

사육수온에 따른 비단잉어 홍백(*Cyprinus carpio*) 치어의 성장 및 체색 변화

김이오 · 오승용¹ · 이상민^{2*}

충청북도내수면연구소, ¹한국해양과학기술원 생태기반연구센터, ²강릉원주대학교 해양생물공학과

Growth and Skin Color of Red- and White-colored Fancy Carp *Cyprinus carpio* var. *koi* Reared at Different Water Temperatures

Yi-Oh Kim, Sung-Yong Oh¹ and Sang-Min Lee^{2*}

Department of Inland Fisheries Research Institute Chungcheongbuk-do, Chungju 27329, Korea

¹Marine Ecosystem and Biological Research Center, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Asan 15627, Korea

²Department of Marine Biotechnology, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 25457, Korea

This study was conducted to investigate the growth and skin color of red- and white-colored fancy carp *Cyprinus carpio* var. *koi* juvenile reared at different water temperatures (21, 24, 27, and 30°C) for eight weeks. Two experimental diets were prepared to contain 10% *Arthrospira platensis* or 10% *Arthrospira pacifica* powder. After the feeding trial, survival was 100% in all group. Weight gain of fish reared at 24, 27, and 30°C was higher than 21°C group. Feed efficiency was not affected by water temperature and dietary *Arthrospira* sp. Daily feed intake tended to increase with water temperature. The *a** value of skin coloration was affected by *Arthrospira* sp., but not by water temperature. Fish fed the diet containing *A. pacifica* powder reared at 27°C had the highest *a** value among the groups. Total carotenoids were highest in fish fed the diet containing *A. pacifica* powder reared at 21°C. Based on the results of this study, we conclude that 24-30°C water temperature was the optimal range for growth, and dietary inclusion of *A. pacifica* improved the skin redness of red- and white-colored fancy carp reared at 27°C.

Key words: Fancy carp *Cyprinus carpio* var. *koi*, Water temperature, Growth, Skin coloration, *Arthrospira* species

서 론

관상어 사육은 사진촬영과 함께 가장 각광받는 대중적 취미 생활이기 때문에 관상어의 선택은 매우 중요하다. 전세계적으로 700여종의 관상어류가 있는데 이들 중 95%가 미국 플로리다와 동남아시아에서 생산되고 있다(Gouveia and Rema, 2005). 우리나라에서는 가장 대표적인 관상어로 비단잉어와 금붕어를 들 수 있으며, 애호가들 사이에 높은 가격으로 거래되고 있다.

비단잉어의 상품성을 결정하는 요인들은 체색, 체형 그리고 어체 크기 등을 들 수 있으며, 이 중 가장 중요한 것은 체색이다(Paripatananont et al., 1999). 어류의 체색에 영향을 미치는 요소에는 어류의 크기, 연령, 사료 조성, 사료 공급기간, 사료의 carotenoid 종류 및 농도, 성성숙, 유전적인 요인 등이 있으며, 수온이나 광도 등의 환경적인 요인도 체색에 영향을 미친다(Torissen et al., 1989; Storebakken and No, 1992). 수온은

어류의 성장, 생존 및 생리대사에 가장 큰 영향을 미치는 외부 환경요인으로 알려져 있으며(Brett and Groves, 1979; Jobling, 1997; Johnston, 2006), 사료섭취에도 직접적인 영향을 미쳐 사료효율 및 사료이용성에 영향을 주는 중요한 요소이다(Yamamoto et al. 2007; Bogevik et al. 2010). 대상어류에 적합한 수온에서는 사료섭취, 소화 및 사료이용성이 향상되지만(Bogevik et al., 2010), 적합한 수온 이하에서는 사료 섭취 및 성장의 감소되고(Bendiksen et al., 2002), 효소활성 및 삼투압조절 변화가 초래된다(Mccormick et al., 1996). 반면에 너무 높은 수온에서 사육되는 어류는 대사장애 및 먹이섭취 감소 등의 부작용이 초래된다(Sun and Chen, 2009; Bermudes et al., 2010). 따라서, 고가의 비단잉어를 상품크기까지 경제적으로 빨리 키울 수 있는 사육 수온의 규명이 필요하다. 이와 더불어, 비단잉어의 색소원료로 많이 이용되는 *Arthrospira*는 그 품종이 다양하므로 *Arthrospira* 종, 배양방법 및 가공방법에 따라 영양성분이 달라

