

저수온, 적수온, 고수온에서 미성어기 조피볼락(*Sebastes schlegeli*)의 배합사료 적정 공급률

김민기 · 이초롱 · 김유정 · 오대한 · 이봉주¹ · 김성삼¹ · 이경준*

제주대학교 해양생명과학, ¹국립수산과학원 사료연구센터

Optimal Feeding Rates of Subadult Korean Rockfish *Sebastes schlegeli* Fed a Commercial Diet at Different Water Temperatures

Min-Gi Kim, Cho-Rong Lee, You-Jeong Kim, Dae-Han Oh, Bong-Joo Lee¹, Sung-Sam Kim¹ 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

Three feeding trials were conducted to investigate the optimal feeding rates of subadult Korean rockfish *Sebastes schlegeli* at low, optimal and high water temperatures. In Exp-I, triplicate groups of fish (248 g) were fed a commercial diet (CD) with five different feeding rates of 0.1%, 0.2%, 0.4%, 0.6% and 0.8% body weight per day for 10 weeks at the low temperature (11.6-15.2°C). In Exp-II, fish (129 g) were fed the same CD with five different feeding rates of 0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6% and 2.0% body weight per day for 10 weeks at the optimal temperature (16.0-18.8°C). In Exp-III, fish (85.7 g) were fed the same CD with five different feeding rates of 0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6% and 2.0% body weight per day for 12 weeks at the high temperature (21.0-28.5°C). The optimal feeding rates in the low, optimal, and high water temperatures were estimated to be 0.56%, 0.93% and 1.17% body weight per day, respectively, for subadult Korean rockfish.

Key words: *Sebastes schlegeli*, Optimum feeding rate, Korean rockfish, Water temperature, Sub-adult fish

서론

조피볼락(*Sebastes schlegeli*)은 국내에서 넓치 다음 두 번째로 많이 양식 생산되는 육식성 해산어종으로 국내 어류양식 총 생산량의 약 33%인 23,033톤을 차지한다(Statistics Korea, 2013). 조피볼락을 포함한 대부분의 어류양식에서 배합사료의 효율적이며 체계적인 공급방법은 매우 중요한 요소로 작용한다(Azzayedi et al., 2000). 어류양식 경영에 있어서 배합사료의 비용은 총 양식경영비의 50-60%를 차지함으로써 양식경영의 수익성에 가장 밀접한 영향을 미치는 요인이다(Cho et al., 2006). 이러한 이유로 배합사료의 체계적인 공급방법과 공급량에 관한 연구들이 지속적으로 이루어지고 있다(Myeong et al., 1997; Lee et al., 2013a; Kim et al., 2010). 최근 국내 양식산업에서도 배합사료의 체계적인 공급방법과 공급량 및 공급 횟수

에 관한 연구의 필요성이 대두되면서 조피볼락을 대상으로 한 일련의 연구결과들이 보고되고 있다(Oh et al., 2013; Lee et al., 2013a, 2013b). 사료의 과잉 공급은 사료의 유실 뿐 만 아니라, 어체 내 사료의 비효율적인 이용으로 인한 사료 허실을 초래하여 경제적인 손실과 수질 오염원을 증가시키게 된다(Kim et al., 2012). 또한, 배합사료를 만복공급 형태로 과잉공급 하면 사료 계수가 올라가고 복수증, 탈장 등과 같은 질병발생의 원인이 되기도 한다(Biswas et al., 2006). 이와 반대로 사료를 부족하게 공급하면 어류의 최대 성장에 필요한 영양소 요구량을 충족시키지 못하여 어류의 성장 저하를 초래하게 된다(Tsevis et al., 1992; Azzaydi et al., 2000).

