	168.8 ^{ab}	185.1 ^a	149.9 ^b	4.74	
SGR ⁵	3.19 ^b	3.22 ^b	3.23 ^b	3.29 ^{ab}	3.49 ^a	3.05 ^b	0.06	
FE ⁶	70.8 ^{ab}	68.6 ^{bc}	70.6 ^{ab}	71.8 ^{ab}	74.8 ^a	64.5 ^c	1.37	
PER ⁷	1.50 ^{ab}	1.45 ^{bc}	1.50 ^{ab}	1.52 ^{ab}	1.58 ^a	1.37 ^c	0.03	
Survival ⁸	100	100	100	100	100	100	0.00	

¹Values are means from triplicate groups of fish where the values in each row 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×100 / dry feed intake

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} .

AOAC (2000) 방법에 따라 수분은 상압가열건조법(135°C, 2 시간), 조단백질은 Kjeldahl 질소정량법($N \times 6.25$), 조회분은 직접회화법(550°C, 4 시간)으로 분석하였다. 조지방은 샘플을 12시간 동결 건조한 후, Soxtec system 1046 (Tacator AB, Sweden)을 사용하여 Soxhlet 추출법으로 분석하였다.

통계처리

모든 자료의 통계처리는 J.M.P program version 9.1.3 statistical software (SAS Institute, 2004)로 one-way ANOVA test를 실시한 후, 최소유의차 검정(LSD: Least significant difference)으로 평균간의 유의성($P<0.05$)을 검정하였으며, 적정 공급횟수는 Second-order polynomial model (Zeitoun et al., 1976)를 이용하여 확인하였다.

결과 및 고찰

수온별 조피볼락 치어의 4주간 사육실험 동안 폐사율은 발생하지 않았으며, 성장결과는 Table 2에 나타내었다. 사육수온 17.5°C에서 조피볼락 치어의 증체율은 5회 실험구가 7회, 9회 실험구에 비해 유의하게 높은 결과를 나타내었으며, 2회, 3회, 4회와는 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 일간성장율, 사료효율, 단백질 전환효율 역시 증체율과 같은 결과를 보였다(Table 2). 사육수온 20°C에서 증체율과 일간성장율은 7회 실험구가 2회, 3회, 4회, 9회 실험구에 비해 유의하게 높은 결과를 나타내었으며($P<0.05$), 5회 실험구와는 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 사료효율과 단백질전환효율은 7회 실험구가 3회, 9회 실험구에 비해 유의하게 높은 결과를 나타내었으며, 2회, 4회, 5회 실험구와는 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 각 수온에 따라 4주간 공급횟수 실험기간 동안 증체율과 사료효율은 일정 공급횟수

Table 3. Whole-body proximate composition of juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed commercial diet for 4 weeks in the water temperature at 17.5 °C and 20 °C

Water Temp (°C)	Feeding frequency (meals/day)	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash
17.5	2	74.0	61.3 ^{ab}	18.6	16.8
	3	73.1	63.6 ^a	18.9	17.7
	4	72.5	60.1 ^b	20.4	16.5
	5	73.1	62.1 ^{ab}	19.7	16.3
	7	73.7	62.8 ^{ab}	17.0	16.8
	9	73.4	61.4 ^{ab}	18.1	17.4
	Pooled SEM ⁵		0.22	0.51	0.49
20.0	2	74.3 ^a	63.2	16.8 ^b	16.6
	3	73.7 ^{ab}	61.7	20.1 ^{ab}	15.9
	4	73.3 ^{ab}	62.3	21.6 ^a	16.1
	5	73.7 ^{ab}	61.0	20.7 ^a	17.0
	7	72.9 ^b	62.5	20.2 ^a	16.1
	9	73.5 ^{ab}	61.3	20.8 ^a	16.3
	Pooled SEM ⁵		0.18	0.34	0.68