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0257>



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(3) 257-262, June 2017

Received 8 May 2017; Revised 30 May 2017; Accepted 5 June 2017

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

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

저 어류의 성장과 체색에 영향을 미칠 수 있다. 비단잉어 체색을 개선시키기 위한 목적으로 *Arthrospira* 첨가(Kim and Lee, 2015)와 다른 색소원과의 비교실험(Kim and Lee, 2012; Kim and Lee, 2014)은 수행되었으나, *Arthrospira* 종간의 직접적인 비교실험은 없었다. 현재까지 수온과 피부착색과의 상호관계에 대한 실험은 금붕어를 대상으로 수행된 바 있으나(Gouveia and Rema, 2005), 그 외 종에 대해서는 연구가 매우 제한적이다. 그래서 본 연구는 비단잉어 홍백을 양식하기 위한 사육기술 중 성장에 적합한 수온범위를 조사하고, 사육 수온과 사료에 첨가되는 *Arthrospira* 종에 따른 비단잉어 표피의 색택 변화를 조사하기 위해 수행하였다.

재료 및 방법

실험사료 및 성분분석

Table 1에 표시한 바와 같이 분말사료에 *Arthrospira platensis* (Hainan Xiongxin Bioengineering Company, China)와 *Arthrospira pacifica* (Cyanotech Company, USA)를 각각 10% 첨가한 2 종류(SPC, SPU)의 실험사료를 제조하였다. 실험사료에 사용된 분말 상품사료(조단백질 45%, Total carotenoids 1 mg/100 g)는 시판되고 있는 담수어 육성용을 구입한 것이다. 분말사료와 *Arthrospira*를 혼합한 사료조성물에 적당량의 물을 첨가하여 다시 혼합하여 사료제조기로 pellet 형태로 사료를 성형하였다. 성형된 각각의 실험 사료를 건조 후 -25℃의 냉동고에 보관하면서 실험어에게 공급하였다. 실험사료의 일반성분 분석은 AOAC (1995)은 방법에 따라 실시하였다. 조단백질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지질은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105℃의 dry oven에서 6시간 건조 후 측정하였다. 회분은 600℃의 회화로에서 4시간 동안 태운 후 측정하였다.

실험어 관리 및 색도분석

실험어는 충청북도내수면연구소에서 종묘 생산된 비단잉어 홍백((fancy carp *Cyprinus carpio* var. koi) 치어를 사용하였다. 실험 시작 2주 전부터 실험조건에 순치된 비단잉어(2.8 g/fish)를 각 수조마다 20마리씩 3반복으로 수용하여 1일 3회 반복으로 실험사료를 8주간 공급하였다. 어류사육은 히터를 장착한 가온수조와 여과시스템을 갖춘 시설에서 수행되었는데, 가온수조에서 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃로 조절된 사육수를 각 실험수조마다 2 L/min씩 흘려주었다. 어체의 무게 측정은 사육 실험 시작시와 종료시에 측정 전일 절식시킨 후 tricaine methanesulfonate (MS222, Sigma, St. Louis, MO, USA) 100 ppm 수용액에 마취시켜 실시하였다. 색도분석을 위해 실험 종료 후 실험수조에 생존한 전 개체에 대하여 색차계(Minolta Chroma Meter CR-400, Japan)를 이용하여 Skrede (1987) 및 Gouveia et al. (2003)이 사용한 방법에 따라 L^* (lightness), a^* (redness)

Table 1. Ingredient and proximate composition of experimental diet

	Diets	
	SPC	SPU
<i>Ingredients</i> (%)		
Commercial diet ¹	90	90
<i>Arthrospira platensis</i> powder ²	10	-
<i>Arthrospira pacifica</i> powder ³	-	10
<i>Chemical analysis (dry matter basis)</i>		
Crude protein (%)	46.7	46.2
Crude lipid (%)	9.9	9.4
Ash (%)	8.3	9.5
Total carotenoids(mg/100g)	36.9	38.4

¹Commercial bind meal for carp produced in Purinafeed incorporation (Seongnam, Korea). ²Obtained from Hainan Xiongxin Bioengineering Company, China. ³Obtained from Cyanotech Company, Kailua-Kona, Hawaii, USA.

