

# 사료의 지질함량과 공급횟수가 비단잉어(*Cyprinus carpio* var. *koi*) 치어의 성장 및 체조성에 미치는 영향

김이오 · 이상민<sup>1\*</sup>

충청북도내수면산업연구소, <sup>1</sup>강릉원주대학교 해양생물공학과

## Influence of Dietary Lipid Level and Feeding Frequency on the Growth and Body Composition of Juvenile Fancy Carp *Cyprinus carpio* var. *koi*

Yi-Oh Kim and Sang-Min Lee<sup>1\*</sup>

Chungcheongbuk-do Inland Fisheries Research Institute, Chungju 27432, Korea

<sup>1</sup>Department of Marine Biotechnology, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea

We investigated the effects of different dietary lipid levels (7% or 14%) and feeding frequency (1-4 meals per day) on the growth performance and body composition of juvenile fancy carp *Cyprinus carpio* var. *koi*. Three replicate groups of fish (initial mean weight, 11.7 g) were fed to visual satiety with sinking dry pellet diets for 8 weeks. Neither feeding frequency nor lipid level affected fish survival. Weight gain was affected by feeding frequency but not dietary lipid level. Weight gain significantly increased with increased feeding frequency. Feed efficiency and protein efficiency ratio were affected by feeding frequency, but not dietary lipid level. Daily feed intake was affected by feeding frequency and dietary lipid level. Whole body moisture, crude lipid and ash contents were affected by feeding frequency, but not dietary lipid level. Based on these results, we conclude that the appropriate feeding frequency for the optimum growth of fancy carp fingerlings is four meals per day using sinking dry pellet.

Key words: *Cyprinus carpio* var. *koi*, Fancy carp, Feeding frequency, Dietary lipid level

### 서론

전세계 관상어류 중 비단잉어(*Cyprinus carpio*)의 전체 시장 규모는 약 3조원 정도로 추정된다. 비단잉어 총 생산량의 94%가 일본에서 생산되고 있으며, 이스라엘과 대만 등에서 소량 생산되고 있다(Kim, 2004). 국내의 비단잉어는 충북, 경기, 전남 그리고 경남 등 전국적으로 생산되어 유통되고 있으며, 규모가 큰 곳은 충북 진천의 진천관상어조합으로 1991년부터 영어조합법인이 설립되어 미국과 유럽으로 수출되고 있다. 하지만 비단잉어의 품종 다양성 및 생산량 부족으로 해외 바이어의 주문 조건을 충족시키지 못해 수출량 감소 및 국내 경기 침체로 어려움을 겪고 있는 실정이다(Kim, 2004).

비단잉어는 우리나라를 비롯한 일본, 미국, 유럽 등과 같은 선진국에서 인기가 매우 높은 품종이어서 양식 기술 및 성장에 관한 지속적인 연구를 통해 생산성 향상이 뒷받침 된다면, 부가가치가 매우 높은 양식 어종대상으로 각광을 받을 수 있을 것으로

전망된다(Hancz et al., 2003). 일반적으로 비단잉어와 같은 관상어는 양식생산에 있어서 성장속도가 중요하게 고려되지 않고 있으며, 오히려 성장이 느린 것이 좋다고 알려져 있는데, 이는 수족관에서 취미생활로 관상어류를 사육할 경우에 해당된다. 관상어 양식현장에서는 어류를 판매할 수 있는 크기까지 건강하게 빨리 키울 수 있는 사육 환경 조성 및 사료 공급 체계가 중요하며, 이에 대한 연구가 필요하다(Kim and Lee, 2010).

어류의 사료 섭취는 사육환경, 사료조성, 사료형태 및 사료공급체계 등에 영향을 받기 때문에(Lee et al., 2000a; Lee et al., 2000b), 이러한 요인들을 고려한 사육환경과 사료품질 향상 연구 및 공급체계를 규명하는 것은 어류의 성장 및 사료효율을 개선시킬 수 있을 뿐 아니라(Lee et al., 2000b; Ng et al., 2000), 양식생산량 향상과 수질오염 감소에도 도움이 된다. 그 동안 비단잉어용 양식사료 개발을 위한 영양요구와 사료공급체계에 관한 연구는 제한적으로 수행되어 왔다. Kim and Lee (2010)가 시판되는 담수어 부상사료를 이용한 사료공급에 대한 실험을

