

사료의 지질 및 파프리카 함량이 비단잉어(*Cyprinus carpio* var. koi) 흉백 치어의 성장 및 체색에 미치는 영향

김이오 · 이상민^{1*}

충북내수면연구소, ¹강릉원주대학교 해양생물공학과

Effects of Dietary Lipid and Paprika Levels on Growth and Skin Pigmentation of Red- and White-colored Fancy Carp *Cyprinus carpio* var. koi

Yi-Oh Kim and Sang-Min Lee^{1*}

Department of Inland Fisheries Research Institute, Chungcheongbukdo, Chungju 380-250, Korea

¹Department of Marine Bioscience and Technology, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 210-702, Korea

A feeding trial was conducted to investigate effect of three paprika levels (0%, 5% and 10%) with two lipid levels (4% and 10%) in diets on growth performance and skin coloration of red- and white-colored fancy carp, *Cyprinus carpio* var. koi. Two replicate groups (an average body weight of 4.3±0.2 g) of fish fed one of eight experimental diets for 8 weeks. Survival, weight gain and feed efficiency of the fish were not significantly affected by both dietary paprika and lipid levels ($P>0.05$). After 8 weeks feeding period, the values of a^* , L^* and b^* of fish skin were significantly changed by dietary paprika level ($P<0.05$) but not lipid level. The a^* value of fish fed the diets containing paprika was higher than that of fish fed control diet ($P<0.05$). Additional inclusion of 50-100 ppm canthaxanthin in diets containing 5% and 10% paprika did not improve a^* value of fish skin. Based on the results of this study, it can be concluded that dietary inclusion of 5% paprika powder could increase the redness of red- and white-colored fancy carp fingerling.

Key words: *Cyprinus carpio* var. koi, Red- and white-colored fancy carp, Paprika, Skin coloration

서 론

어류 근육이나 표피의 노란색이나 붉은색 발현은 carotenoid와 같은 색소에 의존적이다. Carotenoid 색소는 자연계에 널리 분포하고 있으며, 식물이나 박테리아, 효모와 같은 미생물에 의해서 합성된다. 그러나 어류를 포함한 대부분의 척추동물들은 carotenoid를 체내에서 합성할 수 없기 때문에 먹이를 통해 공급받아 체내에 축적한다(Goodwin, 1984; Guillaume et al., 2001; Hancz et al., 2003). 또한, carotenoid는 vitamin A 전구체, 항산화력, 면역 증강 등 많은 영양학적 기능을 가진 물질로 발표되면서 건강기능성 첨가제로도 연구되고 있다(Akhtar et al., 1999; Waagbo et al., 2003). 동물 체내에 carotenoid 축적은 색소 종류 및 농도, 사육기간 등 여러 가지 요인에 영향을 받는다. 일반적으로 carotenoid는 지용성이기 때문에 이들

의 소화, 흡수, 이동 및 축적에 대한 연구가 사료의 색소 종류와 함량, 지질 종류와 함량과 상호 관계를 고려하여 수행되어야 할 것이다(Christiansen and Wallace, 1988; Nickell and Bromage, 1998; Lee et al., 2010).

관상어류뿐 아니라 연어 및 송어와 같은 양식 어류의 상품 가치를 향상시키기 위하여 각종 색소원이 사용되고 있는데, carophyll pink나 red와 같은 합성된 상품이 사료에 첨가되고 있다. 이러한 합성 색소제는 가격이 비싸고 대부분이 수입되고 있어, 국내에서 이를 대체할 수 있는 원료를 탐색하여 그 이용성을 조사하는 것은 매우 중요하다. 대상 색소 원료 중에서 paprika는 capxanthin이나 capsorbin과 같은 색소를 풍부하게 함유하고 있을 뿐 아니라 시중에서 판매되고 있는 합성 색소보다 가격이 싸기 때문에 사료의 색소원 첨가제로 많이 고려되고 있다(Tsushima et al., 1999; Hancz et al., 2003; Lee et al.,

Article history;

Received 8 March 2012; Revised 19 June 2012; Accepted 3 August 2012

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

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

Kor J Fish Aquat Sci 45(4) 337-342, August 2012

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2012.0337>

pISSN:0374-8111

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

2010). 본 연구는 관상어로 각광을 받고 있는 비단잉어 홍백을 대상으로 사료내 paprika 농도 및 지질 함량이 성장 및 체색에 미치는 영향을 알아보기 위해 수행되었다.

