

# 반순환여과시스템내에서 사료 공급 횟수가 붕어(*Carassius auratus*) 치어의 성장, 사료 이용성 및 체조성에 미치는 영향

김 이 오<sup>†</sup><sup>†</sup>충청북도내수면산업연구소(연구사)

## Effects of Different Feeding Frequency on the Growth, Feed utilization and Body Composition of Juvenile Crucian Carp *Carassius auratus* in Semi-RAS(Recirculating Aquaculture System)

Yi-Oh KIM<sup>†</sup><sup>†</sup>Chungcheongbuk-do Inland Fisheries Research Institute(researcher)

### Abstract

A feeding trial was conducted to investigate the effect of feeding frequency on the growth performance and body composition of juvenile crucian carp, *Carassius auratus*. Duplicate groups of fish (initial fish weight, 4.7 g/fish) were fed to apparent satiation at one, two, three, or four meals per day for 10 weeks. The results of the present study showed that weight gain and specific growth rate of fish fed one meal per day were significantly lower than those of fish fed three and four meals per day, were not affected by two meals per day. Daily feed intake and daily protein intake were significantly increased following to an increasing of feeding frequency until three meal per day. Feed efficiency and protein efficiency ratio were not affected by feeding frequency. The crude lipid was significantly increased following to an increasing of feeding frequency. Consequently, we can conclude that the optimum feeding frequency of juvenile crucian carp appeared three meals per day

**Key words :** Crucian carp, *Carassius auratus*, Feeding frequency, Growth, Feed utilization

### I. 서론

붕어(Crucian carp, *Carassius auratus*)는 잉어목, 잉어과, 붕어속에 속하는 민물 경골어류이다. 우리나라는 물론 중국, 일본, 아프리카, 유라시아 등 전 세계지역에 분포하는 상업적으로 매우 중요한 어종이다(Nelson, 2006; Kim et al., 2020). 영양가가 높고 맛이 좋을 뿐 아니라 환경 적응력이 높은 내수면 양식품종이다(Schjoldon et al., 2007; Shi et al., 2022). 하지만 남획과 환경오염으로 자

원량이 급격하게 감소하고 있어 양식기술의 개발을 통한 생산량 증대가 필요한 어종이다. 향후 산업적으로 붕어 양식 생산량 및 생산성을 증대시키기 위해서는 사육 방법, 사료 품질 개선 및 사료 공급 체계 등에 대한 다양한 연구들이 필요하다. 어류의 성장은 생태계 내 다양한 물리·화학·생물학적 요인들의 영향을 받지만, 어류가 섭취하는 사료의 양과 섭취 사료의 체내 이용 효율이 가장 직접적인 영향을 미친다(Buurma and Diana, 1994; Oh and Park, 2016). 어류의 성장률

<sup>†</sup> Corresponding author : 043-220-6531, kimio@korea.kr

반순환여과시스템내에서 사료 공급 횟수가 붕어(*Carassius auratus*) 치어의 성장, 사료 이용성 및 체조성에 미치는 영향

과 생존율을 높이고, 개체간 크기 차이를 줄이며 허실되는 사료량과 노동 경비를 최소화 할 뿐만 아니라 최적의 사료효율을 유지할 수 있는 사료 공급 방법이 요구된다(Kubitz and Lovshin, 1999; Oh and Park, 2016). 특히, 사료 공급 횟수는 어류의 사료 이용성, 성장 및 대사물질 배출에 영향을 미치는 중요한 요인으로(Biswas et al., 2010), 부적절한 사료 공급 횟수는 어류의 성장 및 사료 효율을 감소시키고, 궁극적으로 어류의 양식 생산 비용을 증가시킨다(Lee et al., 2000b; Kim et al., 2020). 따라서 성공적인 어류양식을 위해서는 경제적인 최적 사료 공급 횟수에 대한 정보가 필수적이다(Silva et al., 2007; Oh and Maran 2014; Kim et al., 2020). 이처럼 사료 공급 횟수는 양식 어류의 최대 성장과 사료효율을 유도하여 양식 생산성을 향상시키는데 결정적인 역할을 하므로 최적의 사료 공급 횟수를 도출할 필요가 있다(Wang et al., 2007). 또한, 적정 사료 공급 횟수는 양식어류의 일간 사료 섭취량과 공급시기에 관한 정보를 제공함으로써 계획적인 사료공급 체계를 구축할 수 있다(Oh and Park, 2016).