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0745>



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 50(6) 745-749, December 2017

Received 6 November 2017; Revised 27 November 2017; Accepted 29 November 2017

\*Corresponding author: Tel: +82. 33. 640. 2414 Fax: +82. 33. 640. 2955

E-mail address: smlee@gwnu.ac.kr

수행하였으나 증체율이 예상보다 매우 낮게 나타났다. 이는 공급된 사료 형태 등이 비단잉어에 적합하지 못한 것 등에 원인이 있었던 것으로 판단되며, 사료형태에 따른 사료공급기술에 대한 체계적인 연구가 꾸준히 수행되어야 할 것이다. 비단잉어는 잡식성으로 바닥에 떨어진 사료도 잘 먹는 습성이 있기 때문에 부상사료보다는 침강사료가 생태적으로 더 적합할 수 있으므로 침강되는 펠릿사료의 공급체계에 대한 연구가 필요하다.

사료의 지질은 단백질이나 탄수화물보다 에너지가 높아 값 비싼 사료 단백질을 절약할 수 있으며, 필수지방산과 지용성 비타민의 공급원으로 양식 대상종의 성장과 체내대사에 필수적인 역할을 하는 중요한 영양소이다(NRC, 1993). 일반적으로 사료의 지질 함량에 따라 사료의 에너지 함량이 달라지고, 이러한 사료의 에너지 함량은 먹이 섭취량에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Kim and Lee, 2005). 사료의 지질함량과 사료공급량의 상호작용에 대한 효과를 조사하여 사료품질 개선 및 사료 공급체계에 도움을 줄 수 있는 정보가 필요하다. 따라서 본 연구는 비단잉어 치어를 대상으로 침강 펠릿사료의 지질함량에 따른 적정 공급횟수를 조사하기 위하여 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 실험어 및 사육관리

실험어로 충청북도내수면산업연구소에서 종묘 생산되어 사육되고 있는 비단잉어(Fancy Carp *Cyprinus carpio* var. koi)를 사용하였으며, 상품사료를 공급하면서 예비사육 하였다. 외형적으로 건강한 평균체중 11.7 g의 비단잉어 치어를 선별하여 20 L 사각 수조에 각각 20마리씩 3반복으로 수용하여 8주간 사육하였다. 반순환식으로 여과된 물을 수조마다 2 L/min씩 흘려주었으며, 수중펌프를 사용하여 여과시스템내의 물을 순환시켜 주었다. 실험수조를 청소하면서 전체 사육수의 20%를 매일 환수하였으며, 사육수온을 24℃로 유지하였다. 각 수조마다 약하게 폭기시켜 산소를 공급하였다.

Table 1에 표시한 바와 같이 단백질 함량이 40%, 지질함량이 7%와 14% 전후가 되도록 실험사료를 설계하였다. 실험사료는 원료들을 잘 혼합한 후 원료 혼합물 100 g 당 물 30 g을 가하고 moist pellet 제조기로 압출 성형하여 실온에서 24시간동안 건조하였다. 건조된 사료는 실험어의 입의 크기에 맞게 망 크기가 다른 채로 선별한 후, 냉장 보관하면서 실험어에게 공급하였다. 사료공급횟수는 1일 4회(09:00, 11:30, 15:00, 17:00), 1일 3회(09:00, 13:00, 17:00), 1일 2회(09:00, 17:00) 및 1일 1회(09:00) 반복으로 공급하였다.

### 어체측정 및 성분분석

어체 측정은 사육실험 시작시와 종료시에 측정 전일 절식시킨 후 tricaine methanesulfonate (MS 222, Sigma, St. Louis, MO, USA) 100 ppm 수용액에 마취시켜 실험어의 무게를 측

정하였다. 무게 측정 후 어체의 성분분석을 위하여 각 실험수조에서 10마리씩 시료로 취하여 냉동보관(-75℃)하였다. 실험사료 및 어체의 일반성분은 표준방법(AOAC, 1995)에 따라 분석하였는데, 조단백질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchii B-324/435/412, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지질은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105℃ dry oven에서 6시간 동안 건조 후 측정하였고, 회분은 600℃에서 4시간 동안 태운 후 정량 하였다.

