

사료 내 파프리카 함량에 따른 당년생 및 1년생 비단잉어 (*Cyprinus carpio* var. *koi*) 홍백 표피의 체색 변화

김이오 · 방인철¹ · 이상민^{2*}

충청북도내수면연구소, ¹순천향대학교 생명시스템학과, ²강릉원주대학교 해양생물공학과

Skin Pigmentation of 0-age and 1-age Red- and White-colored Fancy Carp *Cyprinus carpio* var. *koi* Fed Diets Containing Different Amounts of Paprika

Yi-Oh Kim, In Chul Bang¹ and Sang-Min Lee^{2*}

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

¹Department of Life Science and Biotechnology, Soonchunhyang University, Asan 336-745, Korea

²Department of Marine Bioscience and Technology, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 210-702, Korea

This study investigated the effect of dietary paprika on the skin coloration of red- and white-colored fancy carp *Cyprinus carpio* var. *koi*, in two age groups: 0-age (7.4±0.1 g/fish) and 1-age (164±2.9 g/fish). Three isonitrogenous diets were formulated to contain 0, 5, and 10% paprika (Con, P5 and P10, respectively). Three replicate groups of 0-age fish and two replicate groups of 1-age fish were fed one of the experimental diets for 9 weeks. Survival, weight gain, and feed efficiency were not significantly affected by the dietary paprika level ($P>0.05$) at both fish sizes. The dietary paprika level influenced the redness (a^*), lightness (L^*), and yellowness (b^*) of fish skin. The L^* value of the skin of the fish fed the P5 and P10 diets tended to decrease with feeding period. The skin a^* value of 0-age fish (small) fed the diets containing paprika increased significantly with feeding period and was higher than that of fish fed the control diet after 3 weeks ($P<0.05$). However, the a^* value of 1-age fish (large) fed the diets containing paprika tended to increase slightly with feeding period. At the end of the experiment, the skin total carotenoid level was increased significantly in fish of both sizes fed the P5 and P10 diets compared to fish fed the control diet. Therefore, 5% paprika powder in the diet increases the skin redness of red- and white-colored fancy carp, especially in small fish.

Key words: Red- and white-colored fancy carp, Paprika, Skin coloration, Feeding period, Fish size

서 론

세계적으로 관상어 산업은 40-150억 달러의 가치를 가지고 있으며, 관상어류의 종류도 700여종에 달한다(Gouveia and Rema, 2005). 관상어류들 중에서도 비단잉어는 아름다운 체색과 우아한 자태를 지니고 있어 세계적으로 시장의 규모가 클 뿐만 아니라 비단잉어를 사육하는 동호회원도 많다. 우리나라에서도 충북 진천에 관상어 단지가 운영되고 있는 등 비단잉어 사육에 대한 관심이 높아지고 있다. 비단잉어를 사육할 때 나타나는 문제점 중에 사육기간이 경과함에 따라 어류 표피의 붉은 색이 점점 멀어지는 것이 지적되고 있는데, 이는 비단잉어의 상

품가치를 저하시키는 주요한 요인이기도 하다(Yuangsoi et al., 2011). 이러한 현상은 다른 어류들과 마찬가지로 비단잉어도 체내에서 carotenoid를 생합성할 수 없기 때문이며, carotenoid를 체내에 축적하기 위해서는 먹이를 통해 외부로부터 공급받아야 한다(Guillaume et al., 2001; Hancz t al., 2003). 따라서 비단잉어를 사육할 때 공급되는 먹이에 다양한 종류의 색소 원료들을 첨가하여 체색을 개선시켜 어류의 상품가치를 높이려는 연구가 수행되고 있다(Kim and Lee, 2012).