재료 및 방법

실험사료

Table 1에 표시한 바와 같이 단백질 함량이 41%, 지질함량이 4%와 10% 전후가 되도록 실험사료를 설계하였다. 실험 사료에 첨가된 paprika는 시판되고 있는 red paprika를 상온에서 건조한 후에 분말로 분쇄하여 사용하였다. 지질함량이 다른 각 사료에 색소원이 첨가되지 않은 대조사료(P0L4, P0L10), paprika 5% 첨가사료(P5L4, P5L10) 및 paprika 10% 첨가사료(P10L4, P10L10), canthaxanthin이 10% 함유된 carophyll red 0.05-0.1%와 paprika 5-10% 혼합 첨가 사료(PC5L4, PC10L10)들을 설계하여 모두 8개의 실험사료를 제조하였다. 실험사료는 모든 원료를 잘 혼합한 후, 원료 100 g당 증류수

40 g를 첨가하여 초파로 압출 성형한 pellet을 냉동(-25℃) 보관하면서 공급하였다. 대조사료의 total carotenoid 함량은 0.7 mg/kg diet 이하로 나타났으며, 동일한 색소원을 첨가한 사료에서는 첨가 함량이 증가할수록 total carotenoid 함량도 증가하였다.

실험어 및 사육관리

비단잉어 홍백치어는 충청북도내수면연구소에서 종묘 생산된 치어를 사용하였다. 실험 시작 2주 전에 실험조건에 순치된 비단잉어(평균체중: 4.3±0.2 g)를 100 L 플라스틱 실험수조에 각 수조당 20마리씩 임의로 2반복 배치하였다. 실험사료를 8주간의 실험기간 동안 하루에 3번 반복으로 공급하였다. 사육장치는 반순환 여과 방식으로 한 개의 저수조와 24개의 실험수조로 구성되어 관리하였었다. 저수조에서 수증펌프를 사용하여 각 실험수조에 2 L/min의 물을 흘려 주었고, 저수조에는 깨끗한 물을 공급하여 매일 전체 사육수의 약 20%를 환수하였으며, 사육수온은 27℃로 유지하였다.

Table 1. Composition of the experimental diets

	Diets							
	P0L4	P0L10	P5L4	P5L10	P10L4	P10L10	PC5L4	PC10L10
<i>Ingredients (%)</i>								
Fish meal ¹	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
Wheat flour	32.0	32.0	27.0	27.0	22.0	22.0	26.95	21.9
Soybean meal	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
α-starch	10.0	4.0	10.0	4.0	10.0	4.0	10.0	4.0
Linseed oil	-	3.0	-	3.0	-	3.0	-	3.0
Soybean oil	-	3.0	-	3.0	-	3.0	-	3.0
Vitamin premix ²	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Mineral premix ³	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Paprika powder	-	-	5.0	5.0	10.0	10.0	5.0	10.0
Carophyll red ⁴	-	-	-	-	-	-	0.05	0.1
<i>Chemical analysis (% of dry matter basis)</i>								
Crude protein	42.2	42.2	41.4	41.4	40.6	40.6	41.4	40.6
Crude lipid	4.2	10.2	4.0	10.0	3.8	9.8	4.0	9.8
Ash	9.2	9.2	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1
Total carotenoids (mg/kg)	0.6	0.7	40	39	78	79	46	93

¹ Imported from Chile, steam-dried.