수온은 어류의 성장과 발육을 결정짓는 중요한 요인으로 어류의 섭식욕구에 직접적인 영향을 준다(Choi et al., 2002). 수온이 낮아지면 어류 체내의 소화효소 활성 및 대사율이 감소하게

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2015.0322>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Korean J Fish Aquat Sci 48(3) 322-328, June 2015

Received 6 April 2015; Revised 5 June 2015; Accepted 22 June 2015

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

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

되어(Fauconneau et al., 1983) 사료 섭취량이 적어지며, 수온이 상승하여 적정 수온에 이르게 되면 활동성 증가에 따른 대사율이 증가하여 사료 섭취율도 증가하게 된다는 것은 이미 잘 알려진 사실이다(NRC, 2011). 하지만 적정 수온보다 높은 고수온에서는 스트레스가 증가하게 되어 먹이섭식 활동이 저하될 수 있으며, 수온이 과도하게 상승할 경우에는 어류의 면역력이 급속히 떨어지게 되어 폐사율이 높아지게 된다(Choi et al., 2011). 따라서 수온변화에 따른 사료의 적절한 공급률을 확립하는 것이 어류 양식에 있어서 가장 중요한 요소가 된다. 어류의 사료 섭취량은 사육수온에 주로 영향을 받는다고 이미 잘 알려져 있다(Brett, 1979; Hidalgo et al., 1987). 사육수온과 사료공급률이 조피볼락의 성장과 사료효율에 미치는 영향에 대해 이전에 연구된 바가 있으나(Myong et al., 1997; Mizanur and Bai, 2014), 제한적인 수온 범위와 성장단계(치어-육성어)를 대상으로 한 연구만이 이루어졌으며, 미성어기에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구는 미성어기(85-250 g) 조피볼락을 대상으로 저수온기, 적수온기 및 고수온기에 있어서의 적정 사료 공급률을 설정하기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

실험어 및 사육관리

실험어는 경상남도 거제에 위치한 조피볼락 양어장에서 구입하여 제주대학교 해양과학연구소로 운송되었다. 운송된 어류를 실험환경에 적응시키기 위해 시판되는 조피볼락용 배합사료(수협사료 5호, 11호)를 공급하면서 약 3주간 순치하였다.

실험사료 및 실험설계

실험 1 (Exp-I)은 조피볼락 미성어의 저수온기 배합사료 공급량 평가에 관한 실험으로 초기 평균체중 248 ± 1 g의 조피볼락을 사용하여 15개 350 L 원형 수조에 각 30 마리씩 무작위로 배치하였다. 실험 사료구는 총 5개로 어체중을 기준으로 공급량을 달리하여 0.1%, 0.2%, 0.4%, 0.6% 그리고 0.8%가 되도록 설정되었으며, 각 사료구 당 3반복으로 사육실험이 진행되었다. 실험사료로는 시판 조피볼락용 배합사료(수협사료 11호; 수분 7.8%, 조단백질 48.1%, 조지방 13.5%, 조회분 12.7%)를 사용하였다. 사육실험은 조피볼락 저수온기 자연수온(11.6-15.2°C)에서 총 10주간 실시되었다(2-4월).

실험 2 (Exp-II)는 조피볼락 미성어의 적수온기 배합사료 공급량 평가에 관한 실험으로 초기 평균체중 129 ± 1 g의 조피볼락을 15개 150 L 원형 FRP 수조에 33 마리씩 무작위로 배치하였다. 실험 사료구는 총 5개로 각각 공급량을 달리하여 어체중 기준으로 0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6% 그리고 2.0%가 되도록 설정되었으며, 실험 사료구 당 3반복으로 진행되었다. 실험사료는 실험 1에서의 마찬가지로 상업용 조피볼락 배합사료(수협사료 6호; 수분 7.6%, 조단백질 49.5%, 조지방 13.1%, 조회분

15.3%)를 사용하였다. 사육실험은 10주간 진행되었으며, 사육수온은 조피볼락의 적수온기인 자연수온(16.0-18.8°C)하에서 실시되었다(11-12월).