및 b^* (yellowness)를 측정하였다. 이때 비단잉어 등쪽 표피의 빨간색 부위를 3회 반복하여 측정하였다.

Total carotenoids 분석

실험에 사용된 사료와 어류 표피의 total carotenoids 함량은 Kim and Lee (2012)가 사용했던 방법과 동일하게 분석하였다. 즉, 시료를 동결건조 후, 아세톤과 메탄올 혼합액(1:1, v/v)으로 암소에서 3회에 걸쳐 조지질을 추출하였다. 추출액에 petroleum ether와 다량의 물로 분리하여 carotenoids를 petroleum ether로 전용시킨 후 무수 Na_2SO_4 로 탈수시키고, 40℃ 이하에서 감압 농축하고, petroleum ether로 100 mL정량하여 UV-spectrometer 사용하여 total carotenoids 함량을 계산하였다.

통계처리

결과의 통계 처리는 SPSS (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) program을 사용하여 One-way와 Two-way ANOVA-test를 실시하고, Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

8주간의 사육실험 후, 성장 및 사료이용성에 대한 결과를 Table 2와 3에 각각 나타내었다. 사육실험기간 동안의 생존율은 100%로 나타났다. 최종평균체중 및 증체율은 사육수온에 영향을 받았으며($P<0.05$), 사료에 첨가된 *Arthrospira* 종에는 영향은 받지 않았다($P>0.05$). 사육수온과 *Arthrospira* 종 사이에서 상호작용은 없었다($P>0.05$). 사육수온은 24℃, 27℃ 및 30℃ 실험구들의 증체율은 사육수온 21℃ 실험구보다 유의하게 높았다($P<0.05$). 동일한 사육수온에서 사료에 첨가된 *Arthrospira*

Table 2. Growth performance of red- and white- colored fancy carp *Cyprinus carpio* var. koi fed diets containing two *Arthrospira* species reared at different water temperatures for 8 weeks¹

Water temperature (°C)	Diets	Initial body wt (g/fish)	Final body wt (g/fish)	Weight gain (%) ²
21	SPC	2.8±0.01 ^{ns}	8.6±0.24 ^a	210.5± 7.97 ^a
	SPU	2.8±0.02	9.0±0.17 ^a	227.4± 7.24 ^a
24	SPC	2.8±0.01	11.0±0.46 ^b	298.7±16.69 ^b
	SPU	2.8±0.01	11.3±0.32 ^b	310.4±11.71 ^b
27	SPC	2.8±0.01	12.0±0.40 ^b	333.8±13.85 ^b
	SPU	2.8±0.01	11.9±0.42 ^b	330.9±14.71 ^b
30	SPC	2.8±0.02	12.3±0.51 ^b	346.3±19.29 ^b
	SPU	2.8±0.01	11.9±0.34 ^b	335.1±12.77 ^b
Two-way ANOVA				
Temperature			P<0.01	P<0.01
<i>Arthrospira</i>			P<0.80	P<0.71
Interaction			P<0.69	P<0.72

¹Values (mean±SE of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05). ²Weight gain (%)=(final body weight-initial body weight)×100/initial body weight. ^{ns}Not significant (P>0.05).

Table 3. Feed efficiency (FE), daily feed intake (DFI) and protein efficiency ratio (PER) of red- and white- colored fancy carp *Cyprinus carpio* var. koi fed diets containing two *Arthrospira* species reared at different water temperatures for 8 weeks¹

Water temperature (°C)	Diets	FE (%) ²	DFI ³ (%)	PER ⁴ (%)
21	SPC	73.7±1.99 ^{ns}	2.5±0.11 ^a	2.3±0.08 ^b
	SPU	69.8±2.31	2.7±0.05 ^b	2.1±0.05 ^{ab}
24	SPC	75.6±3.46	2.8±0.07 ^{bc}	2.1±0.07 ^{ab}
	SPU	75.5±0.57	2.9±0.05 ^{bc}	2.1±0.02 ^{ab}
27	SPC	75.4±2.80	3.0±0.11 ^{bc}	2.1±0.08 ^a
	SPU	74.0±2.85	3.0±0.08 ^{cd}	2.1±0.06 ^a
30	SPC	75.6±1.68	3.0±0.05 ^{cd}	2.1±0.04 ^a
	SPU	71.3±0.91	3.1±0.07 ^d	2.0±0.03 ^a
Two-way ANOVA				
Temperature		P<0.14	P<0.01	P<0.02
<i>Arthrospira</i>		P<0.39	P<0.04	P<0.16
Interaction		P<0.76	P<0.56	P<0.51