² Vitamin mix. contained the following diluted in cellulose (g/kg mix): ascorbic acid, 92.7; α-tocopheryl acetate, 14.5; thiamin, 2.1; riboflavin, 7.0; pyridoxine, 1.4; niacin, 27.8; Ca-D-pantothenate, 9.7; myo-inositol, 139.1; D-biotin, 4.2; folic acid, 0.5; p-amino benzoic acid, 13.9; K3, 1.4; A, 0.6; D3, 0.002; choline chloride, 278.3; cyanocobalamin, 0.003.

³ Mineral mix. contained the following ingredients (g/kg mix): MgSO₄·7H₂O, 80; NaH₂PO₄·2H₂O, 370; KCl, 130; Ferric citrate, 40; ZnSO₄·7H₂O, 20; Ca-lactate, 356.5; CuCl₂, 0.2; AlCl₃·6H₂O, 0.15; KI, 0.15; Na₂Se₂O₃, 0.01; MnSO₄·H₂O, 2; CoCl₂·6H₂O, 1.

⁴ Carophyll red containing 10% canthaxanthin (DSM Nutritional Products Ltd, Basel, Switzerland).

일반성분 및 총카로티노이드 분석

실험사료의 일반성분은 AOAC (1995) 방법에 따라, 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.

실험사료와 실험종료 후 어체의 total carotenoids (TC) 함량은 Lee and Lee (2008)가 사용한 방법과 동일하게 분석하였다. 실험사료와 비단잉어 표피를 동결건조 후, acetone:methanol (1:1, v/v)의 혼합액으로 실온의 암소에서 3회 추출하였다. 추출액에 petroleum ether와 다량의 물로써 분리 조작하여 carotenoids를 petroleum ether로 전용시킨 후, petroleum ether 층을 무수 Na₂SO₄로 탈수시키고, 40℃ 이하에서 감압 농축하여 petroleum ether로 100 mL 정량하여 UV-spectrometer 시료로 사용하였다.

색도분석

색도분석을 위해 실험 종료 후 전 개체에 대하여 색차계(Minolta Chroma Meter CR-400, Japan)를 이용하여 Skrede (1987) 및 Gouveia et al. (2003)의 방법에 따라 L* (lightness), a* (redness) 및 b* (yellowness)를 측정하였다. 이때 비단잉어 등쪽 표피의 빨간색 부위를 3회 반복하여 측정하였다.

통계처리

결과의 통계 처리는 SPSS Version 12 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) program을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실시 한 후, Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성(P<0.05)을 검정하였다.

결과 및 고찰

사육실험 8주 후의 비단잉어 홍백 치어의 생존, 성장 및 사료 효율을 Table 2에 표시하였다. 생존율, 최종평균체중, 증체율 및 사료효율은 모든 실험구에서 유의한 차이는 없었다. 사육실험 4주차 이후에 기생충 감염으로 일부 개체가 폐사하였으나, 포르말린 100 ppm으로 1시간 약욕처리 후 사육실험을 계속 실시하였으며, 평균 생존율은 75% 이상으로 나타났다.

사료의 paprika 함량과 지질 함량을 달리하여 8주 동안 사육한 비단잉어 홍백 표피 붉은색 부위의 밝기(lightness) L* 값을 Fig. 1에 나타내었다. L* 값이 실험 시작시 65였는데, 사육 4주까지는 L* 값이 64-67 범위로 큰 변화가 없었지만, 사육 8주 후에는 모든 실험구에서 비단잉어 홍백 표피의 L* 값이 56-62 범위로 감소하는 경향을 보였다. 사육 8주 후의 비단잉어 홍백 표피의 L* 값은 사료 지질이나 paprika 함량에 의해 특별한 경향을 보이지 않았지만, P10L4와 PC10L10 실험구에서 56-58로 타실험구들보다 낮은 L* 값은 보였다(P<0.05).