실험 3 (Exp-III)은 조피볼락 미성어의 고수온기 배합사료 공급량 평가에 관한 실험으로 85.7 ± 0.3 g의 조피볼락을 이용하여 실시되었다. 실험어는 150 L 원형 FRP 수조 15개에 각 33 마리씩 무작위로 배치되었다. 실험 사료구는 총 5개로 각각 공급량을 달리하여 어체중 기준으로 0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6% 그리고 2.0%가 되도록 설정하였으며, 사료구 당 3반복으로 진행되었다. 실험사료는 상업용 조피볼락 배합사료(수협사료 5호; 수분 7.6%, 조단백질 49.5%, 조지방 13.1%, 조회분 15.3%)를 사용하였다. 사육실험은 총 12주간으로 고수온기 자연수온(21.0-28.5°C)하에서 실시되었다(7-9월).

위의 수온별 세가지 사육실험은 원형 유수식 수조시스템에서 실시되었으며 사육수는 모래여과해수를 사용하여 실험 1과 실험 2는 2-3 L/min, 실험 3은 1-2 L/min의 유수량을 유지하면서 실시되었다. 각 실험수조에 충분한 용존산소 유지를 위하여 에어스톤을 설치하였으며, 광주기는 형광등을 이용하여 약 12L:12D 조건으로 유지되었다. 실험사료는 1일 2회(08:30 h, 18:00 h)로 각 실험 별 실험사료 공급량에 준하여 공급하였다.

어체측정

어체 측정은 매 2주마다 실시하였으며, 성장률을 측정하기 위하여 24시간 절식시킨 후 수조 별 전체 어체중을 측정하였다. 어체중 측정 후 최종평균무게(Final body weight, FBW), 일간 성장률(Specific growth rate, SGR), 사료전환효율(Feed conversion ratio, FCR), 단백질이용효율(Protein efficiency ratio, PER), 사료섭취량(Feed intake, FI) 그리고 생존율(Survival)을 조사하였으며, 매 2 주 단위로 어체중 공급량을 조절하였다.

일반성분분석

실험사료의 일반성분 분석은 AOAC (1995) 방법에 따라 수분은 상압가열건조법(125°C, 3 h), 조회분은 직접회화법 (550°C, 6 h), 단백질은 자동조단백질분석기(Kejltec ststem 2300, Sweden)로 분석하였으며, 지방은 Folch et al. (1957)의 방법에 따라 분석되었다.

통계처리

실험사료의 배치는 완전확률계획법(Completely randomized design)을 실시하였고, 성장결과는 SPSS (Version 12.0) 프로그램을 이용하여 One-way ANOVA로 통계 분석되었다. 데이터 값의 유의차는 Tukey'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

저수온기(Exp-I)에서의 성장결과는 Table 1에 나타내었다. FBW, WG 그리고 SGR은 0.6%와 0.8% 실험구가 0.1%와 0.2% 실험구에 비해 유의적으로 높았다. FCR과 PER은 0.2% 실험구가 0.8% 실험구에 비해 유의적으로 높은 효율을 보였으며 공급량이 증가할수록 낮은 효율을 나타내었다. 이러한 결과는 사료공급률이 높아질수록 에너지 과잉 공급으로 인한 단백질 효율이 떨어지며(Meyer-Burgdorff et al., 1989), 사료공급률이 낮을수록 어류가 영양분 흡수를 최적화하여 FCR 및 PER을 높이기 되는 매우 일반적인 '사료공급-성장패턴'인 것으로 잘 알려져 있다(Zoccarato et al., 1994; Van Ham et al., 2003). 가장 낮은 0.1% 사료공급량은 저수온기 조피볼락에 있어서 체중 유지도 하지 못하는 마이너스 성장이 유도될 수 있는 것으로 나타났다. 이와 비슷한 결과로, 저수온기에서 370 g 넙치를 대상으로 한 사료공급 실험에서는 사료를 공급하지 않은 절식구에서 넙치의 체중이 급격히 감소(-5.7%)되는 것이 보고되었다(Kim et al., 2014). 저수온기 치어기 넙치를 대상으로 한 이전의 실험에서도 절식구에서 어체중이 감소되는 마이너스 성장률(-1.2%)을 보였다(Kim et al., 2011). 이러한 결과는 사료 섭취량이 부족하여 그에 따른 사료 내 영양소가 실험어의 성장보다는 호흡, 이온 및 대사산물 운송 등의 기초대사 및 휴면활동(Resting activity)과 같은 유지(Maintenance)를 위한 에너지로 사용되었기 때문으로 판단된다(Kim et al., 2009). 사료에 함유된 각 영양소와 에너지는 어류의 성장, 번식 및 건강유지에 필수적인 것으로, 영양소 섭취의 부족에 따른 성장에너지의 부족 현상은 어류의 성장을 저하시키는 대표적인 요인이 될 뿐만 아