따라서 붕어 양식 생산량을 증대시키기 위해서는 적정 사료 공급 횟수를 조사하여 양식 현장에 적용할 수 있도록 해야 한다. 본 연구는 붕어 치어 사육시 사료 공급 횟수가 성장, 사료 이용성 및 체조성에 미치는 영향을 조사하기 위해서 수행되었다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험어 및 사육관리

충청북도내수면산업연구소에서 자체 생산한 붕어 치어를 사용하였으며, 실험시작 2주전부터 실험사료를 하루 2회 공급하면서 예비 사육하였다. 예비 사육 후, 붕어 치어(4.7±0.12 g)를 무작위로 30마리씩 2반복으로 원형수조(200 L)에 수용하여 10주간 사육하였다.

붕어의 사육은 침전조(2,000 L) 1개와 실험수조(200 L) 8개가 1세트가 되도록 설계한 반순환 여과시스템에서 수온 24℃와 사각수조(2m × 1m × H 1.2m) 1개와 원형수조(φ 0.6 m × H 1m, 수량 200 L) 8개가 1세트가 되도록 하였으며, 침전조에는 깨끗한 물을 5 L/min유량으로 계속 보충하면서 여분의 사육수는 퇴수구를 통해 빠지도록 하여 이전 실험과 동일하게 구성하였다(Kim YO, 2022a; Kim YO, 2022b). 실험어가 들어있는 원형수조는 동일한 사육환경인 수온(24℃)과 수질환경 (pH 6.4~7.7, DO 6.6~7.4)을 유지하면서 실시하였다.

### 2. 실험사료

실험에 사용된 사료는 양어가들이 현장에서 주로 사용하는 전용 시판 배합사료(Chunhajeil Co., Daejeon, Korea; 8.4% moisture, 56.1% crude protein, 11.0% crude lipid and 8.2% ash)를 실험사료로 공급하였다. 사료 공급은 1일 4회(08:30, 11:30, 14:30, 17:30), 1일 3회(08:30, 13:00, 17:30), 1일 2회(08:30, 17:30) 및 1일 1회(08:30) 반복으로 공급하였다.

<Table 1> Ingredient and proximate composition of experimental diets for crucian carp *Carassius auratus*

Ingredients (%)	Diets
Commercial diet <sup>1</sup>	
Chemical analysis (% of dry matter basis)	
Moisture	8.4
Crude protein	56.1
Crude lipid	11.0
Ash	8.2

<sup>1</sup>Fish Commercial diet for eel produced from Purinafeed incorporation (Seongnam, Korea).

### 3. 어체측정 및 성분분석

어체측정은 사육실험 시작시와 종료시에 측정하기 하루 전부터 절식시킨 후, tricaine methanesulfonate (MS 222, Sigma, St. Louis, MO, USA) 100 ppm 수용액에 마취시켜 실험어의 체장과 무게를 측정하였다.

어체의 일반성분 분석을 위하여 각 실험수조에서 5마리씩을 시료로 취하여 냉동보관(-25℃)하였다. 실험사료 및 어체의 일반성분은 AOAC (1995)의 방법에 따라 조단백질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland; Metrohm 8-719/806, Swizerland)를 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105℃의 dry oven에서 6시간 건조 후 측정하였다. 회분은 600℃ 회화로에서 4시간 동안 태운 후 측정 하였다.