실험 종료시 비단잉어 홍백 표피 붉은색 부위의 붉은색(red-ness) a* 값을 Fig. 2에 나타내었다. 실험시작시 2.1이었던 a* 값이 모든 실험구에서 사육 기간이 경과함에 따라 사육 4주 후에는 2.8-6.1까지 증가하였다. 사육 8주 후의 a* 값은 3.9-14.2로 사육기간이 경과 함에 따라 계속 증가하는 경향을 보였으며, 특히 paprika 첨가구들의 a* 값이 9.9-14.2 범위로 대조구의 3.9-5.2보다 현저히 높은 값을 보였다(P<0.05). PC10L10 실험구의 a* 값이 14.2로 가장 높았고, 이 값은 P5L10, P10L4, P10L10 및 PC5L4 실험구의 11.9-13.1과 유의한 차이는 없었다. 사료내 paprika 첨가량이 동일한 경우, 사료의 지질 함량에 따른 실험구들의 a* 값은 차이를 보이지 않았다.

실험 종료시 비단잉어 홍백 표피 붉은색 부위의 노랑색(yel-lowness) b* 값을 Fig. 3에 나타내었다. 사육 종료시 b* 값은 21-28의 범위로 사육 시작시의 21보다 높아진 경향을 보였으

Table 2. Growth performance and feed efficiency of red- and white- colored fancy carp *Cyprinus carpio* var. koi (initial average weight 4.3±0.2 g) fed diets containing various carotenoids source for 8 weeks¹

Diets	Survival (%)	Final body weight (g/fish)	Weight gain (%) ²	Feed efficiency (%) ³
P0L4	75±5.0	9.4±0.03 ^{ns}	119±19.2 ^{ns}	30±1.5 ^{ns}
P0L10	93±7.5	8.7±1.80	102±41.7	44±5.9
P5L4	93±2.5	10.6±0.81	147±18.8	44±0.6
P5L10	90±10.0	9.8±0.06	127±1.4	41±0.2
P10L4	83±7.5	9.7±0.46	126±10.7	34±1.8
P10L10	95±5.0	8.0±0.27	97±4.3	37±3.2
PC5L4	90±10.0	9.1±0.45	129±11.3	39±2.5
PC10L10	100±0.0	9.4±0.22	111±10.5	38±6.0

¹ Values are mean ± SE of replications.

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

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

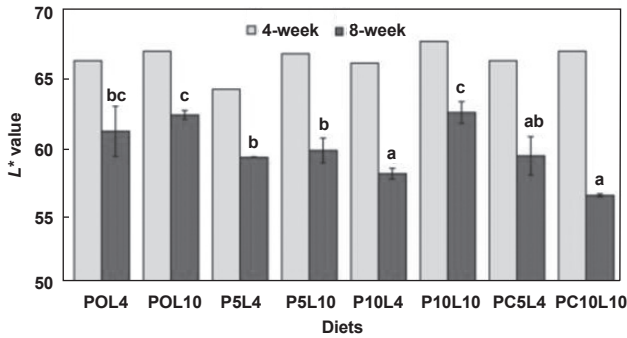


Fig. 1. Skin lightness (L^*) of red- and white-colored fancy carp *Cyprinus carpio* var. koi fed the diets containing various carotenoids source and level for 8 weeks. The L^* value of skin at the beginning of feeding trial was 65. Values (mean \pm S.E. of replications) with different letter are significantly different ($P < 0.05$).

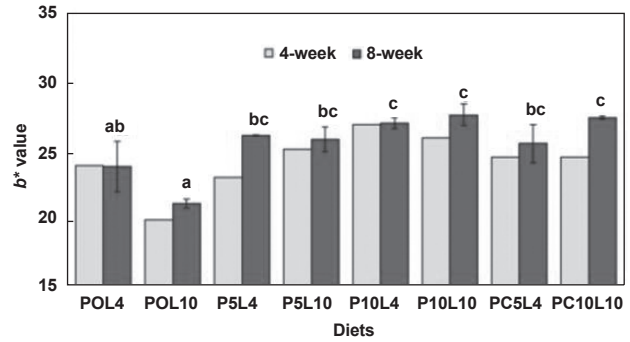


Fig. 3. Skin yellowness (b^*) of red- and white-colored fancy carp *Cyprinus carpio* var. koi fed the diets containing various carotenoids source and level for 8 weeks. The b^* value of skin at the beginning of feeding trial was 21. Values (mean \pm S.E. of replications) with different letter are significantly different ($P < 0.05$).