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

⁵Pooled SEM: Pooled Standard error of mean: SD/

이상 증가하다 감소하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 사료 공급횟수가 어류의 장내 소화 또는 흡수와 밀접한 관계가 있는 것을 보이며(kim et al., 2005), Henken et al. (1985)는 사료공급 횟수의 증가가 소화율을 감소 시킨다고 보고 하였다. 본 실험 결과는 이전의 넙치 치어와 조피볼락에 대상으로 한 먹이 공급체계 연구결과와 비슷한 경향을 보였으나(Lee et al., 1999; Lee et al., 2000b), 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*), 넙치, 붉바리(*Epinephelus akaara*), 조피볼락에 대상으로 한 또 다른 연구결과에서는 적정 공급횟수 이상에서 성장이 일정한 것으로 보고 되었다(Grayton and Bermish, 1977; Kayano et al., 1993; Kim et al., 2005). 이처럼 동일 어종에서도 사료공급 횟수에 의한 성장이 상이하게 나타난 것은 실험환경조건, 사육수온, 어류의 성장단계에 따라 실험결과가 달라 질 수 있다는 것을 시사하고 있다. 이 밖에도 적정 사료공급 횟수는 수온변화에 의해 변하게 되는데, 본 실험결과 수온 17.5 °C에서 1일 5회 공급, 20 °C에서 1일 7회 공급이 가장 빠르게 성장하는 것을 관찰 할 수 있었다(Table 2). 이는 사료섭취 후 소화기관이 비워지는 시간(gastric evacuation time)과 밀접한 관계를 가지며(Grove and Crawford, 1980; Grove et al., 1985), 잉어(*Cyprinus carpio*)와 무

지개 송어(*Oncorhynchus mykiss*)에서 수온과 사료공급횟수에 따라 영양소 소화흡수에 영향을 준다고 보고하였다(Yamamoto et al., 2007). 섭취된 사료의 장 배설율은 사육수온에 의해 영향을 받는 것으로 보고되었다(Handeland et al., 2008).

수온별 조피볼락 치어의 일일 적정 사료공급 횟수는 증체율 결과를 바탕으로 second-order polynomial analysis로 분석하였고 그 결과 17.5 °C에서는 5회, 20 °C에서는 6회인 것으로 나타났다(Fig. 1 and 2). 이와 유사한 결과가 붉바리에서 보고되었으며, 1일 6회가 적정 사료공급 횟수인 것으로 나타났다(Kayano et al., 1993). 반면, 어체크기 6 g인 조피볼락에 대상으로 한 실험에서는 24 °C 사육수온에서 1일 1회가 적정 사료공급 횟수인 것으로 보고 되었다(Lee et al., 2000b). 일반적으로 사료공급량은 어종, 성장단계, 사료내 에너지 수준에 따라 차이가 나타나며(NRC, 2011), 사료공급횟수는 어체크기가 작을수록, 그리고 적정 사육수온에서부터 낮을수록 줄어드는 것으로 보고되었다(Rowland et al., 2005).

수온별 전어체 성분 분석 결과는 Table 3에 나타내었다. 사육수온 17.5 °C에서 수행된 어체의 조단백질 분석결과 3회 실험구가 4회 실험구에 비해 유의하게 높게 나타났으나, 4회를 제외

Table 4. Nutritional performance of juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed commercial diet for 4 weeks in the water temperature at 17.5°C and 20°C

Water Temp (°C)	Feeding frequency (meals/day)	CF ²	HSI ³	VSI ⁴
17.5	2	0.86	3.15	11.4 ^b
	3	0.88	3.23	11.7 ^{ab}
	4	0.89	3.50	11.8 ^{ab}
	5	0.92	3.62	12.2 ^a
	7	0.85	3.39	11.4 ^b
	9	0.79	3.17	11.1 ^b
	Pooled SEM ⁵		0.02	0.08
20.0	2	0.83 ^b	2.95	11.2
	3	0.84 ^b	3.16	11.2
	4	0.84 ^b	3.19	11.5
	5	0.86 ^{ab}	3.25	11.5
	7	0.93 ^a	3.29	11.5
	9	0.81 ^b	3.21	11.5
	Pooled SEM ⁵		0.03	0.05

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

²CF: Condition factor = Body weight / Total body length³

³HSI: Hepatosomatic index = Liver weight / Body weight × 100

⁴VSI: Visceralsomatic index = Visceral weight / Body weight × 100

⁵Pooled SEM: Pooled Standard error of mean: SD/

한 다른 실험구들과는 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 수분, 조지방, 조회분은 전 실험구에서 유의한 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 사육수온 20°C에서 수행된 어체의 수분 분석결과 7회 실험구가 2회 실험구에 비해 낮게 나타났으며($P<0.05$), 그 외 실험구들 사이에서는 차이를 나타내지 않았다($P>0.05$). 조단백 분석결과 전 실험구에서 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 전어체 조지방 함량은 2회와 4회 실험구 사이에서만 유의적인 차이를 보였으며, 2회 실험구 전어체에서 상대적으로 낮은 조지방 함량이 관찰되었다($P<0.05$). 조회분에 있어서는 전 실험구에서 유의한 차이를 보이지 않았다. 전어체의 일반성분 분석결과 수온별 공급횟수에 따른 수분, 단백질, 지방 및 회분함량은 공급횟수에 의해 특이적인 경향을 보이지 않았으며, 이전의 넓치에서 보고된 공급횟수에 의한 전어체 일반성분 조성과의 유사하였다(Kim et al., 2005; Kim et al., 2009).