어류의 색택은 어류의 크기, 나이, 성적 성숙, 사료의 조성, 사료의 공급 기간, 사료의 색소 종류 및 농도 등 여러 가지 요인에 영향을 받는 것으로 보고되고 있다(Torrissen et al., 1989;

Article history;

Received 23 April 2013; Revised 12 June 2013; Accepted 1 August 2013

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

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

Kor J Fish Aquat Sci 46(4) 365-370, August 2013

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0365>

pISSN:0374-8111, eISSN:2287-8815

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

Storebakken and No, 1992). 현재 비단잉어의 체색을 개선시키기 위한 carotenoid 원료로는, β -carotene, astaxanthin, canthaxanthin, *Dunaliella*, *Spirulina*, krill, paprika와 crustacean meals 등이 사용되고 있다(Hancz et al., 2003). 이 중에서 비단잉어용 사료에 많이 사용되는 carotenoid는 astaxanthin이나 canthaxanthin 등이 있으며, 천연색소원료는 *Spirulina*, paprika와 *Chlorella* 등이 있다. 이러한 사료의 색소원료 후보들 중에서 paprika는 합성 색소제나 다른 천연 색소제보다 비교적 가격이 저렴하고 carotenoid 함량이 높아서 비단잉어의 체색 개선에 효과적이라고 보고된 바 있다(Hancz et al., 2003; Kim and Lee, 2012).

기존의 색소관련 사육실험들은 대부분 단일 크기의 어린 어류를 대상으로 연구되었으며, 어체 크기와 사육 기간별로 어류 표피의 체색 변화를 관찰한 연구는 매우 제한적이다. 경험적으로 보면, 어체 크기가 작을수록 체색 변화가 쉽게 나타나는 것을 알 수 있었고, 치어기에 변화된 체색을 성장하여도 그 색을 계속 유지하는 어종도 관찰되었는데, 이에 대한 과학적 접근은 제한적인 실정이다. 따라서 어체 크기와 사육 기간별로 사료 내의 색소 농도에 따른 체색 변화를 조사하는 연구가 필요하다. 그래서, 본 연구는 paprika 함량을 달리한 배합사료를 공급하면서 사육 기간별로 어체 크기가 다른 비단잉어 홍백의 표피 체색 변화를 조사하였다.

재료 및 방법

실험사료

Table 1에 표시한 바와 같이 단백질 함량 37%, 지질 함량 8% 전후가 되도록 실험 사료를 설계하였다. 색소 원료로 paprika를 첨가하지 않은 대조 사료(Con), paprika 분말 5% (P5)와 10% (P10)를 첨가한 3종류의 실험사료를 설계하였다. 실험사료는 비단잉어홍백의 크기에 따라 pellet 입자를 달리하여 제조하였다. 실험사료는 모든 원료를 잘 혼합한 후, 원료 100 g당 증류수 40 g을 첨가하여 초파로 압출 성형하였으며, 제조한 실험사료를 냉동 보관하면서 공급하였다.

실험어 및 사육관리

실험어로는 충청북도 내수면연구소에서 종묘생산되어 양성한 비단잉어홍백을 사용하였으며, 잉어 육성용 시판사료를 공급하면서 예비 사육하였다. 당해년도 생산된 치어(7.4±0.1 g)와 전년도에 생산된 치어 중에서 색상이 양호한(상위 1%) 비단잉어홍백을 사육하여 1년어(164±2.9 g)로 각각 사용하였다. 실험 시작 2주 전에 실험조건에 순치된 비단잉어홍백을 선별하여 실험어로 사용하였으며, 당년어는 100 L 플라스틱 실험수조에 20마리씩 사료별 3반복으로 수용하였고, 1년어는 400 L 플라스틱 실험수조에 15마리씩 사료별 2반복으로 각각 수용하였다. 사육실험은 9주간 실시하였으며, 실험사료는 하루에 3

Table 1. Composition of the experimental diets used for improvement of skin color of red- and white-colored fancy carp *Cyprinus carpio* var. koi

	Diets		
	Con	P5	P10
<i>Ingredients (% of air-dry basis)</i>			
Fish meal	30	30	30
Wheat flour	34	24	34
Soybean meal	21	21	21
α -cellulose	10	5	0
Linseed oil	2	2	2
Soybean oil	2	2	2
Vitamin premix ¹	0.4	0.4	0.4
Mineral premix ²	0.5	0.5	0.5
Choline salt	0.1	0.1	0.1
Paprika powder ³	0	5	10
<i>Chemical analysis (% of dry matter basis)</i>			
Crude protein	37.1	36.2	37.8
Crude lipid	8.5	8.8	7.7
Ash	5.3	5.3	5.3
Total carotenoid (mg/kg)	0.7	41	73

¹ Vitamin premix 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.