### 통계처리

결과의 통계처리는 SPSS Version 19 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) program을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실시한 후, Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 처리 평균간의 유의성을 검정하였다.

## 결과 및 고찰

평균체중 11.7 g의 비단잉어 8주간 사육실험한 후의 증체율, 사료효율, 사료섭취율 및 단백질효율을 Table 2와 Table 3에 나

Table 1. Ingredient and proximate composition of experimental diets

Ingredients (%)	Dietary lipid level (%)	
	7	14
Anchovy meal	56.0	56.0
Wheat flour	28.0	20.0
α-potato starch	9.0	9.0
Fish oil	1.4	9.4
α-cellulose	4.6	4.6
Vitamin premix <sup>1</sup>	0.4	0.4
Mineral premix <sup>2</sup>	0.4	0.4
Choline salt (50%)	0.2	0.2
Nutrient content (% , dry matter basis)		
Crude protein	40.6	40.4
Crude lipid	6.9	13.8
Ash	9.0	8.9

<sup>1</sup>Vitamin premix contained the following amount which were diluted in cellulose (g/kg mix): DL-α-tocopheryl acetate, 18.8; thiamin hydrochloride, 2.7; riboflavin, 9.1; pyridoxine hydrochloride, 1.8; niacin, 36.4; Ca-D-pantothenate, 12.7; myo-inositol, 181.8; D-biotin, 0.27; folic acid (98%), 0.68; p-aminobenzoic acid, 18.2; menadione, 1.8; retinyl acetate, 0.73; cholecalciferol, 0.003; cyanocobalamin, 0.003. <sup>2</sup>Mineral premix contained the following ingredients (g/kg mix): MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 80.0; NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, 370.0; KCl, 130.0; Ferric citrate, 40.0; ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 20.0; Ca-lactate, 356.5; CuCl, 0.2; AlCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O, 0.15; KI, 0.15; Na<sub>2</sub>Se<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0.01; MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O, 2.0; CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, 1.0.

타내었다. 사육실험 기간 동안의 모든 실험구의 생존율은 98% 이상으로 실험구간에 유의차가 없었다. 증중율, 일간성장률, 사료효율, 일간사료섭취율 및 단백질효율은 사료공급 횟수에 모두 영향을 받았으며(P<0.001), 증중율, 일간성장률 및 일간사료섭취율은 사료공급횟수가 증가함에 따라 유의하게 증가하는 경향을 보였다(P<0.05). 사료효율 및 단백질효율은 1일 2회 실험구가 유의하게 높은 결과를 나타내었다(P<0.05).

경제적이고 친환경적인 비단잉어 양식을 위해서는 적정 사료공급 횟수를 조사하는 것이 매우 중요하다. 양식경영비의 높은

비중을 차지하는 사료를 적절히 공급하는 것은 어류의 성장 및 사료이용성 증가로 경제적 측면에서 큰 이득이 될 뿐만 아니라, 사료 유래의 수질 오염원을 감소시킬 수 있어 환경적 측면에서도 이득이 된다(Kim and Lee, 2010). 본 실험에서 사료공급 횟수가 증가함에 따라 성장이 높아지는 것으로 보아, 비단잉어 치어를 양성할 때 성장속도를 높이기 위해서는 하루에 4회까지 배합사료를 공급하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 반면에 사료효율의 결과를 감안하면, 수질오염이나 경제성을 고려한 측면에서는 하루 2회 사료를 공급하는 것도 의미가 있다고 판단되

Table 2. Growth performance of juvenile fancy carp *Cyprinus carpio* fed the diets containing different lipid level with different feeding frequency for 8 weeks<sup>1</sup>