니라 질병을 유발시킬 수 있는 요인중의 하나이다(NRC, 2011). Weatherley and Gill (1987)에 의하면, 어류에 있어서 충분한 사료를 섭취하지 못하였을 경우 체내 조직의 축적-성장 에너지를 소모함으로써 기초대사를 유지하게 되고, 이러한 체조직 내의 저장에너지 이용은 곧 바로 성장감소로 이어질 뿐만 아니라, 어류의 체조성 및 생존율에도 큰 영향을 미칠 수 있다고 보고되었다. 본 연구 실험 1에서의 생존율은 모든 실험구에서 유의적인 차이가 없었다. 타 어종인 넙치(281 g)의 경우 저수온기(12°C)에서의 적정 사료공급률은 어체중의 0.32%로 보고되었다(Kim et al., 2009). 하지만 저수온에서 섭식활동이 더 좋은 조피볼락을 대상으로 한 본 연구 실험 1의 결과, 미성어기(약 250 g 내외)의 적정 사료공급률은 약 0.56%가 될 것으로 판단되었다(Fig 1).

적정 수온기에서 이루어진 실험 2의 결과는 Table 2에 나타내었다. FBW, WG, SGR은 0.8%, 1.2%, 1.6% 실험구가 0.4% 실험구에 비해 유의적으로 높았다. 그러나 0.8-2.0% 사료공급률에서는 유의적인 차이가 없었다. FCR은 1.2%, 1.6%, 2.0% 실험구가 0.4% 실험구에 비해 유의적으로 낮은 효율을 보였다. PER 역시 상대적으로 공급량이 많은 1.2%, 1.6%, 2.0% 실험구가 0.4%, 0.8% 실험구에 비해 유의적으로 낮았다. 고수온기에서 이루어진 실험 3의 경우(Table 3), FBW, WG, SGR은 0.8%, 1.2%, 1.6% 그리고 2.0% 실험구가 0.4% 실험구에 비해 유의적으로 높게 나타났다. FCR과 PER은 0.4%와 0.8% 실험구가 2.0% 실험구에 비해 유의적으로 높은 효율을 보였으며 0.4%, 0.8%, 1.2%, 1.6% 실험구간에는 유의적인 차이가 없었다.

Table 1. Growth performance, feed utilization and survival of Korean rockfish *Sebastes schlegeli* (Exp-I) fed a commercial diet with different feeding rates for 10 weeks at the low water temperature (11.6-15.2°C)

	Feeding rates (basis on fish weight)				
	0.1%	0.2%	0.4%	0.6%	0.8%
IBW (g) ¹	248±2	245±3	249±2	248±4	248±0
FBW (g) ²	244±3 ^a	268±2 ^{ab}	287±9 ^{bc}	300±6 ^c	300±20 ^c
WG (%) ³	-1.6±1.4 ^a	9.2±0.5 ^{ab}	15.1±2.9 ^{bc}	21.3±4.3 ^c	21.0±7.8 ^c
SGR (%) ⁴	-0.02±0.02 ^a	0.12±0.01 ^b	0.20±0.04 ^{bc}	0.27±0.05 ^c	0.27±0.09 ^c
FCR ⁵	-6.21±0.01 ^a	1.17±0.06 ^c	1.69±0.20 ^{bc}	1.81±0.23 ^{bc}	2.50±0.61 ^b
PER ⁶	-0.52±0.43 ^a	1.77±0.09 ^c	1.24±0.15 ^{bc}	1.16±0.15 ^{bc}	0.87±0.23 ^d
FI (g/fish) ⁷	16.4±0.1 ^a	26.6±0.4 ^a	63.0±4.8 ^b	94.7±12.5 ^c	123±12.9 ^d
Survival (%)	93.3±3.3	92.2±5.1	93.3±6.7	95.5±5.1	93.3±5.8