² Mineral premix 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; CuCl, 0.2; AlCl₃ · 6H₂O, 0.15; KI, 0.15; Na₂Se₂O₃, 0.01; MnSO₄ · H₂O, 2; CoCl₂ · 6H₂O, 1.

³ Paprika (*Capsicum annuum* L.) powder made in Nafarm, Co., Korea.

회 반복으로 공급하였다. 사육장치는 순환 여과 방식을 사용하였으며, 각 실험수조에 2 L/min로 사육수를 흘려 주었고, 매일 전체 사육수의 약 20%를 환수하였으며, 사육수온은 24±1℃로 유지하였다.

일반성분 및 total carotenoid 분석

실험사료의 일반성분은 AOAC (1995) 방법에 따라 실시하였다. 조단백질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchib B-324/435/412, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지질은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105℃의 건조기에서 6시간 건조 후 측정하였다. 회분은 600℃의 회화로에서 4시간 동안 태운 후 측정하였다. 실험사료와 어류 표피의 total carotenoid 함량은 Kim and Lee (2012)이 사용했던 방법에 따라 분석하였다. 즉, 시료를 동결건조 후, 아세톤과 메탄올혼합액(1:1,v/v)으로 암소에서 3회에 걸쳐 조지질을 추출하였다. 추출액에 petroleum ether와 다량의 물로 분리하여 carotenoid를 petroleum ether로 전용시킨 후 무수 Na₂SO₄로 탈수시키고,

Table 2. Growth performance and feed efficiency of red- and white- colored fancy carp *Cyprinus carpio* var. koi fed diets containing different paprika levels for 9 weeks at different size ¹

Fish size	Diets	Survival (%)	Final mean weight (g)	Weight gain (%) ²	Feed efficiency (%) ³
Small	Con	98±1.7 ^{ns}	17.2±0.25 ^{ns}	129±5.5 ^{ns}	40.2±1.80 ^{ns}
	P5	100±0.0	16.0±0.43	117±5.6	36.9±1.85
	P10	100±0.0	15.7±0.28	112±3.2	35.8±1.10
Large	Con	97±3.3 ^{ns}	257±7.6 ^{ns}	55±0.5 ^{ns}	53.7±1.10 ^{ns}
	P5	97±3.3	247±6.9	55±10.1	54.9±7.60
	P10	100±0.0	255±20.7	55±0.4	56.8±4.35

¹Values are mean ± SE of replicate groups.

ns=not significant ($P > 0.05$).

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

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

40℃ 이하에서 감압 농축하고, petroleum ether로 100 mL정량하여 UV-spectrometer 사용하여 total carotenoid 함량을 계산하였다.

색도분석

표피의 색도분석을 위해 사육실험 시작시, 사육 3주, 6주 및 9주(종료)째 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. 실험어 등쪽 표피의 붉은색 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 유의성을 검정하였다.

결 과

사육실험 9주 후, 실험어의 생존율, 성장 및 사료효율은 모든 실험구에서 유의한 차이가 없었다(Table 2). 사육실험 기간과 어체 크기에 따른 실험어 표피의 붉은색 부위의 밝기(lightness) L^* 값을 Fig. 1(당년어)과 2(1년어)에 각각 나타내었다. 사육 기간이 경과함에 따라 paprika 첨가 사료들(P5, P10)을 섭취한 당년어의 L^* 값(Fig. 1)은 감소하는 경향을 보였으며, 사육 3주와 6주 후의 P5 및 P10 사료를 섭취한 당년어의 L^* 값은 대조구에 비해 유의하게 낮았다($P < 0.05$). 1년어의 L^* 값(Fig. 2)도 사육 기간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 보였으며, 특히 paprika 첨가 사료들(P5, P10)을 섭취한 1년어의 L^* 값이 대조구보다 더 감소하는 경향을 보여, 사육 6주 후에 P5 및 P10 사료를 섭취한 어류 표피의 L^* 값은 대조구에 비해 유의하게 낮았다($P < 0.05$).