Lipid level (% in diet)	Daily feeding frequency	Survival (%)	Initial mean weight (g)	Final mean weight (g)	Weight gain (%) <sup>2</sup>	SGR (%) <sup>3</sup>
7	One meal	98±1.6 <sup>ns</sup>	11.7±0.08 <sup>ns</sup>	32.9±0.35 <sup>a</sup>	180±4.2 <sup>a</sup>	1.4±0.02 <sup>a</sup>
14		98±1.6	11.7±0.13	32.2±0.88 <sup>a</sup>	174±7.2 <sup>a</sup>	1.4±0.03 <sup>a</sup>
7	Two meals	98±1.6	11.5±0.01	41.9±1.23 <sup>b</sup>	264±10.2 <sup>ab</sup>	1.8±0.03 <sup>b</sup>
14		98±1.6	11.6±0.01	42.1±0.92 <sup>b</sup>	263±7.4 <sup>b</sup>	1.8±0.02 <sup>b</sup>
7	Three meals	100±0.0	11.8±0.12	45.3±0.82 <sup>c</sup>	283±9.8 <sup>b</sup>	1.9±0.03 <sup>b</sup>
14		98±1.6	11.8±0.18	49.9±2.10 <sup>d</sup>	321±23.6 <sup>c</sup>	2.0±0.08 <sup>c</sup>
7	Four meals	98±1.6	11.8±0.01	59.3±0.44 <sup>f</sup>	403±3.8 <sup>d</sup>	2.3±0.01 <sup>d</sup>
14		100±0.0	11.6±0.18	55.7±0.46 <sup>e</sup>	378±4.2 <sup>d</sup>	2.2±0.01 <sup>d</sup>
Two-way ANOVA						
Lipid level		P<1.0	P<0.9	P<0.8	P<0.8	P<0.8
Feeding frequency		P<0.8	P<0.1	P<0.001	P<0.001	P<0.001
Interaction		P<0.7	P<0.7	P<0.01	P<0.06	P<0.09

<sup>1</sup>Values (mean±SE of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05). <sup>2</sup>(Final fish wt.-initial fish wt.)×100/initial fish wt. <sup>3</sup>Specific growth rate=[ln (final fish weight)–ln (initial fish weight)]×100/days reared.

Table 3. Feed utilization of juvenile fancy carp *Cyprinus carpio* fed the diets containing different lipid level with different feeding frequency for 8 weeks<sup>1</sup>

Lipid level (% in diet)	Daily feeding frequency	Feed efficiency (%) <sup>2</sup>	Daily feed intake (%) <sup>3</sup>	Protein efficiency ratio <sup>4</sup>
7	One meal	68±4.3 <sup>a</sup>	2.0±0.11 <sup>b</sup>	1.5±0.09 <sup>a</sup>
14		77±3.2 <sup>bc</sup>	1.7±0.03 <sup>a</sup>	1.7±0.07 <sup>bc</sup>
7	Two meals	78±3.1 <sup>bc</sup>	2.1±0.04 <sup>b</sup>	1.7±0.07 <sup>bc</sup>
14		80±2.5 <sup>c</sup>	2.0±0.03 <sup>b</sup>	1.7±0.05 <sup>c</sup>
7	Three meals	63±0.9 <sup>a</sup>	2.7±0.01 <sup>d</sup>	1.4±0.02 <sup>a</sup>
14		71±3.0 <sup>ab</sup>	2.5±0.04 <sup>c</sup>	1.5±0.06 <sup>ab</sup>
7	Four meals	67±0.6 <sup>a</sup>	2.8±0.01 <sup>e</sup>	1.5±0.01 <sup>a</sup>
14		62±0.5 <sup>a</sup>	3.0±0.02 <sup>e</sup>	1.3±0.01 <sup>a</sup>
Two-way ANOVA				
Lipid level		P<0.06	P<0.02	P<0.1
Feeding frequency		P<0.001	P<0.001	P<0.001
Interaction		P<0.05	P<0.004	P<0.05

<sup>1</sup>Values (mean±SE of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05). <sup>2</sup>Wet weight gain×100/feed intake. <sup>3</sup>Feed intake×100/[(initial fish wt+final fish wt+dead fish wt)×days reared/2]. <sup>4</sup>Wet weight gain/protein intake.