수온별 생물학적 분석결과를 Table 4에 나타내었다. 사육수온 17.5°C에서 수행된 어체의 비만도, 간중량지수는 전 실험구간

에 유의한 차이를 보이지 않았다. 내장중량지수결과는 5회 실험구가 2회, 7회, 9회 실험구에 비해 유의하게 높게 나타났으며, 3회, 4회 실험구와는 유의한 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 사육수온 20°C에서 수행된 어체의 비만도, 간중량지수, 내장중량지수는 전 실험구간에 유의한 차이를 나타내지 않았다(Table 4, $P>0.05$). 수온별 비만도, 간중량지수, 내장중량지수 역시 전어체 결과와 마찬가지로 공급횟수에 따른 유의차를 보이지 않았지만, 경향적으로 판단하였을 때 어체성장이 가장 빠른 7회 실험구가 비만도, 간중량지수, 내장중량지수 함량에서 가장 높게 나타났다. 이러한 결과는 17.5°C에서 수행된 결과와도 일치하는데, 성장이 가장 빠른 5회 공급 실험구에서 비만도, 간중량지수, 내장중량지수 함량이 가장 높게 나타났다. 관찰된 결과를 기초로 판단하였을 때 적정 사료공급 횟수는 에너지 사용을 가장 효율적으로 이끌어 체내 에너지 저장형태인 지방으로 축적하는 것으로 사료되며, 이와 유사한 결과가 조피볼락 실험에서 나타났다(Lee et al., 2000b). 적정 공급횟수 이상 또는 그 이하

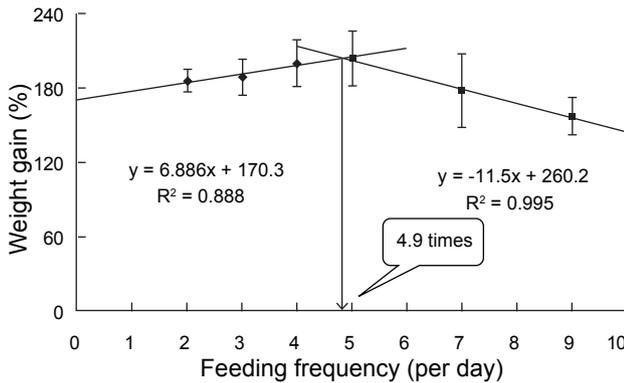


Fig. 1. Second-order polynomial analysis of weight gain (WG) for optimum feeding frequency of juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed a commercial diet for 4 weeks at 17.5°C.

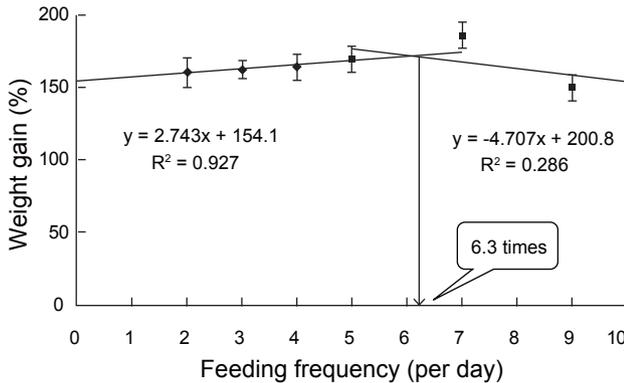


Fig. 2. Second-order polynomial analysis of weight gain (WG) for optimum feeding frequency of juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed a commercial diet for 4 weeks at 20°C.

로 사료를 공급하게 되면 한번에 공급되는 사료량이 상대적으로 작거나 많아서, 장 통과시간에 영향을 줄 뿐만 아니라 사료의 소화효율을 떨어뜨린 것으로 사료된다(Liu and Liao, 1999).