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

종에 따른 성장차이는 없었다. 사료효율은 모든 실험구간에서 유의한 차이를 보이지 않았다. 일일사료섭취율은 사육수온과 사료에 첨가된 *Arthrospira* 종에 모두 영향을 받았지만, 사육수온과 *Arthrospira* 종 사이에서 상호작용은 보이지 않았다. 일일 사료섭취율은 사육수온이 증가할수록 증가하는 경향을 보였으며, *Arthrospira pacifica* 첨가구에서 높은 경향을 보였다. 단백질효율은 사육수온에 영향을 받았지만, 사료에 첨가된 *Arthrospira* 종에는 영향을 받지 않았으며, 사육수온과 *Arthrospira* 종

사이에서 상호작용은 보이지 않았다. 수온은 어류의 성장, 번식, 대사, 삼투압 조절 및 면역 등에 영향을 미치는 중요한 요인이다(Ishioka, 1980; Davis and Parker, 1990; Iwata et al., 1994). 일반적으로 온수성인 어류는 수온이 낮아지면 사료섭취량이 줄어들 뿐 아니라 성장속도가 감소하고, 수온이 높아질수록 어류의 대사율이 증가되고 먹이 섭취가 촉진되어 성장도 향상되는 것으로 보고되어 있다(Seikai et al., 1986; Fonds, 1979). 본 실험에서의 사육수온 21°C에서 비단잉어 홍백 치어의 일일사

Table 4. Skin value of red- and white- colored fancy carp *Cyprinus carpio* var. koi fed diets containing two *Arthrospira* species reared at different water temperatures for 8 weeks¹

Water temperature (°C)	Diets	L* value	a* value	b* value
21	SPC	66.8±0.13 ^{ab}	8.9±0.08 ^a	23.7±0.20 ^{cd}
	SPU	65.4±0.17 ^a	9.3±0.19 ^a	26.9±1.18 ^e
24	SPC	68.8±0.20 ^c	9.3±0.20 ^a	22.2±0.36 ^{bc}
	SPU	68.2±0.83 ^{bc}	9.1±0.53 ^a	24.0±0.71 ^{cd}
27	SPC	67.2±1.01 ^{abc}	8.9±0.31 ^a	20.8±0.08 ^b
	SPU	65.9±0.80 ^a	10.2±0.19 ^b	25.7±0.19 ^{de}
30	SPC	68.3±0.50 ^{bc}	8.9±0.12 ^a	18.3±0.55 ^a
	SPU	67.1±0.51 ^{abc}	9.8±0.35 ^{ab}	23.1±1.05 ^c
Two-way ANOVA				
Temperature		P<0.01	P<0.43	P<0.01
<i>Arthrospira</i>		P<0.02	P<0.01	P<0.01
Interaction		P<0.93	P<0.05	P<0.10