사육 기간과 어체 크기에 따른 비단잉어홍백 표피의 붉은색 부

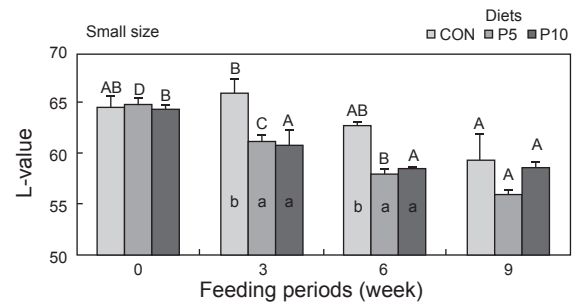


Fig. 1 . Skin lightness (L^*) of small size red- and white-colored fancy carp *Cyprinus carpio* var. koi fed the diets containing different paprika levels for 9 weeks. Values are mean±SE of three replications. Bars having different capital letters (A-D) are significantly different ($P < 0.05$) according to feeding periods at same diet. Bars bearing different small letters (a-b) are significantly different ($P < 0.05$) among diets at same feeding period.

위의 붉은색(redness) a^* 값을 Fig. 3과 4에 나타내었다. Paprika가 첨가된 배합사료들(P5, P10)을 섭취한 당년어의 a^* 값(Fig. 3)은 사육기간이 경과함에 따라 유의하게($P < 0.05$) 계속 증가하는 경향을 보였으며, 사육 3주 후부터 paprika 첨가 실험구들의 당년어의 a^* 값은 대조구보다 유의하게 높은 결과를 나타내었으며($P < 0.05$), 사육 종료시 paprika 첨가구들의 a^* 값이 모두 11.0으로 대조구의 2.7보다 높았다. 사육기간이 동일할 때 사료의 paprika 첨가 사료들을 섭취한 실험어들 사이의 표피 a^* 값은 서로 차이는 없었다. Paprika가 첨가된 배합사료들(P5, P10)을 섭취한 1년어의 a^* 값(Fig. 4)도 사육기간이 경과함에 따라 증가하는 경향을 보였으며, P5 사료를 섭취한 실험어의 a^* 값은 사육 6주 후에 증가하였고, P10 사료를 섭취한 실험어의 a^* 값은 사육 3주 후부터 증가하는 경향을 보였다($P < 0.05$).

사육 기간과 어체 크기에 따른 실험어 표피의 붉은색 부위의 노랑색(yellowness) b^* 값을 Fig. 5와 6에 나타내었다. Paprika가 첨가되지 않은 대조사료를 섭취한 당년어의 b^* 값(Fig. 5)은 사육 3주 후부터 감소하는 경향을 보인($P < 0.05$) 반면에, paprika가 첨가된 배합사료들(P5, P10)을 섭취한 실험어의 b^* 값은

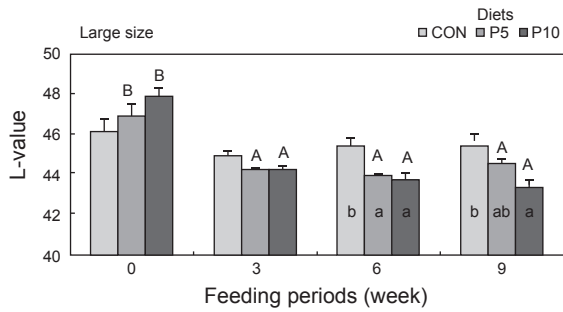


Fig. 2. Skin lightness (L^*) of large size red- and white-colored fancy carp *Cyprinus carpio* var. koi fed the diets containing different paprika levels for 9 weeks. Values are mean±SE of two replications. Bars having different capital letters (A-B) are significantly different ($P<0.05$) according to feeding periods at same diet. Bars bearing different small letters (a-b) are significantly different ($P<0.05$) among diets at same feeding period.