### 4. 통계분석

결과의 통계처리는 SPSS Ver. 20 (SPSS Inc., Chicago, IL, U.S.A.) program을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실시한 후, 유의성이 발견되었을 시 사후검정은  $\alpha=0.05$  수준에서 Tukey's multiple range test을 이용하였다.

## Ⅲ. 결 과

사료 공급 횟수에 따른 붕어 치어의 성장 및 사료 이용성을 <Table 2>와 <Table 3>에 나타내었다. 사육 실험 기간 동안의 모든 실험구의 생존율은 100%로 실험구간에 유의차가 없었다 ( $P>0.05$ ). 증체율(Weight gain, WG)과 일간성장률(Specific growth rate, SGR)은 1일 1회 공급 실험구가 1일 3회와 4회 공급 실험구들보다 유의하게 낮은 결과를 나타내었으며( $P<0.05$ ), 1일 2회 공급한 실험구간과는 유의한 차이가 없었다( $P>0.05$ ). 사료효율(Feed efficiency, FE)과 단백질전환효율(Protein efficiency ratio, PER)은 실험구간에 유의한 차이가 없었다. 일간사료섭취율(Daily feed intake, DFI)과 일간단백질섭취율(Daily protein intake, DPI)은 1일 3회 공급실험구간까지는 사료 공급 횟수가 증가함에 따라 유의하게 증가하는 경향을 보였으나, 1일 3회와 4회 공급 실험구간에는 유의한 차이가 없었다.

10주간의 사료 공급 횟수에 따라 실험사료를 섭취한 붕어 치어의 비만도(CF, Condition factor) 및 어체의 변이계수(CV, Coefficient variation)를 <Table 4>에 나타내었다. 실험종류 후 비만도, 개체 길이의 차이(CVBL, Coefficient variation of body

<Table 2> Growth performance of crucian carp *Carassius auratus* fed experiment diets for 10 weeks<sup>1</sup>

Feeding frequency /day	Initial mean weight (g)	Final mean weight (g)	Survival (%)	Weight gain (%) <sup>2</sup>	Specific growth rate (%/day) <sup>3</sup>
One meal	4.7±0.01 <sup>ns</sup>	6.3±0.20 <sup>a</sup>	100±0.0 <sup>ns</sup>	34.3±3.95 <sup>a</sup>	0.42±0.04 <sup>a</sup>
Two meals	4.7±0.05	7.8±0.20 <sup>ab</sup>	100±0.0	64.5±3.00 <sup>ab</sup>	0.71±0.03 <sup>ab</sup>
Three meals	4.7±0.05	9.0±0.40 <sup>b</sup>	100±0.0	90.1±7.30 <sup>b</sup>	0.92±0.06 <sup>b</sup>
Four meals	4.7±0.01	9.1±0.45 <sup>b</sup>	100±0.0	92.2±9.80 <sup>b</sup>	0.93±0.07 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>Values (mean±SE of duplicate groups) with different superscripts in the same column are significantly different ( $P<0.05$ ).

<sup>2</sup>Weight gain (%) = (final body weight - initial body weight) × 100/initial body weight.

<sup>3</sup>Specific growth rate = (Ln final weight of fish - Ln initial weight of fish) × 100/days of feeding trial.

<sup>ns</sup>Not significant ( $P>0.05$ ).