Table 4. Proximate composition (%) of the whole body in juvenile fancy carp *Cyprinus carpio* fed the diets containing different lipid level with different feeding frequency for 8 weeks<sup>1</sup>

Lipid level (% in diet)	Daily feeding frequency	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash
7	One meal	75.2±0.57 <sup>c</sup>	15.5±0.24 <sup>abc</sup>	7.0±0.31 <sup>a</sup>	2.0±0.22 <sup>ns</sup>
14		74.9±0.32 <sup>c</sup>	16.0±0.36 <sup>bc</sup>	8.4±0.54 <sup>bc</sup>	2.1±0.06
7	Two meal	74.8±0.27 <sup>bc</sup>	14.8±0.07 <sup>a</sup>	8.5±0.12 <sup>bc</sup>	2.2±0.09
14		75.2±0.21 <sup>c</sup>	14.9±0.23 <sup>ab</sup>	8.2±0.38 <sup>ab</sup>	2.1±0.03
7	Three meal	71.7±0.62 <sup>a</sup>	16.2±0.50 <sup>c</sup>	9.6±0.32 <sup>cd</sup>	1.9±0.09
14		73.6±1.16 <sup>abc</sup>	14.7±0.15 <sup>a</sup>	8.3±0.74 <sup>bc</sup>	1.9±0.13
7	Four meal	72.9±0.64 <sup>ab</sup>	15.7±0.61 <sup>abc</sup>	10.1±0.09 <sup>d</sup>	1.8±0.07
14		72.7±0.74 <sup>a</sup>	14.7±0.45 <sup>a</sup>	9.9±0.17 <sup>d</sup>	1.4±0.38
Two-way ANOVA					
Feeding frequency		P<0.001	P<0.1	P<0.001	P<0.03
Lipid level		P<0.3	P<0.1	P<0.7	P<0.4
Interaction		P<0.03	P<0.06	P<0.03	P<0.3

<sup>1</sup>Values (mean±SE of replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

므로 사육 목적에 따라 사료 공급횟수를 적절히 조정할 수 있을 것으로 보인다. 또한 사료의 물성에 있어 이전 시판 부상사료를 공급했을 때에는 증중률이 낮았으나(Kim and Lee, 2010), 침강사료 형태의 본 실험결과에서는 증중률이 174-403%로 상대적으로 높은 값을 나타내어 부상사료보다 침강사료 형태의 사료가 비단잉어치어 사육에는 더 효율적이라는 것을 알 수 있다.

어류의 최대성장을 위한 적정 사료 공급 횟수는 어종, 어체크기, 사료조성 및 사료 공급율 등에 따라 다르다고 보고되어 있다(Wang et al., 1998; Company et al., 1999). 여러 연구자들은 사료의 공급횟수가 증가함에 따라 성장과 사료 공급량이 증대된다고 보고하고 있다(Kayano et al., 1993; Dwyer et al., 2002). 본 연구결과에서도 공급횟수가 증가할수록 좋은 성장결과를 나타내었다. 타 어종의 적정 사료 공급 횟수를 조사한 연구들에서, 1년생 무지개송어(400-700 g)의 성장은 1일 4회 공급구까지 증가하였으며(Ruohonen et al., 1998), 틸라피아(183 g)는 1일 3회(Riche et al., 2004), 산천어는 1일 2회(Seong and Kim, 2008), 조피볼락(6 g)은 1일 1회(Lee et al., 2000b)가 적합하다고 보고되었다.

어류의 성장이나 사료효율은 사료의 지질함량에 영향을 받는다고 알려져 있다(Lee et al., 2002; Kim and Lee, 2005). 본 연구에서는 사료지질함량이 성장에 영향을 미치지 않았으나, 사료효율은 1일 1회 공급구에서 지질 14% 실험구가 7% 실험구보다 유의하게 높은 결과를 나타내었는데, 이는 사료공급량이 낮을수록 에너지함량이 높은 사료가 사료이용성이 높기 때문으로 추정된다. 즉, 사료공급횟수 저하에 따라 섭취되는 에너지 함량이 부족해 지므로 에너지 함량이 높은 고지질 사료에서 사료효율이 더 높아진 것으로 판단된다.

전어체의 수분, 단백질, 지질 및 회분 함량을 Table 4에 나타내었다. 전어체의 수분, 지질, 회분함량은 사료공급 횟수에 영향을

받았으며, 수분과 회분은 사료공급 횟수가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었으며, 지질함량은 사료공급 횟수가 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 이처럼 사료공급량이 많아질수록 어체의 지질함량이 증가하는 것은 타 어종에서도 많이 보고되고 있는 일반적인 현상이며(Yao et al., 1994; Lee et al., 1996), 비단잉어를 대상으로 한 실험에서도 일치된 결과를 나타내었다(Kim and Lee, 2010).