사육 9주 후에는 증가하였다. 또한, 사육 3주 후부터 paprika가 첨가된 실험사료(P5, P10)를 섭취한 실험어 표피의 b^* 값은 대조구보다 유의하게($P<0.05$) 높은 값을 나타내었으며, 사육 9주 후에 P10사료를 섭취한 실험어 표피의 b^* 값은 대조구와 P5 실험구의 값보다 높았다($P<0.05$). 당년어와는 달리 1년어의 경우 (Fig. 6), 사육 9주 후에는 b^* 값이 대조구보다 낮아진 결과를 보였으며, 특히 P10 실험구의 b^* 값 28.3으로 대조구의 b^* 값 33.0보다 낮았다($P<0.05$).

실험 종료시 비단잉어홍백 표피의 total carotenoid 함량을 Fig. 7과 8에 나타내었다. 사육종료시 paprika 첨가 사료들(P5, P10)을 섭취한 당년어 및 1년어 각각에서의 total carotenoid 값이 대조구 값보다 유의하게 높았다($P<0.05$).

고찰

사료 중의 carotenoid 원료 종류 및 함량이 어류의 생존 및 성

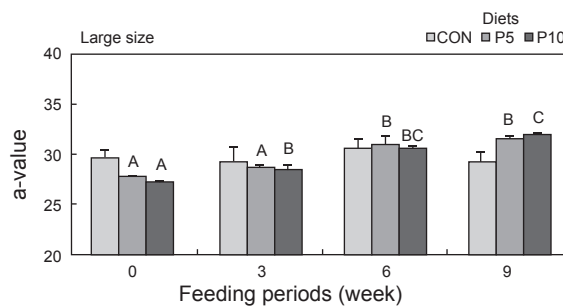


Fig. 4. Skin redness (a^*) of large size red- and white-colored fancy carp *Cyprinus carpio* var. koi fed the diets containing different paprika levels for 9 weeks. Values are mean±SE of two replications. Bars having different capital letters (A-C) are significantly different ($P<0.05$) according to feeding periods at same diet.

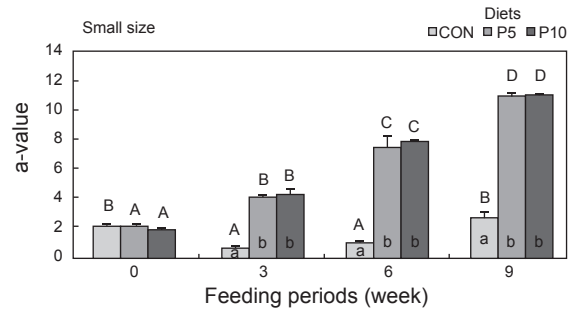


Fig. 3. Skin redness (a^*) of small size red- and white-colored fancy carp *Cyprinus carpio* var. koi fed the diets containing different paprika levels for 9 weeks. Values are mean±SE of three replications. Bars having different capital letters (A-D) are significantly different ($P<0.05$) according to feeding periods at same diet. Bars bearing different small letters (a-b) are significantly different ($P<0.05$) among diets at same feeding period.

장에 미치는 영향은 어종, 어류 크기와 사료 내 색소 첨가량 등에 의해 달라지는 것으로 보고되었다(Amar et al., 2001; Chien and Shiau, 2005; Segner et al., 1989; Rehulka, 2000; White et al., 2003; Kalinowski et al., 2005; Wang et al., 2006). 본 실험의 결과에서는 사료의 paprika 함량이 비단잉어홍백의 생존, 성장 및 사료효율에 영향을 미치지 않았다. 이는 본 실험의 조건에서 사료에 첨가된 paprika 함량이 비단잉어의 생존과 성장에 영향을 미치지 않는 정도의 수준이었기 때문으로 판단된다. 이와 같이 사료의 색소 첨가가 어류 성장과 생존에 영향을 미치지 않았다는 결과는 잉어 및 비단잉어를 대상으로 한 타 연구에서도 보고되고 있어(Nandeeshya et al., 1998; Gouveia et al., 2003; Hancz et al., 2003; Kim et al., 2008; Kim and Lee, 2012), 본 연구 결과와 유사하였다.