반순환여과시스템내에서 사료 공급 횟수가 붕어(*Carassius auratus*) 치어의 성장, 사료 이용성 및 체조성에 미치는 영향

<Table 3> Daily feed intake (DFI), feed efficiency (FE), daily protein intake (DPI) and protein efficiency ratio (PER) of crucian carp *Carassius auratus* fed experiment diets for 10 weeks<sup>1</sup>

Feeding frequency /day	DFI(%) <sup>2</sup>	FE(%) <sup>3</sup>	DPI(%) <sup>4</sup>	PER(%) <sup>5</sup>
One meal	0.54±0.01 <sup>a</sup>	77.9±7.20 <sup>ns</sup>	0.30±0.01 <sup>a</sup>	1.42±0.14 <sup>ns</sup>
Two meals	0.78±0.02 <sup>b</sup>	89.1±5.35	0.43±0.01 <sup>b</sup>	1.62±0.10
Three meals	0.99±0.03 <sup>c</sup>	89.6±2.90	0.55±0.02 <sup>c</sup>	1.63±0.05
Four meals	1.03±0.04 <sup>c</sup>	77.7±7.90	0.57±0.02 <sup>c</sup>	1.42±0.15

<sup>1</sup>Values (mean±SE of duplicate groups) with different superscripts in the same column are significantly different (P<0.05).

<sup>2</sup>Daily feed intake = feed intake × 100 / [(initial fish wt. + final fish wt. + dead fish wt.) × days reared / 2].

<sup>3</sup>Feed efficiency = fish wet weight gain×100/feed intake (dry matter).

<sup>4</sup>Daily protein intake = protein intake × 100 / [(initial fish wt. + final fish wt. + dead fish wt.) × days reared / 2].

<sup>5</sup>Protein efficiency ratio = weight gain of fish / protein consumed.

<sup>ns</sup>Not significant (P>0.05).

<Table 4> Condition factor (CF), coefficient variation of body length (CVBL), and body weight (CVBW) of crucian carp *Carassius auratus* fed experiment diets for 10 weeks<sup>1</sup>

Feeding frequency / day	CF(%) <sup>2</sup>	CVBL(%) <sup>3</sup>	CVBW(%) <sup>4</sup>
One meal	1.65±0.30 <sup>ns</sup>	8.45±0.1 <sup>ns</sup>	19.7±2.4 <sup>ns</sup>
Two meals	1.71±0.11	7.65±0.6	19.3±1.9
Three meals	1.75±0.12	8.60±0.4	18.8±1.1
Four meals	1.81±0.20	6.75±0.4	19.1±1.4

<sup>1</sup>Values (mean±SE of duplicate groups) with different superscripts in the same column are significantly different (P<0.05).

<sup>2</sup>CF(%) = [weight of fish / (length of fish)<sup>3</sup>] × 100.

<sup>3</sup>CVBL(%) = (standard deviation of final length of fish / mean final length of fish) × 100.

<sup>4</sup>CVBW(%) = (standard deviation of final weight of fish / mean final weight of fish) × 100.

<sup>ns</sup>Not significant (P>0.05).

<Table 5> Proximate composition (%) of crucian carp *Carassius auratus* fed experiment diets for 10 weeks<sup>1</sup>

	Diets			
	One meal	Two meals	Three meals	Four meals
Proximate composition (% wet weight)				
Moisture	73.4±2.80 <sup>ns</sup>	73.9±0.25	73.3±1.95	73.4±0.95
Crude protein	16.7±0.90 <sup>ns</sup>	16.3±0.05	15.9±1.30	16.4±0.20
Crude lipid	4.75±0.05 <sup>a</sup>	5.80±0.01 <sup>ab</sup>	6.35±0.75 <sup>ab</sup>	7.10±0.10 <sup>b</sup>
Ash	4.15±0.25 <sup>ns</sup>	3.60±0.01	3.45±0.15	3.30±0.20

<sup>1</sup>Values (mean±SE of duplicate groups) with different superscripts in the same column are significantly different (P<0.05).

<sup>ns</sup>Not significant (P>0.05).

length) 및 개체 무게의 차이(CVBW, Coefficient variation of body weight)는 실험구간에 유의차가 없었다.

사료 공급 횟수에 따른 전어체 일반성분 분석 결과를 <Table 5>에 나타내었다. 전어체의 수분, 단백질과 회분 함량은 모든 실험구간에서 유의차가 없었으나, 지질 함량은 사료 공급 횟수가 증가함에 따라 유의하게 증가하였다.