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

¹IBW (g) = Initial body weight

²FBW (g) = Final body weight

³Weight gain (%) = (final body weight - initial body weight) / initial body weight × 100

⁴Specific growth rate (%) = $100 \times [\ln(\text{final body weight}) - \ln(\text{initial body weight})] / \text{days}$

⁵Feed conversion ratio = dry feed fed / wet weight gain

⁶Protein efficiency ratio = wet weight gain / total protein given

⁷Feed intake (g/fish) = dry feed consumed (g) / fish

Table 2. Growth performance, feed utilization and survival of Korean rockfish *Sebastes schlegeli* (Exp-II) fed a commercial diet with different feeding rates for 10 weeks at the optimum water temperature (16.0 - 18.8 °C)

	Feeding rates (basis on fish weight)				
	0.4%	0.8%	1.2%	1.6%	2.0%
IBW (g) ¹	130±1	130±1	130±2	129±0	130±1
FBW (g) ²	153±0 ^a	164±4 ^b	165±0 ^b	164±3 ^b	161±2 ^{ab}
WG (%) ³	17.8±0.2 ^a	25.8±2.9 ^b	27.6±0.2 ^b	26.7±2.6 ^b	23.7±1.6 ^{ab}
SGR (%) ⁴	0.36±0.00 ^a	0.50±0.05 ^b	0.53±0.00 ^b	0.51±0.05 ^b	0.46±0.03 ^{ab}
FCR ⁵	0.74±0.01 ^a	1.04±0.10 ^{ab}	1.43±0.03 ^b	1.87±0.15 ^c	2.52±0.13 ^d
PER ⁶	2.73±0.02 ^d	1.96±0.18 ^c	1.41±0.03 ^b	1.09±0.09 ^{ab}	0.80±0.04 ^a
FI (g/fish) ⁷	17.1±0.3 ^a	34.6±0.7 ^b	51.2±0.6 ^c	64.1±1.0 ^d	77.3±1.5 ^e
Survival	98.5±2.1	98.5±2.1	100±0.0	98.5±2.1	100±0.0

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

¹IBW (g) = Initial body weight

²FBW (g) = Final body weight

³Weight gain (%) = (final body weight - initial body weight) / initial body weight × 100

⁴Specific growth rate (%) = $100 \times [\ln(\text{final body weight}) - \ln(\text{initial body weight})] / \text{days}$

⁵Feed conversion ratio = dry feed fed / wet weight gain

⁶Protein efficiency ratio = wet weight gain / total protein given

⁷Feed intake (g/fish) = dry feed consumed (g) / fish

Table 3. Growth performance, feed utilization and survival of Korean rockfish *Sebastes schlegeli* (Exp-III) fed a commercial diet with different feeding rates for 12 weeks at the high water temperature (21.0-27.5 °C)

	Feeding rates (basis on fish weight)				
	0.4%	0.8%	1.2%	1.6%	2.0%
IBW (g) ¹	85.9±0.5	85.7±0.9	86.1±0.3	85.6±0.3	85.4±0.2
FBW (g) ²	95.5±1.9 ^a	112±2.6 ^b	112±1.5 ^b	116±4.3 ^b	113±3.8 ^b
WG (%) ³	14.7±2.7 ^a	31.2±4.3 ^b	30.6±2.0 ^b	35.1±4.4 ^b	32.6±4.3 ^b
SGR (%) ⁴	0.18±0.03 ^a	0.35±0.04 ^b	0.34±0.02 ^b	0.39±0.04 ^b	0.36±0.04 ^b
FCR ⁵	1.27±0.22 ^a	0.21±0.18 ^a	1.63±0.07 ^{ab}	1.66±0.21 ^{ab}	2.22±0.12 ^b
PER ⁶	1.68±0.32 ^a	1.75±0.28 ^a	1.29±0.06 ^{ab}	1.27±0.15 ^{ab}	0.95±0.05 ^b
FI (g/fish) ⁷	15.8±0.6 ^a	32.0±2.9 ^b	43.0±1.4 ^{bc}	49.5±0.7 ^c	61.8±9.3 ^d
Survival (%)	93.8±0.0	90.6±3.1	89.6±1.8	83.3±1.8	76.0±17.2