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

료섭취율이 낮은 값을 나타내었으며, 증중량도 낮은 값을 나타내었다. 이는 낮은 수온으로 인하여 체내 대사가 감소했기 때문으로 판단된다. 온수성 담수어류인 잉어를 대상으로 수온별 (15-25°C)로 사육실험 한 결과, 수온이 증가함에 따라 성장도 증가하였고, 25°C와 30°C 사육구간에는 서로 차이가 없었다고 보고하였다(Suzuki et al., 1977). 수온에 따른 잉어 치어의 성장 실험에서 24-30°C 범위에서 큰 차이는 없었지만 최대 성장율은 27°C에서 나타났다고 보고되었다(Goolish and Adelman, 1984). 본 실험의 비단잉어에서도 수온 21°C에서는 성장이 낮았으나, 수온 24-30°C에서는 성장이 좋아지는 결과를 나타내어 앞에서 언급한 연구 결과와 비슷한 결과를 나타내었다. 성장 결과를 고려하여 보면, 24-30°C의 수온은 비단잉어 홍백의 사료 섭취, 사료이용 및 성장에 적합한 범위로 판단된다. 비단잉어의 경우 표피의 빨간색을 짙고 선명하게 나타나도록 하는 것이 비단잉어의 상품성을 높이는 방법이다. 비단잉어의 색상 개선을 위해 *Arthrospira*가 주로 사용되고 있다(Kim and Lee, 2012; Kim and Lee, 2015). *Arthrospira*는 여러 가지 carotenoids를 함유하고 있으며, 그 중에서 zeaxanthin의 함량이 높아서 4-ke-tozeaxanthin과 idoxanthin을 거쳐 astaxanthin으로 대사되어 비단잉어 표피의 빨간색을 짙고 선명하게 형성하는데 효과적이다(Matsuno et al., 1979). 그러나 *Arthrospira*의 종, 배양방법 및 가공방법에 따라 그들의 영양성분이 달라져 어류의 성장에 영향을 미칠수 있다고 보고되었다(Nandeesh et al., 1998). 또한, 사육환경 중 수온이 체색에 영향을 미친다고 보고되었다(Gouveia and Rema, 2005).

본 연구에서 사육 8주 후, 비단잉어 홍백 표피의 밝기(lightness) L*값, 붉은색(redness) a*값 및 노랑색(yellowness) b*값을 Table 4에 표시하였다. L*값은 사육수온 및 *Arthrospira* 종

에 의한 영향은 받았으며, 수온과 *Arthrospira* 종 사이에서 상호작용은 보이지 않았다. a*값은 사육수온에 영향은 받지 않았으나, *Arthrospira* 종에 의한 영향은 받았으며, 수온과 *Arthrospira* 종 사이에서 상호작용은 보이지 않았다. b*값은 수온 및 *Arthrospira* 종에 의한 영향은 받았으며, 수온과 *Arthrospira* 종 사이에서 상호작용은 보이지 않았다. *Arthrospira*는 *A. maxima*, *A. platensis*, *A. pacifica* 등 종류가 다양하여 *Arthrospira*의 종류, 배양 및 가공방법에 따라 어류의 성장 및 체색개선에 미치는 영향이 달라진다고 보고되었다(Peimin et al., 1999, Kim and Lee, 2012; Kim and Lee, 2014). 수온 27°C에서 SPU 실험구의 a*값이 다른 실험구보다 유의하게 높은 값을 나타내었으며, 수온 30°C의 SPU 실험구와는 유의차가 없었다. Gouveia et al. (2003)의 첨가 실험에서는 *Arthrospira maxima*를 사용하였고, Kim et al.(2008)의 실험에서는 *A. platensis*를 사용하였으며, Kim and Lee(2012)과 Kim and Lee(2014)의 실험에서는 *A. pacifica*를 사용하였다. 이전의 실험에서도 *Arthrospira maxima* (Gouveia et al., 2003)과 *A. platensis* (Kim et al., 2008)를 사용한 실험구의 a*값은 대조구와 유의차가 없었으나, *A. pacifica* (Kim and Lee, 2012; Kim and Lee, 2014)를 첨가한 실험구는 대조구보다 a*값이 유의하게 높아진다는 결과를 발표한 바 있다. 또한, 금붕어를 대상으로 한 수온 20-30°C에서의 색소 원료 첨가실험에서도 수온 28°C에서 가장 높은 a*값이 나타났다고 보고되었다(Gouveia L and Rema P, 2005). 본 연구에서 사육 8주 후, 비단잉어 홍백 표피의 total carotenoid 값은 Table 5에 나타내었다. Total carotenoid 값은 사육수온과 *Arthrospira* 종에 의한 영향을 받았으며, 수온과 *Arthrospira* 종 사이에서 상호작용은 보이지 않았다. 수온 21°C의 SPU 실험구에서 total carotenoid 값이 가장 높았으며, 동일한 수온에서는 SPU 실험

Table 5. Skin total carotenoids of red- and white- colored fancy carp *Cyprinus carpio* var. koi fed diets containing two *Arthrospira* species reared at different water temperatures for 8 weeks¹