어류의 carotenoid 축적은 carotenoid 원료, 구조, 안정성, 색

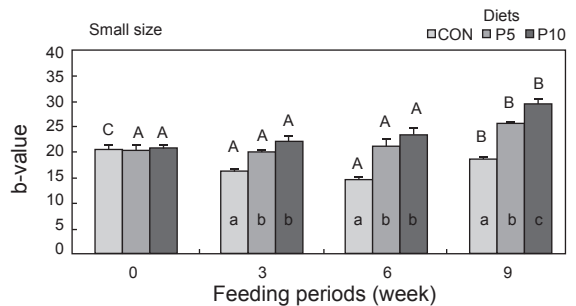


Fig. 5. Skin yellowness (b^*) of small size red- and white-colored fancy carp *Cyprinus carpio* var. koi fed the diets containing different paprika levels for 9 weeks. Values are mean±SE of three replications. Bars having different capital letters (A-C) are significantly different ($P<0.05$) according to feeding periods at same diet. Bars bearing different small letters (a-c) are significantly different ($P<0.05$) among diets at same feeding period.

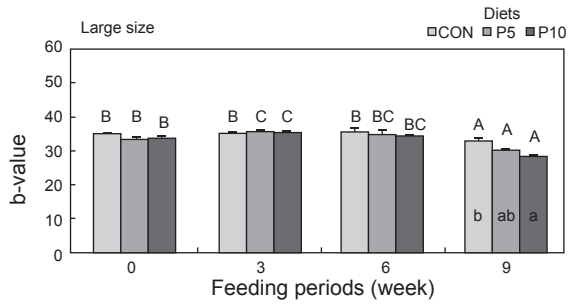


Fig. 6. Skin yellowness (b^*) of large size red- and white-colored fancy carp *Cyprinus carpio* var. koi fed the diets containing different paprika levels for 9 weeks. Values are mean±SE of two replications. Bars having different capital letters (A-C) are significantly different ($P<0.05$) according to feeding periods at same diet. Bars bearing different small letters (a-b) are significantly different ($P<0.05$) among diets at same feeding period.

소량, 사료 지질원 및 농도, 어체 크기 및 연령, 성성숙, 유전적인 요인 및 환경적인 요인에 영향을 받는다고 보고되고 있다.(Guillaume et al., 2001). 비단잉어홍백을 대상으로 한 여러 연구들에서, 표피의 적색도를 향상시키기 위해 carotenoid계 색소가 함유된 사료를 공급하였는데, 색소원료, 색소농도 및 어체 크기에 따라 표피의 적색도 개선 시기가 다르게 나타났다(Hancz et al., 2003, Kim et al., 2008, Kim and Lee, 2012). 색소원료 중astaxanthin과 canthaxanthin 50~100 ppm 첨가 실험에서는 4~8 주 사이에, 클로렐라와 스피룰리나 4~10% 첨가 실험은 6~8 주 사이에 적색도가 개선되었다고 하였다(Kim et al., 2008). 이와 같은 차이는 실험사료의 영양소 조성이나 어체 크기 등의 차이에 따라 carotenoid 흡수 및 축적효율이 달라졌기 때문으로 판단된다.

본 실험에서 실험사료 공급기간에 따라, 당년어는 사육 3주째부터 paprika 5-10% 첨가구들이 대조구보다 적색도가 유의하게 높아졌고, 1년어(164 g)를 대상으로 한 paprika 5% 첨가구에서는 사육 6주째부터 높아진 것으로 보아, 어체 크기가 클수

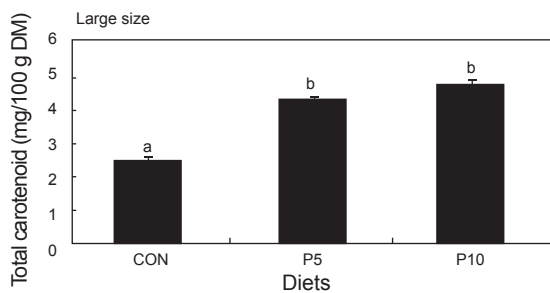


Fig. 8. Skin total carotenoid of large size red- and white-colored fancy carp *Cyprinus carpio* var. koi fed the diets containing different paprika levels for 9 weeks. Values are mean±SE of two replications. Bars having different letters (a-b) are significantly different ($P<0.05$).