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

¹IBW (g) = Initial body weight

²FBW (g) = Final body weight

³Weight gain (%) = (final body weight - initial body weight) / initial body weight × 100

⁴Specific growth rate (%) = $100 \times [\ln(\text{final body weight}) - \ln(\text{initial body weight})] / \text{days}$

⁵Feed conversion ratio = dry feed fed / wet weight gain

⁶Protein efficiency ratio = wet weight gain / total protein given

⁷Feed intake (g/fish) = dry feed consumed (g) / fish

실험 2와 실험 3에서도 FCR과 PER이 대체로 사료 공급율이 증가할수록 감소하는 경향을 보임으로써 실험 1과 거의 유사한 경향을 보였다. 이러한 결과는 이전에 이루어진 조피볼락 치어에서의 배합사료 적정 공급률에 대한 연구결과와 매우 유사한

결과이며(Lee et al., 2013a), 타 어종의 연구결과에서도 이와 거의 유사한 경향이 보고되었다(Clark et al., 1990; Hung et al., 1993; Mihelakakis et al., 2002).

본 실험은 사료공급률이 증가할수록 어류의 성장률 또한 증

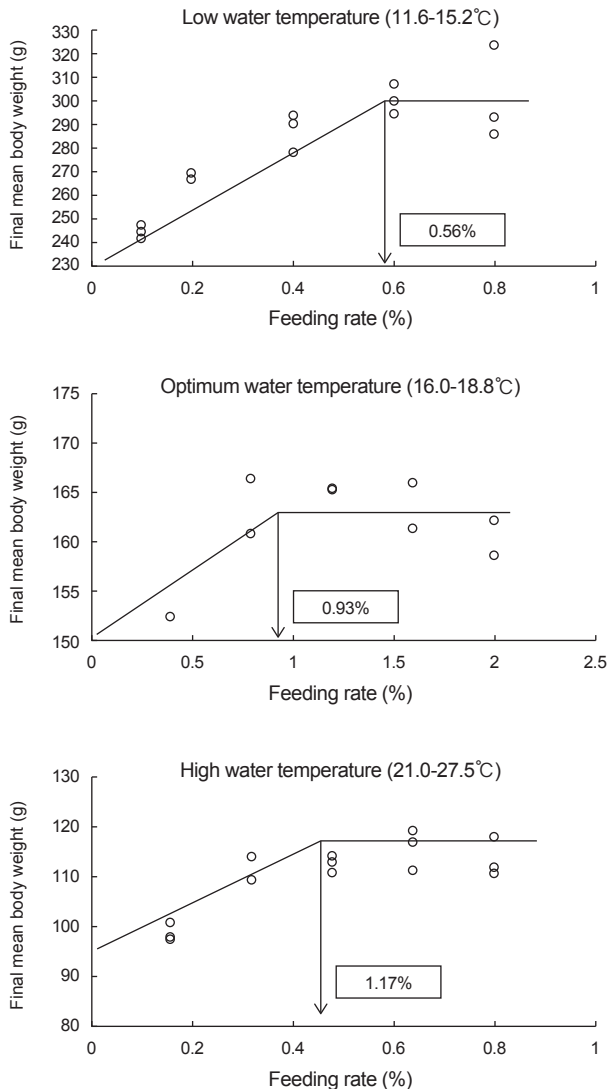


Fig. 1. Broken line analysis of weight gain (WG, %) for optimum feeding rate in Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed a commercial diet with 5 different feeding rates at three different water temperature.