Water temperature (°C)	Diets	Total carotenoids (mg/100g DM)
21	SPC	2.9±0.15 ^{bc}
	SPU	3.1±0.29 ^c
24	SPC	2.1±0.08 ^a
	SPU	2.5±0.06 ^{ab}
27	SPC	2.1±0.21 ^a
	SPU	2.5±0.16 ^{ab}
30	SPC	2.0±0.19 ^a
	SPU	2.4±0.10 ^{ab}
Two-way ANOVA		
Temperature		P<0.01
<i>Arthrospira</i>		P<0.01
Interaction		P<0.89

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

구의 total carotenoid 값이 높아지는 경향을 보였다. 어류 체내에 carotenoids 축적은 carotenoids 원료, 구조, 안정성, 색소량, 사료 지질 함량, 어체크기, 성숙속, 유전, 환경적인 요인 등에 영향을 받는다고 보고되었다(Guillaume et al., 2001). 본 실험에서 두 종류의 *Arthrospira* 첨가 실험구 모두에서 수온 21°C 실험구의 carotenoids 함량이 다른 수온 실험구(24°C, 27°C, 30°C)보다 높은 결과를 나타내었는데, 이는 어체의 크기에 따른 차이로 생각된다. 즉 수온 21°C 실험구가 다른 수온 실험구(24°C, 27°C, 30°C)보다 성장이 유의하게 낮은 결과를 나타내었는데, 기존의 연구에서 비단잉어의 체중이 증가함에 따라 total carotenoid 값이 낮아진다고 보고하고 있어(Kim et al., 2008), 이러한 판단을 뒷받침해 준다.

이상의 결과로부터, 비단잉어 치어의 성장과 사료효율 측면에서는 수온 24-30°C에서 사육하는 것이 좋을 것으로 보이며, 붉은색을 개선시키기 위해서는 수온 27°C에서 *Arthrospira pacifica*가 첨가된 사료를 사용하는 것이 더 효과적일 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.

Bendiksen EA, Jobling M and Arnesen AM. 2002. Feed intake of Atlantic salmon parr *Salmo salar* L. in relation to temperature and feed composition. *Aquacult Res* 33, 525-532. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2002.00737.x>.

Bermudes M, Glencross B, Austen K and Hawkins W. 2010. The effects of temperature and size on the growth, energy budget and waste outputs of barramundi (*Lates calcarifer*). *Aquaculture* 306, 160-166. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.05.031>.

Bogevik AS, Henderson RJ, Mundheim H, Waagbo R, Tocher DR and Olsen RE. 2010. The influence of temperature on the apparent lipid digestibility in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed *Calanus finmarchicus* oil at two dietary levels. *Aquaculture* 309, 143-151. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.08.016>.

Brett JR and Groves TDD. 1979. Physiological energetics. *Fish Physiol* 8, 279-352.

Davis KB and Parker NC. 1990. Physiological stress in striped bass: effect of acclimation temperature. *Aquaculture* 91, 349-358. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(90\)90199-w](https://doi.org/10.1016/0044-8486(90)90199-w).

Duncan DB. 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics* 11, 1-42. <http://doi.org/10.2307/3001478>.

Fonds M. 1979. Laboratory observations on the influence of temperature and salinity on development of the eggs and growth of the larvae of *Solea solea*. *Mar Ecol Prog Seri* 1, 91-99. <https://doi.org/10.3354/meps001091>.

Goolish EM and Adelman IR. 1984. Effects of ration size and temperature on the growth of juvenile common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture* 36, 27-35. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(84\)90051-6](https://doi.org/10.1016/0044-8486(84)90051-6).

Gouveia L and Rema P. 2005. Effect of microalgal biomass concentration and temperature on ornamental goldfish (*Carassius auratus*) skin pigmentation. *Aquacult Nutr* 11, 19-23. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2004.00319.x>.

Gouveia L, Rema P, Pereira O and Empis J. 2003. Colouring ornamental fish (*Cyprinus carpio* and *Carassius auratus*) with microalgal biomass. *Aquacult Nutr* 9, 123-129. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2095.2003.00233.x>.

Guillaume J, Kaushik S, Bergot P and Metailler R. 2001. Nutrition and feeding of fish and crustaceans. Springer Verlag, London, UK, 183-196.