#### IV. 고 찰

사료 공급 횟수의 증가는 어류의 성장과 사료 섭취량을 증대시키지만, 일정 횟수 이상의 사료 공급시에는 어류의 성장에 영향을 미치지 않거나 오히려 감소하는 연구 결과들이 많이 보고되었다(Lee et al., 2000a; Mizanur and Bai, 2014; Oh and Maran 2015; Oh and Park, 2016; Kim et al., 2020; Kim YO, 2022). 본 연구에서도 1일 3회의 사료 공급 횟수까지는 증체율, 일간성장률 및 일간사료섭취율이 증가하였으며, 1일 4회 사료 공급이 1일 3회에 비해 일간사료섭취율이 높아졌음에도 증체율과 일간성장률은 1일 3회 사료 공급실험구와는 차이가 없었다.

최적의 사료 공급 횟수는 어종의 식성, 서식 환경, 크기 등의 요인에 따라 다르다고 보고되었다. 여러 어종의 적정 사료 공급 횟수를 조사한 연구 결과들을 보면, 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*)(Ruohonen et al., 1998) 및 비단잉어(*Cyprinus carpio* var. *koi*)(Kim and Lee, 2010)는 1일 4회, 틸라피아(*Oreochromis niloticus*)(Riche et al., 2004), blint snout bream (*Megalobrama amblycephala*)(Tian et al., 2015) 및 대구(*Gadus macrocephalus*)(Choi et al., 2011)는 1일 3회, 산천어(*Oncorhynchus masou*)(Seong and Kim, 2008), 쏘가리(*Siniperca scherzeri*)(Kim et al., 2020) 및 미꾸라지(*Misgurnus mizolepis*)(Kim YO, 2022b)는 1일 2회, 조피볼락(*Sebastes schlegelii*)(Lee et al., 2000b)은 1일 1회,

estuary grouper (*Epinephelus tauvina*)는 2일 1회(Chua and Teng, 1978)가 적합하다고 보고되었다. 본 연구에서 1일 1회보다 1일 3회 공급구에서 성장이 좋아졌으나, 1일 4회 공급구에서는 성장이 더 이상 개선되지 않았다. 타 어종에서도 이와 유사한 경향은 보였는데, 무지개송어, 붉바리(*Epinephelus akaara*), 넙치(*Paralichthys olivaceus*), 쏘가리 및 미꾸라지를 대상으로 한 실험에서는 적정 사료 공급 횟수 이상에서 성장률이 더 개선되지 않았다고 보고되었다(Grayton and Beamish, 1977; Kayano et al., 1993; Kim et al., 2009; Kim et al., 2020; Kim YO, 2022). 반면에, 조피볼락 및 dolly varden char (*Salvelinus malma*) 치어를 대상으로 한 실험에서는 일정 사료 공급 횟수 이상에서는 성장률이 감소하는 결과도 있었다(Lee et al., 1999; Lee et al., 2013; Oh and Park, 2016; Guo et al., 2018). 어종과 크기에 따라 사료 섭취 횟수나 섭취량이 달라질 수 있는데, 본 연구에서 일간사료섭취율은 사료 공급 횟수가 증가함에 따라 1일 3회 공급구까지는 증가하였으나, 1일 3회 이상에서는 더 이상 증가하지 않았다. 이러한 결과로 부터 봉어는 사료 공급 횟수가 일정 수준 이상을 초과하면 더 이상 먹이 섭취량이 증가되지 않음을 알 수 있다. 무지개송어, 붉바리 및 조피볼락을 대상으로 한 연구에서도 적정 사료 공급 횟수 이상에서는 성장 및 사료 섭취율이 더 이상 증가하지 않는 것으로 보고되어(Grayton and Beamish, 1977; Kayano et al., 1993; Lee et al., 2000b), 본 연구결과와 일치하였다. 이처럼 사료 공급 횟수에 의한 사료 섭취량이나 성장이 다르게 나타나는 것은 어류의 식성에 따른 장의 크기와 길이, 사료의 종류나 물성, 사육조건 등에 따라 결과가 다양하게 나타나는 것으로 생각된다(Lee et al., 2000b; NRC, 1993).