이상의 결과들을 종합하면, 비단잉어 치어의 성장을 높이기 위한 사육에는 침강사료를 1일 4회까지 공급하는 것이 좋을 것으로 보이며, 사료효율을 최대화하기 위해서는 1일 2회 사료를 공급하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

## References

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1995. Official Methods of Analysis, 16th edition. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, U.S.A. [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(95\)90022-5](https://doi.org/10.1016/0924-2244(95)90022-5).
- Company R, Caldach-Giner JA, Kaushik S and Perez-Sanchez J. 1999. Growth performance and adiposity in gilthead sea bream (*Sparus aurata*): risks and benefits of high energy diets. *Aquaculture* 171, 279-292. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(98\)00495-5](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(98)00495-5).
- Duncan DB. 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics* 11, 1-42.
- Dwyer KS, 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. <https://doi.org/10.2307/3001478>.
- Hancz C, Magyary I, Molnar T, Sato S, Horn P and Taniguchi N. 2003. Evaluation of color intensity enhanced by paprika



- as feed additive in goldfish and koi carp using computer-assisted image analysis. *Fish Sci* 69, 1158-1161. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(02\)00224-7](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(02)00224-7).
- Kayano Y, Yao S, Yamamoto S and Nakagawa H. 1993. Effect of feeding frequency on the growth and body constituents of young red-spotted grouper, *Epinephelus akaara*. *Aquaculture* 110, 271-278. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(93\)90375-9](https://doi.org/10.1016/0044-8486(93)90375-9).
- Kim IO and Lee SM. 2005. Effects of the dietary protein and lipid levels on growth and body composition of bagrid catfish, *Pseudobagrus fulvidraco*. *Aquaculture* 243, 323-329. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.11.003>.
- Kim YO. 2004. Dietary Spirulina, chlorella and astaxanthin on the body color and growth of red and white colored carp, *Cyprinus carpio*. Ph. D. Thesis, Pukyong National University, Busan, Korea. <https://doi.org/10.5657/kfas.2008.41.3.193>.
- Kim YO and Lee SM. 2010. Effects of feeding frequency and satiation rate on the growth and body composition of Red- and White-colored carp, *Cyprinus carpio* var. koi. *Korean J Fish Aquat Sci* 43, 320-324. <https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.4.320>.
- Kim YO and Lee SM. 2012. Effects of dietary lipid and paprika levels on growth and skin pigmentation of Red- and White-colored carp, *Cyprinus carpio* var. koi. *Korean J Fish Aquat Sci* 45, 337-342. <https://doi.org/10.5657/kfas.2012.0337>.
- 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 Aquacult* 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. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2000.00505.x>.
- 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. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(00\)00318-5](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(00)00318-5).
- 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. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(01\)00880-8](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(01)00880-8).
- NRC (National Research Council), 1993. Nutrient requirements of fish. National Academy Press, Washington, D.C., U.S.A. <https://doi.org/10.17226/2115>.
- 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.
- Riche M, Haley DI, Oetker M, Garbrecht S and Garling DL. 2004. Effects of feeding frequency on gastric evacuation and the return of appetite in tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture* 234, 657-673. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.12.012>.
- Ruohonen KJ, Vielman 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 [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(98\)00235-x](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(98)00235-x).
- Seong KB and Kim DH. 2008. Effects of feeding frequency on the optimum growth of cherry salmon, *Oncorhynchus masou*. *J Kor Fish Soc* 41, 343-345. <https://doi.org/10.5657/kfas.2008.41.5.343>.
- Wang N, Hayward RS and Noltie DB. 1998. Effects of feeding frequency on food consumption, growth size variation and feeding pattern of age-0 hybrid sunfish. *Aquaculture* 165, 261-267. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(98\)00266-x](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(98)00266-x).
- Yao SJ, Umino T and Nakagawa H. 1994. Effects of feeding frequency on lipid accumulation in ayu. *Fish Sci* 60, 667-671. <https://doi.org/10.2331/fishsci.60.667>.