양식대상어종에 대한 적정 사료공급 횟수는 최대성장과 사료 효율을 이끌어 내며, 과잉공급 방지에 따른 수질오염 감소 및 경제적 손실을 최소화한다(Ng et al., 2000; Mihelakakis et al., 2002). 하지만 어류의 최대 성장에 필요한 적정 사료공급 횟수는 어종과 사료의 영양소 함량 및 수온 등의 사육환경에 따라 달라지게 된다(Wang et al., 1998; Lambert and Dutil, 2001; Dwyer et al., 2002; Riche et al., 2004). 어류의 생리적 기능은 수온의 영향에 의한 효소활성에 의해 조절되며(Pelletier et al., 1995), 수온이 낮아지면 어체내 소화효소활성 및 대사율이 감소로 사료섭취량이 적어지고(Fauconneau et al., 1983), 반대로 수온이 상승하게 되면 활동성 및 대사율이 증가하여 사료섭취

량이 증가하게 된다(NRC, 2011). 따라서, 향후 조피볼락의 사료 공급체계의 확립을 위해서는 성장 단계별 수온변화에 따른 적정 공급횟수에 대한 추가적인 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 조피볼락 치어의 최적성장을 위한 배합사료 적정 공급횟수를 분석하였으며, 증체율을 바탕으로 second-order polynomial analysis로 분석한 결과 17.5°C 사육조건에서 1일 5회, 20°C에서 1일 6회를 공급하는 것이 적정 수준인 것으로 나타났다.

사 사

이 연구는 국립 수산 과학원(친환경 실용 배합사료 개발 및 품질 관리연구, RP-2013-AQ-203)의 지원에 의해 수행 되었으며, 이에 감사 드립니다.

References

- 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. [http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00276-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00276-8).
- Brett JR and Higgs DA. 1970. Effects of temperature on rate of gastric digestion in fingerling sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) in relation to temperature and ration size. *J Fish Res Bd Can* 26, 2363-2394.
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.05.041>.
- Choi YU, Rho S, and Lee YD. 2002. Effect of water temperature and stocking density on growth of juvenile red drum *Sciaenops ocellatus*. *J Aquaculture* 15, 131-138.
- Choi HS, Huh MD, Lee MK Choi HJ and Park MA. 2011. Histopathological observation of liver in cultured black rockfish *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 ferruginosa*). *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).
- 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.
- Grove DJ and Crawford C. 1980. Correlation between digestion rate and feeding frequency in the stomachless teleosts, *Blenius pholis* L. *J Fish Biol* 16, 235-247.
- Grove DJ, Moctezuma MA, Flett HRJ, Foott JS, Watson T and Flowerdew MW. 1985. Gastric emptying and the return of appetite in juvenile turbot, *Scophthalmus maximus* L., fed on artificial diets. *J Fish Biol* 26, 339-354.
- Handeland SO, Imsland AK and Stefansson SO. 2008. The effect of temperature and fish size on growth, feed intake, food conversion efficiency and stomach evacuation rate of Atlantic salmon post-smolts. *Aquaculture* 283, 36-42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.06.042>.
- 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
- 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 KD, Nam MM, Kim KW, Lee HY, Hur SB, Kang YJ and Son MH. 2009. Effects of feeding rate and feeding frequency on growth and body composition of sub-adult flounder *Paralichthys olivaceus* in suboptimal water temperature. *Aquaculture* 42, 262-267.
- 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.
- 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.
- 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, 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 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 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, 385-394.
- 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.
- Lee SM, Hwang UG 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.
- 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*. *Fisheries Sci* 64, 513-519.
- 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>.
- NFRDI (National Fisheries Research and development Institute). 2011. Systematical feeding Management of expanded pellets (2011). NFRDI Report, 2011-AQ-60, 1-262.
- 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. *J Aquacult Int* 8, 19-29.
- NRC (Nutrient Research Council). 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. The National Academy Press, Washington DC, U.S.A.
- 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 MD, Haley I, Oether 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.
- Rowland SJ, Allan GL, Mifsud C, Nixon M, Boyd P and Glendenning D. 2005. Development of a feeding strategy for silver perch, *Bidyanus bidyanus* (Mitchell), based on restricted rations. *Aquac Res* 36, 1429-1441.
- Ruohonen K, Vielma J and Grove DJ. 1998. Effects of feeding frequency on growth and food utilization of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed low-fat herring or dry pellets. *Aquaculture* 165, 111-121.
- 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.
- Statistics Korea. 2013. Statistic Database for Aquaculture production. Retrieved from <http://kostat.go.kr> on March 21.
- 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.
- 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.
- Yamamoto T, Shima T, Furuita H, Sugita T and Suzuki N. 2007. Effects of feeding time, water temperature, feeding frequency and dietary composition on apparent nutrient digestibility in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* and common carp *Cyprinus carpio*. *Fisheries Sci* 73, 161-170
- Zeitoun IH, Ullrey DE and Magee WT. 1976. Quantifying nutrient requirements of fish. *J Fish Res Bd Can* 33, 167-172.