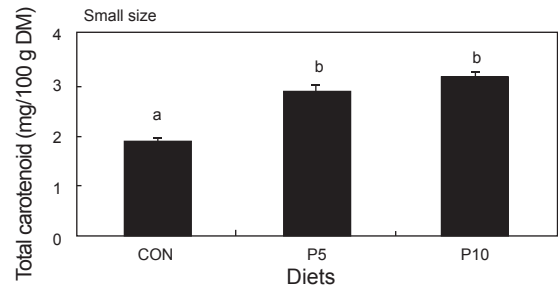


Fig. 7. Skin total carotenoid of small size red- and white-colored fancy carp fed *Cyprinus carpio* var. koi the diets containing different paprika levels for 9 weeks. Values are mean±SE of three replications. Bars having different letters (a-b) are significantly different ($P<0.05$).

록 표피의 적색도 개선 속도 폭이 상대적으로 낮은 것을 알 수 있다. 비단잉어홍백 치어(3.6 – 4.6 g)를 대상으로 한 paprika 첨가 실험에서 사료 공급 4주째부터 표피 적색도가 개선된 결과를 나타내었다(Kim and Lee, 2012). Hancz et al. (2003)은 paprika 6.4% 첨가 사료를 평균 69.1 g인 1년생 비단잉어홍백에 공급한 결과 사육 1개월까지는 적색도가 개선되지 않았고 2개월째에 개선되었다고 보고하였다. 이처럼 어체 크기가 클수록 적색도 개선 시점이 늦어지는 경향을 보이므로, 비단잉어홍백을 양식할 때 이를 고려하여 사료를 설계할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구의 paprika 첨가 실험구들(P5, P10)에서 사료공급 9주째에 당년생 비단잉어홍백의 표피의 노랑색도는 대조구에 비해 유의하게 증가하였다. 이는 이전의 여러 종류의 색소 원료를 첨가한 사료 공급 실험 결과에서 노랑색도가 증가하는 경향을 나타내어(Kim et al., 2008; Kim and Lee, 2012), 본 연구와 일치한 결과를 나타내었다. 그러나 1년어에서는 대조구에 비해 paprika 함량이 증가함에 따라 황색도가 유의하게 감소하는 결과를 나타내어 차이를 나타내었다. 이러한 차이에 대한 원인을 정확히 알 수는 없지만, 실험 전에 대상 어류가 섭취한 먹이의 종류나 사육 환경 등에 의한 차이 때문으로 해석 된다. 어류의 경우 사료에 함유된 carotenoid는 체내에서 산화, 환원되어 특정 carotenoid로 축적되는데, 본 실험도 색소원 첨가 사료를 섭취한 비단잉어의 표피 total carotenoid의 함량은 대조구에 비해 높게 나타나 다른 연구결과와 유사하였다(Gouveia et al., 2003; Kim and Lee., 2012).

이상의 결과로 보아, paprika 5% 첨가 사료를 비단잉어홍백 7.4 g의 당년생 치어에게 공급했을 때, 사육 3주째부터 적색도 개선이 가능하며, 164 g의 1년어에는 사육 6주째부터 적색도 개선이 가능한 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 해양수산부 수산실용화학기술개발사업(과제번호 11

0076-3)에 의해 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- 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, U.S.A.
- 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.
- Duncan DB. 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics* 11, 1-42.
- Gouveia L and Rema P. 2005. Effect of microalgal concentration and temperature on ornamental goldfish (*Carassius auratus*) skin pigmentation. *Aquacult Nutr* 11, 19-23.
- 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, 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 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 lipid and paprika levels on growth and skin pigmentation of red- and white-colored fancy carp *Cyprinus carpio* var. koi. *Kor J Fish Aquat Sci* 45, 337-342.
- 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.
- 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 *Colisala biosa* on the histology of the liver. *Aquaculture* 79, 381-390.
- Skrede G. 1987. Rapid analysis in food processing and food control. 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.
- Torrissen O, Hardy R and Shearer K. 1989. Pigmentation of salmonids - carotenoid deposition and metabolism. *Rev Aqua Sci* 1, 209-225.
- 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 Tabthipwong P. 2011. The pigmentation effect of different carotenoids on fancy carp (*Cyprinus carpio*). *Aquacult Nutr* 17, 306-316.