가하며, 일정량 이상의 사료를 공급하였을 때 성장률이 더 이상 차이가 나지 않는다는 점에서 미성어기 넙치를 이용한 실험과 유사한 결과를 보였다(Kim et al., 2014a; Kim et al., 2014b). 이러한 결과는 사료효율에도 영향을 미쳤을 것으로 판단되며, 실제로도 사료공급률이 증가할수록 사료효율이 감소하는 경향을 보였다. 각 실험에서의 성장결과를 바탕으로 한 Broken line analysis 결과는 Fig. 1에 나타내었다. 분석결과, 저수온기에서의 조피볼락(248-300 g) 배합사료 적정공급량은 어체중의 약 0.56%가 되는 것으로 나타났으며, 적수온기에서의 조피볼락(130-165 g) 배합사료 적정공급량은 어체중의 약 0.93% 그리고 고수온기에서의 조피볼락(85-116 g) 배합사료 적정공급량

은 어체중의 약 1.17%가 되는 것으로 나타났다. 본 연구의 결과는 치어기(16 g) 조피볼락을 대상으로 저수온, 적수온 및 고수온기에서 실험한 결과인 어체중의 3.41%, 3.75% 및 3.34%의 적정공급률 결과와는 차이를 보인다(Mizanur and Bai, 2014). 이러한 결과의 차이는 어류의 성장단계에 따른 차이로 해석할 수 있다. 사료공급률은 어류의 크기와 사육 환경에 따라 영향을 받게 되는데 사육수온은 사료섭취량 및 대사 활성에 직접적인 영향을 미쳐 어류의 성장과는 밀접한 관계가 있다고 이미 알려져 있다(Kim et al., 2014a). 조피볼락의 경우, 수온이 높아지게 되면 사료섭취량이 줄어들게 되어 성장율이 떨어지는 현상(Choi et al., 2011)이 종종 나타나는데, 본 연구에서는 고수온기에서도 적정수온에서의 성장 결과와 유사하게 나타났다(적정공급률 기준, 0.93 vs 1.17%). 이러한 결과는 본 연구에서 사용된 실험어의 크기 차이에서 유래된 결과로 분석된다. 가장 이상적인 결과는 사육수온(저수온, 적수온, 고수온) 별로 동일한 크기의 어류를 사용하여 비교 실험하는 것이지만, 이는 현실적으로 매우 힘든 상황이다. 가능하다면 동일한 크기의 조피볼락을 사용하여 수온변화에 따른 적정사료공급률 결과가 조만간 나올 수 있기를 기대한다.

본 연구에서는 세가지 수온별로 조금씩 다른 크기의 조피볼락을 사용하여 실험한 결과를 제시하였지만 향후 조피볼락 양식 생산을 위한 사육기술개발에 유용하게 이용될 것이며, 조피볼락 배합사료 공급체계 확립에 매우 중요한 기초자료가 될 것으로 사료된다.

사 사

이 논문은 2015학년도 제주대학교 학술진흥연구비 지원사업에 의하여 연구되었음.