본 연구결과에서 사료효율은 사료 공급 횟수에 따른 차이가 없었다. 이는 사료 공급 횟수의 증가 또는 사료 공급 간격이 짧아질 경우 과잉으로 섭취된 사료가 체내 소화관을 거쳐가는 시간이

감소하고 이에 따른 효율적인 소화가 이루어지지 않기 때문이다(Biswas et al., 2010; Mizanur and Bai, 2014; Oh and Park, 2016; Guo et al., 2018). 돌돔(*Oplegnathus fasciatus*)(Oh and Maran, 2014)과 rohu (*Labeo rohita*)(Biswas et al., 2006)의 경우 사료 공급 횟수가 사료효율에 영향을 미치지 않는 것으로 나타나 본 실험과 유사한 결과를 나타내었으나, 사료 공급 횟수가 사료효율에 영향을 미치는 결과도 있다(Kang et al., 2015; Kim et al., 2020; Kim YO, 2022). 이러한 차이는 어종 및 실험조건에 따라 달라지는 것으로 나타났다. 본 실험 결과 사료 공급 횟수에 따른 개체간 크기 차이(즉, CV)는 나타나지 않아, 이전의 gibel carp (*Carassius auratus gibelio*)(Zhou et al., 2003) 와 white sturgeon (*Acipenser transmontanus*)(Cui et al., 1997) 과 유사한 결과를 나타내었다.

사료 공급 횟수는 어체의 단백질, 수분 및 회분 함량에는 영향을 미치지 않았으나, 지질 함량에서는 사료 공급 횟수가 증가함에 따라 증가하였다. 사료 공급 횟수가 증가함에 따라 체지방 함량이 증가한다는 다른 연구 결과와 동일한 경향을 나타내었다(Kayano et al., 1993; Yao et al., 1994; Lee et al., 2000a; Oh and Maran 2015; Kim YO, 2022). 체지방 증가는 빈번한 사료 공급으로 어류가 섭취한 여분의 사료 내 에너지가 어류의 성장에 사용되지 않고 체내 지방으로 축적되기 때문이다(Mizanur and Bai, 2014; Kim et al., 2020; Kim YO, 2022). 또한, 사료 공급 횟수 증가로 인한 충분한 사료 공급이 사료를 섭취하기 위한 경쟁과 공식을 줄여주어 에너지를 적게 소모하기 때문에 체내에 더 높은 함량의 지방을 축적할 수 있다고 보고하였다(Biswas et al., 2006; Xie et al., 2011; Guo et al., 2018).

이상의 결과로 볼 때, 붕어 치어의 성장 및 사료 이용성을 고려하면 1일 3회 반복 공급이 최적 사료 공급 횟수로 판단된다.