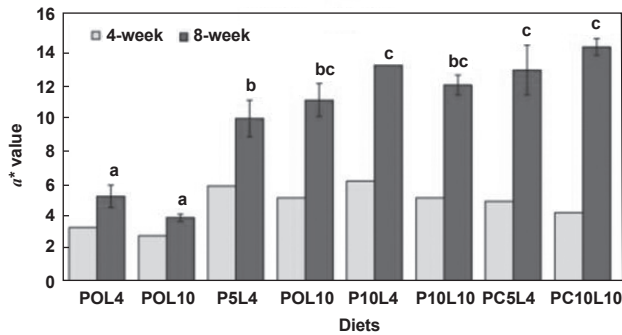


Fig. 2. Skin redness (a^*) of red- and white-colored fancy carp *Cyprinus carpio* var. koi fed the diets containing various carotenoids source and level for 8 weeks. The a^* value of skin at the beginning of feeding trial was 2.1. Values (mean \pm S.E. of replications) with different letter are significantly different ($P < 0.05$).

며, 사육 종료시에 paprika 첨가구들의 b^* 값은 25-28로 대조구의 21-24보다 높았다. 또한, paprika 10% 첨가구들(P10L4, P10L10, PC10L10)의 비단잉어 홍백 표피 b^* 값(27-28)이 대조구보다 높았다($P < 0.05$). 사료내 paprika 첨가량이 동일한 경우, 실험구들의 b^* 값은 사료의 지질 함량에 영향을 받지 않았다.

다양한 색소원료 중에서 paprika는 합성 색소제보다 비교적 가격이 저렴하고 carotenoid 함량이 높아서 어류 색택 개선을 위해 많이 연구되고 있다(Deli et al. 2001, Lee and Lee, 2008, Lee et al., 2010; Tsushima et al., 1999; Hancz et al., 2003; Yuangsoi et al., 2011). 또한 paprika는 capsanthin을 다량 함유하여 금붕어와 비단잉어의 체색 개선에 효과적이라고 보고된 바 있다(Tsushima et al., 1999; Gouveia et al., 2003; Hancz et al., 2003, Kim et al., 2008). 색소원을 달리 첨가하

여 비단잉어 홍백을 대상으로 수행된 Kim and Lee (2012)의 연구에서도 carophyll red와 paprika가 첨가된 사료를 섭취한 비단잉어 표피의 적색도가 높게 나타났다. 본 연구에서도 사육 4주후부터 paprika 무첨가구보다 paprika 첨가구들의 금붕어 표피의 a^* 값이 유의하게 높았으며, 사육기간이 길어짐에 따라 더 뚜렷한 차이가 나타나는 것으로 보아, 사료에 paprika 분말을 첨가하는 것은 금붕어의 체색을 붉게 하는 것에 도움이 될 것으로 판단된다.

본 연구에서 비단잉어 홍백치어의 성장, 생존 및 사료이용 효율이 사료의 paprika 함량에 영향을 받지 않았지만, 사료에 함유된 carotenoids는 어류의 성장 또는 생존율을 향상시킨다는 보고도 있어(Amar et al., 2001; Chien and Shiau, 2005; Segner et al., 1989), 본 연구의 성장 결과와 차이를 보였다. 반면에 사료의 carotenoid 원료 및 농도에 따라서 어류의 성장이나 사료효율이 영향을 받지 않는다는 보고도 있어(Rehulka, 2000; White et al., 2003; Kalinowski et al., 2005; Wang et al., 2006), 어종이나 실험 조건에 따라 차이가 날 수 있음을 예상할 수 있다.