References

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1995. Official Methods of Analysis of the Association of official Analytical Chemists, 16th Edition. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, U.S.A.
- Azzaydi M, Martines FJ, Zamora S, Sanchez-Valquez 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.
- Biswas G, Jena JK, Singh SK, Patmajhi P and Muduli HK. 2006. Effect of feeding frequency on growth, survival and feed utilization in mrigal, *Cirrhinus mrigala*, and rohu, *Labeo rohita*, during nursery rearing. Aquaculture 254, 211-218.
- Brett JR. 1979. Environmental factors and growth. In: WS Joar, DJ Randall and JR Brett (Eds), Fish Physiology, Vol. VIII. Bioenergetics and growth. Academic Press, New York, U.S.A., 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. *Aquaculture* 251, 78-84.
- 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, Hub MD, Lee MK, Choi HJ and Park MA. 2001. Histopathological observation of liver in cultured black rockfish *Sebastes schlegeli*. *J Fish Pathol* 24, 225-236.
- Clark JH, Watanabe WO and Eranst DH. 1990. Effect of feeding rate on growth and feed conversion of Florida red tilapia reared in floating marine cages. *J World Aquacult Soc* 21, 16-24.
- Fauconneau B, Choubert G, Blanc D, Breque J and Luquet P. 1983. Influence of environmental temperature on flow rate of foodstuffs thorough the gastrointestinal tract of rainbow trout. *J Aquaculture* 34, 27-39.
- Folch J, Lee M and Sloane-Stanley GH. 1959. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem* 226, 497-509.
- Hidalgo F, Alliot E and Thebault H, 1987. Influence of water temperature on food intake, food efficiency and gross composition of juvenile sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture* 64, 329-338.
- Hung SSO, Conte FS and Hallen EF. 1993. Effects of feeding rates on growth, body composition and nutriment metabolism in striped bass(*Morone saxatilis*) fingerlings. *J Aquacult* 112, 349-361.
- Kim KD, Kim KW, Bae KM, Son MH and An CM. 2012. Effects of different numbers of feeding days and feeding rate on growth of growing-out flounder *Paralichthys olivaceus*. *Korean J Fish Aquat Sci* 44, 523-526. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2012.0523>.
- 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. *Korean J Fish Aquat Sci* 42, 262-267. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2009.0262>.
- Kim KD, Nam MM, Kim KW, Kim DG and Son MH. 2010. Effects of feeding rate and frequency on the winter growth and body composition of olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Korean J Fish Aquat Sci* 43, 217-222. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2010.0217>.
- 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 temperatures. *Korean J Fish Aquat Sci* 44, 345-351. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2011.0345>.
- Kim SS, Kim KW, Kim KD, Lee BJ, Han HS and Lee KJ. 2014a. Optimum feeding rate for sub-adult olive flounder (370 g) *Paralichthys olivaceus* fed practical extruded pellets at low water temperature (12-14°C). *Korean J Fish Aquat Sci* 47, 1063-1068. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.1063>.
- Kim SS, Kim KW, Kim KD, Lee BJ, Han HS, Kim JW, Bai SC and Lee KJ. 2014b. Optimum feeding rate for sub-adult olive flounder (384 g) *Paralichthys olivaceus* fed practical extruded pellets at optimum water temperatures (20-24.5°C). *Korean J Fish Aquat Sci* 47, 582-587. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0582>.
- Lee JH, Kim KW, Lee BJ, Park GH, Lee JH, Yun HH and Bai SC. 2013a. Optimum feeding rate and frequency in juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed a commercial diet. *Korean J Aquat Sci* 46, 753-760. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0753>.
- Lee JH, Lee BJ, Kim KW, HAN HS, Park GH, Lee JH, Yun HH and Bai SC. 2013b. Optimum feeding frequency for juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed a commercial diet at two different water temperatures. *Korean J Aquat Sci* 46, 761-768. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0761>.
- Meyer-Burgdorff KH, Osman MF and 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.
- Mizanur RM and Bai SC. 2014. A review of optimum feeding rates and feeding frequency in Korean rockfish *Sebastes schlegeli* reared at seven different water temperatures. *Fish Aquat Sci* 17, 229-247. <http://dx.doi.org/10.5657/FAS.2014.0229>.
- 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 Aquacult* 10, 311-320.
- NRC (National Research Council). 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. The National Academy Press, Washington DC, U.S.A.
- Oh DH, Song JW, Kim MG, Lee BJ, Kim KW, Han HS and Lee KJ. 2013. Effect of food particle size, stocking density and feeding frequency on the growth performance of juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegelii*. *Korean J Fish Aquat Sci* 46, 407-412. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0407>.
- Statistics Korea. 2013. Statistic database for aquaculture production. Retrieved from <http://kostat.go.kr> on March 21.
- Tsevis N, Klaoudatos S and Conides A. 1992. Food conversion budget in sea bass *Dicentrarchus labrax*, fingerlings under two different feeding frequency patterns. *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 (*Scoph-*

thalmus maximus). Aquaculture 217, 547-558.

Weatherley AH. and Gill HS. 1987. The biology of fish growth.

4. Protein, lipid and caloric contents. Academic press, London, U.K., 139-146.

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.