## References

- AOAC(1955). Official Methods of Analysis, 15th edition. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, U.S.A. 1298.
- 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(2), 211~218. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.08.001>
- Biswas G, Thirunavukkarasu AR, Sundaray JK and Kaliasam M(2010). Optimization of feeding frequency of Asian seabass (*Lates calcarifer*) fry reared in net cages under brackishwater environment. *Aquaculture* 305(1), 26~31. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.04.002>
- Buurma BJ and Diana JS(1994). Effects of feeding frequency and handling on growth and mortality of cultured walking catfish *Clarias fiscus*. *J Eorld Aquac Soc* 25(2)175~182. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1994.tb00179.x>
- Choi YU, Park HS and OH SY(2011). Effects of stocking density and feeding frequency on the growth of the pacific cod, *Gadus macrocephalus*. *Korean J Fish Aquat Sci* 44(1), 58~63. <https://doi.org/10.5657/kfas.2011.44.1.058>
- 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(1), 31~47. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(78\)90138-2](https://doi.org/10.1016/0044-8486(78)90138-2)
- Cui Y, Hung SSO, Deng DF and Yang Y(1997). Growth performance of juvenile white sturgeon as affected by feeding regimen. *Prog Fish Cult* 59(1), 31~35. [https://doi.org/10.1577/1548-8640\(1997\)059%3C0031:gpojws%3E2.3.co;2](https://doi.org/10.1577/1548-8640(1997)059%3C0031:gpojws%3E2.3.co;2)
- Duncan DB(1955). Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics* 11, 1~42.
- Grayton BD and Beamish FWH(1977). Effects of feeding frequency on food intake, growth and body composition of rainbow trout *Salmo gairdneri*. *Aquaculture* 11(2), 159~172. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(77\)90073-4](https://doi.org/10.1016/0044-8486(77)90073-4)

- Guo ZG, Cui J, Li M, Liu H, Zhang M, Meng F, Shi G, Wang R, He X and Zhao Y(2018). Effect of feeding frequency on growth performance, antioxidant status, immune response and resistance to hypoxia stress challenge on juvenile dolly varden char *Salvelinus malma*. *Aquaculture* 489(3), 197~201.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.12.031>
- Kang HW, Cho JK, Son MH, Hong CG and Park JY(2015). Effect of feeding frequency on growth and body composition of juvenile river puffer, *Takifugu obscurus* in winter season. *JFMSE* 27(3), 718~724.  
<https://doi.org/10.13000/jfmse.2015.27.3.718>
- 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(3), 271~278.  
[https://doi.org/10.1016/0044-8486\(93\)90375-9](https://doi.org/10.1016/0044-8486(93)90375-9)
- Kim KD, Nam MM, Kim KW, Lee HY, Hur SB, Kang YJ and Son MH(2009). Effects of feeding frequency on growth and body composition of sub-adult flounder *Paralichthys olivaceus* in suboptimal water temperature. *Kor J Fish Aquat Sci* 42(3), 262~267.  
<https://doi.org/10.5657/kfas.2009.42.3.262>
- 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. *Kor J Fish Aquat Sci* 43(4), 320~324.  
<https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.4.320>
- Kim YO(2022a). Effects of different foods on the growth, feed utilization and body composition of 1-year mandarin fish *Siniperca scherzeri* in semi-recirculating aquaculture system. *JFMSE* 34(4), 605~611.  
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2022.8.34.4.605>
- Kim YO(2022b). Effects of different feeding frequency on the growth, feed utilization and body composition of juvenile mud loach *Misgurnus mizolepis* in semi-RAS(semi-recirculating aquaculture system). *JFMSE* 34(5), 864~871.  
<https://doi.org/10.13000/jfmse.2022.10.34.5.864>
- Kim YO, Oh SY and Lee SM(2020). Influence of different feeding frequency on the growth and body composition of juvenile mandarin fish *Siniperca scherzeri* reared in a recirculating aquaculture system(RAS). *Korean J Fish Aquat Sci* 53(4), 538~543.  
<https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0538>  
<https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0538>
- Kubitz F and Lovshin LL(1999). Formulated diets, feeding strategies, and cannibalism control during intensive culture of juvenile fishes. *Rev Fish Sci* 7(1), 1~22.  
<https://doi.org/10.1080/10641269991319171>
- Lee JH, Lee BJ, Kim KW, Han HS, Park GH, Lee JH, Yun HH and Bai SC(2013). Optimal feeding frequency for juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegeli* fed commercial diet at two different water temperature. *Kor J Fish Sci* 46(6), 761~768.  
<https://doi.org/10.5657/kfas.2013.0761>
- 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(12), 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(4), 399~409.  
[https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(00\)00318-5](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(00)00318-5)
- Mizanur RM and Bai SC(2014). The optimum feeding frequency in growing Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*) rearing at the temperature of 15°C and 19°C. *Asian-Australas J Anim Sci* 27(9), 1319~1327.  
<https://doi.org/10.5713/ajas.2014.14193>
- National Research Council (NRC) (1993). *Nutrient Requirements Fishes*. National Academy Press, Washington, DC, 114 pp.
- Nelson JS(2006). *Fishes of the world* (4th ed). John Wiley and Sons, New York, 601~610.
- Oh SY and Maran BAV(2015). Feeding frequency influences growth, feed consumption and body composition of juvenile rock bream (*Oplegnathus fasciatus*). *Aquacult Int* 23(1), 175~184.  
<https://doi.org/10.1007/s10499-014-9806-2>
- Oh SY and Park JW(2016). Feeding frequency