어류의 성장이나 사료효율은 사료의 지질 함량에 영향을 받는다고 알려져 있지만(Lee et al., 2002; Kim and Lee, 2005), 본 연구의 비단잉어 홍백치어의 성장과 사료효율은 사료의 지질 함량에 영향을 받지 않았다. 이와 같이 비단잉어의 성장과 사료효율이 사료의 지질 함량에 영향을 받지 않은 것은 잉어의 식성과 관련된 것으로 보인다. 예를 들면, 잡식성인 잉어는 육식성 어류에 비해 지질 이용성이 낮아 본 연구에서 첨가된 사료의 지질 함량이 성장에 영향을 미치지 않은 수준인 것으로 해석된다.

어류의 carotenoids 축적은 carotenoids 원료, 구조, 안정성, 색소량, 지질원 및 농도, 어체크기 및 연령, 성숙속, 유전적인 요인 및 환경적인 요인에 영향을 받는다고 보고되고 있다

(Guillaume et al., 2001). 특히 carotenoids의 흡수와 축적에 관한 지질원과 지질함량의 상호 관계에 대한 연구가 수행되어 왔다(Torrissen, 1985; Lee et al., 2010). 본 연구에서 지질함량 4% 첨가 실험구간에서 대조구에 비해 paprika의 첨가함량이 증가함에 따라 비단잉어의 적색도가 유의하게 증가하였나, 지질함량 10% 첨가 실험구간에서는 paprika 5% 첨가구까지만 유의하게 증가하였다. 비단잉어 홍백 치어를 대상으로 지질 10% 함유 사료에 paprika 첨가 함량을 달리 첨가하여 실험한 Kim and Lee (2012)의 결과에서도, paprika 5%와 10% 첨가구간의 표피 적색도는 차이가 없었다. 이와 같이 사료에 지질 함량을 10%로 높여 주는 것은 paprika 첨가량을 절약 할 수 있음을 암시하고 있어 차후 지질 함량과 색소의 소화, 흡수 및 축적에 관해 상세한 연구가 수행 되어야 할 것이다.

이상의 결과로부터, 비단잉어 홍백 치어의 성장과 사료이용 효율은 본 연구에서 사용된 사료 지질 함량(4-10%)과 paprika 함량(5-10%)에 영향을 받지 않았다. 비단잉어 홍백 치어의 표피 적색도는 사료 지질 함량이 4%인 경우 paprika 10% 첨가가 적합할 것으로 판단되나, 사료 지질을 10%로 증가시키면 paprika를 5% 첨가하여도 양호한 결과를 얻을 수 있어, 비단잉어 홍백 치어의 표피 적색도를 높이는데 더 경제적인 사료 조성이 될 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 농림수산식품부의 연구개발사업비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사 드립니다. 실험어 관리에 도움을 주신 충북내수면연구소 황규덕 박사님과 색소분석을 도와준 강릉원주대학교 이충열 박사, 사료 제조 및 분석을 도와준 강릉원주대학교 박사과정 최진 및 어류영양대사연구실 부원들에게 감사 드립니다.