Ishioka H. 1980. Stress reactions in the marine fish-I. Stress reactions induced by temperature change. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish* 46, 523-532. <https://doi.org/10.2331/suisan.46.523>.

Iwata N, Kikuchi K, Honda H, Kiyono M and Kurokura M. 1994. Effects of temperature on the growth of Japanese flounder. *Fish Sci* 60, 527-531.

Jobling M. 1997. Temperature and Growth: Modulation of Growth Rate Via Temperature Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511983375.010>.

Johnston IA. 2006. Environment and plasticity of myogenesis in teleost fish. *J Exp Biol* 209, 2249-2264. <https://doi.org/10.1242/jeb.02153>.

Kim YO, Jo JY and Oh SY. 2008. Effects of dietary *Spirulina*, *Chlorella*, and Astaxanthin on the body color of Red- and

- White-colored carp, *Cyprinus carpio*. J Kor Fish Soc 41, 193-200. <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2008.41.3.193>.
- Kim YO and Lee SM. 2012. Effects of dietary inclusion of *Spirulina*, astaxanthin, canthaxanthin or paprika on the skin pigmentation of red- and white-colored fancy carp *Cyprinus carpio* var. koi. Korean J Fish Aqua Sci 45, 43-49. <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2012.0043>.
- Kim YO and Lee SM. 2014. Effect of dietary carotenoids sources on growth and skin color of red- and white-colored fancy carp *Cyprinus carpio* var. koi. Korean J Fish Aqua Sci 47, 790-795. <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2014.0790>.
- Kim YO and Lee SM. 2015. Influence of *Spirulina* level in diet on skin color of red- and white-colored fancy carp *Cyprinus carpio* var. koi. Kor Soc Fish Mar Sci Edu 27, 414-421. <https://doi.org/10.13000/jfmse.2015.27.2.414>.
- Matsuno T, Nagata S, Iwahashi M, Koike T and Okada M. 1979. Intensification of color of fancy red carp with zeaxanthin and myxoxanthophyll, major carotenoid constitute of *spirulina*. Bull Jap Soc Sci Fish 45, 627-632.
- Mccormick SD, Shampton JM and Zydlewski JD. 1996. Temperature effects on osmoregulatory physiology of juvenile anadromous fish. Society for experimental biology seminar series. Cambridge university press, New York, U.S.A., 279-301.
- Nandeesh MC, Gangadhara B, Varghese TJ and Keshavanath P. 1998. Effect of feeding *Spirulina platensis* on the growth, proximate composition and organoleptic quality of common carp, *Cyprinus carpio* L. Aquacult Res 29, 305-312. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1998.tb01135.x>.
- Paripatanamont T, Tangtrongpairoj J, Sailasuta A and Chansue NK. 1999. Effect of astaxanthin on the pigmentation of goldfish *Carassius auratus*. J World Aquacult Soc 30, 454-460. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1999.tb00993.x>.
- Peimin, H., Z. Yinjiang and H. Wenhui, 1999. Effect of the spirulina feed on the growth and body color of Crucian carp. Journal of Fisheries China/Shuichan Xuebao, 23, 162-168.
- Seikai M, Tanangonan JB and Tanaka M. 1986. Temperature influence on larval growth and metamorphosis of the Japanese flounder *Palalichthys olivaceus* in the laboratory. Bull Jpn Soc Sci Fish 52, 977-982. <https://doi.org/10.2331/suisan.52.977>.
- Skrede G. 1987. Rapid analysis in food processing and food control. In: Proceedings of the Fourth European Conference on food Chemistry., 1-4.
- Storebakken T and No H. 1992. Pigmentation of rainbow trout. Aquaculture 100, 209-229. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90372-r](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90372-r).
- Sun L and Chen H. 2009. Effects of ration and temperature on growth, fecal production, nitrogenous excretion and energy budget of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). Aquaculture 292, 197-206. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.04.041>.
- Suzuki R, Yamaguchi M and Ishikawa K. 1977. Differences in growth rate in two races of the common carp at various water temperature. Bull Fresh Fish Res Lab 27, 21-26.
- Torrissen O, Hardy R and Shearer K. 1989. Pigmentation of salmonids-carotenoid deposition and metabolism. Rev Aquacult Sci 1, 209-225.
- 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*. Fish Sci 73, 161-170. <https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2007.01314.x>.