- influences the growth, food consumption, body composition and hematological response of the Korean rockfish, *Sebastes schlegelii*. Korean J Fish Aquat Sci 49(5), 600~606.  
<https://doi.org/10.5657/kfas.2016.0600>
- 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(4), 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(2), 111~121.  
[https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(98\)00235-x](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(98)00235-x)
- Schjolden J, Sorensen J, Nilsson GE, Poleo AB(2007). The toxicity of copper to crucian carp (*Carassius carassius*) in soft water. Sci. Total Environ. 384(2), 239~251.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.06.009>
- Seong KB and Kim DH(2008). Effects of feeding frequency on the optimum growth of cherry salmon, *Oncorhynchus masou*. J. Kor. Fish. Soc. 41(5), 343~345.  
<https://doi.org/10.5657/kfas.2008.41.5.343>
- Shi X, Chen S, Gan C, Liu X, Chen F, Ma X, Wu L, Zhang Y, Waiho K, Tian X, Li X(2022). Comparison of growth performance, feed utilization and morphology between homologous and heterologous juvenile Qihe crucian carp *Carassius auratus*. Aquaculture 561(738634), 1~11.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738634>
- Silva CR, Gomes LC and Brandao FR(2007). Effect of feeding rate and frequency on tambaqui (*Colossoma macropomum*) growth, production and feeding costs during the first growth phase in cages. Aquaculture 264(2), 135~139.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.12.007>
- Tian HY, Zhang DD, Li XF, Zhang CN, Qian Y and Liu WB(2015). Optimum feeding frequency of juvenile blint snout bream *Megalobrama amblycephala*. Aquaculture 437(1), 60~66.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.11.032>
- 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(30), 261~267.  
[https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(98\)00266-x](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(98)00266-x)
- Wang Y, Kong L, Li K and Bureau DP(2007). Effects of ration level and feeding frequency on growth, feed utilization and carcass composition of cuneate drum (*Nibea miichthioides*) reared in net pens. Aquaculture 271(3), 350~356.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.03.022>
- Xie F, Ai Q, Mai K, Xu W and Ma H(2011). The optimal feeding frequency of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*, Richardson) larvae. Aquaculture 311(1), 162~167.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.12.005>
- Yao SJ, Umino T and Nakagawa H(1994). Effect of feeding frequency on lipid accumulation in ayu. Fish. Sci. 60(6), 667~671.  
<https://doi.org/10.2331/fishsci.60.667>
- Zhou Z, Cui Y, Xie S, Zhu X, Lei W, Xue M and Yang Y(2003). Effect of feeding frequency on growth, feed utilization, and size variation of juvenile gible carp (*Carassius auratus gibelio*). J Appl Ichthyol 19(4), 244~249.  
<https://doi.org/10.1046/j.1439-0426.2003.00453.x>
- 
- Received : 16 November, 2022
  - Revised : 13 December, 2022
  - Accepted : 16 December, 2022