참고문헌

- Akhtar P, Gray JI, Cooper TH, Garling DL and Booren AM. 1999. Dietary pigmentation and deposition of α -tocopherol and carotenoids in rainbow trout muscle and liver tissue. *J Food Sci* 64, 234-239.
- Amar EC, Kiron V, Satoh S and Watanabe T. 2001. Influence of various dietary synthetic carotenoids on bio-defence mechanism in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquacult Res* 32, 192-163.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1995. Official Methods of Analysis, 16th edition. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, USA.
- Christiansen JS and Wallace JC. 1988. Deposition of canthaxanthin and muscle lipid in two size groups of rctic charr, *Salvelinus alpinus*. *Aquaculture* 69, 69-78.
- Chien YH and Shiau WC. 2005. The effects of dietary supplementation of algae and synthetic astaxanthin on body astaxanthin, survival, growth, and low dissolved oxygen stress resistance of kuruma prawn, *Marsuoenaeus Japonicus* Bate. *J Exp Mar Biol Ecol* 318, 201-211.
- Deli JP, Molnar Z and Toth G. 2001. Carotenoid composition in the fruit of red paprika (*Capsicum annum var. lycopersiforme rubrum*) during ripening; Biosynthesis of carotenoids in red paprika. *J Agric Food Chem* 49, 1517-1523.
- Duncan DB. 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics* 11, 1-42.
- Goodwin TW. 1984. The Biochemistry of the carotenoids vol. I Animals (2nd edn. ed.), Chapman & Hall, London, UK, 244.
- 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.
- Guillaume J, Kaushik S, Bergot P and Metailler R. 2001. Nutrition and feeding of fish and crustaceans. Springer Verlag, London, UK, 183-196.
- 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.
- Kalinowski CT, Robaina LE, Fernandez-Palacios H, Schuchardt D and Izquierdo MS. 2005. Effect of different carotenoid sources and their dietary levels on the red porgy (*Pagrus pagrus*) growth and skin colour. *Aquaculture* 244, 223-231.
- 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.
- 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.
- 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. *Kor J Fish Aquat Sci* 45, 43-49.
- Lee CR and Lee SM. 2008. Effect of dietary supplementation of pigment sources on pigmentation of the round tailed paradise fish *Macropodus chinensis* and pale chub *Zacco platypus*. *J Aquacult* 21, 213-217.
- Lee CR, Pham MA and Lee SM. 2010. Effects of dietary paprika and lipid levels on growth and skin pigmentation of pale chub (*Zacco platypus*). *Asian-Aust J Anim Sci* 23, 724-732.
- 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.
- Nickell DC and Bromage NR. 1998. The effect of lipid level on variation of flesh pigmentation in rainbow trout(*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 161, 237-251.
- Rehulka J. 2000. Influence of astaxanthin on growth rate, condition, and some blood indices of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture* 190, 27-47.

- Segner H, Arend P, Poeppinghaussen KV and Schmidt H. 1989. The effect of feeding astaxanthin to *Oreochromis niloticus* and *Colisa labiosa* on the histology of the liver. *Aquaculture* 79, 381-390.
- Skrede G. 1987. Rapid analysis in food processing and food Control. In: Proceedings of the Fourth European Conference on Food Chemistry, 1-4.
- Tsushima M, Nemoto H and Matsuno T. 1999. The accumulation of pigments from paprika and other sources in the integument of gold fish *Carassius auratus*, *Fish Sci* 64, 656-657.
- Torrissen OJ. 1985. Pigmentation of salmonids: factors affecting carotenoid deposition in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture* 43, 133-143.
- Waagbo R, Hamre K, Bjerkaas E, Berge R, Wathne E, Lio O and Torstensen B. 2003. Cataract formation in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., smolt relative to dietary pro- and antioxidants and lipid level. *J Fish Dis* 26, 213-229.
- Wang YJ, Chien YH and Pan CH. 2006. Effects of dietary supplementation of carotenoids on survival; growth, pigmentation and antioxidant capacity of characins, *Hyphessobrycon callistus*. *Aquaculture* 261, 641-648.
- White DA, Moody AJ, Servata RD, Bowen J, Soutar C, Young AJ and Davies SJ. 2003. The degree of carotenoid esterification influences the absorption of astaxanthin in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquacult Nutr* 9, 247-251.
- Yuangsoi B, Jintataporn O, Areechon N and Tabthipwon P. 2011. The pigmentation effect of different carotenoids on fancy carp (*Cyprinus carpio*). *Aquacult Nutr* 17, e306-e316.