



사료내 paprika 및 *spirulina* 첨가가 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*) 표피 색택에 미치는 영향

김숙리, 이충열¹, 이상민^{1,*}
부산광역시 과학교육원, ¹강릉대학교 해양생명공학부

Effect of Dietary Supplementation of Paprika and *Spirulina* on Pigmentation of Swiri *Coreoleuciscus splendidus*

Suk-Ree Kim, Choong-Ryul Lee¹ and Sang-Min Lee^{1,*}

Busan Institute of Science Education, Busan 611-089, Korea

¹Faculty of Marine Bioscience & Technology, Kangnung National University, Gangneung 210-702, Korea

This study was conducted to evaluate the effect of dietary supplementation of paprika and *spirulina* as carotenoid sources with three different levels on survival and skin color development of swiri. Fish (initial mean weight 4.4 g) were fed the diets containing different levels of paprika (2, 5 and 10%), *spirulina* (5, 10 and 20%) and mixture of 5% paprika and 10% *spirulina* and without supplementation (con) for 9 weeks. Survival of fish fed diets containing the various levels of *spirulina* was 100% and higher than that of fish fed the other diets. Total carotenoid contents of the skin and fin in fish fed the diets containing the various levels of paprika and *spirulina* were higher than those in fish fed the control diet. Total carotenoid contents of skin and fin in fish fed the diets containing 5% and 10% paprika tended to be higher than that in fish fed the diet containing 2% paprika. Total carotenoid contents of fish fed the diets containing 10% and 20% *spirulina* tended to be higher than that of fed the diet containing 5% *spirulina*. The apparent color definition of skin and fin in fish fed the diets containing paprika and *spirulina* was better than fish fed the control diet. The results of this study suggest that dietary supplementation with paprika and *spirulina* can improve skin coloration of swiri.

Keywords: Pigmentation, Swiri *Coreoleuciscus splendidus*, Dietary carotenoid, Skin color

서 론

우리나라에서 사육되고 있는 관상어는 주로 동남아시아, 아프리카 및 남아메리카에서 수입되는 열대성 담수어종이며, 이들을 수입하는데 막대한 외화 낭비를 초래하고 있다. 또한, 수입되는 관상어는 국내 수질환경에 잘 적응하지 못하여 사육 중에 폐사하는 경우가 많으며, 고온의 사육수온을 유지시키기 위한 많은 에너지를 필요로 한다. 따라서 이러한 열대 관상어를 대체할 수 있는 관상어의 탐색 및 개발이 절실하다.

국내에 서식하는 담수어류 중에서 부가가치가 높은 종을 관상어로 개발할 경우, 사육관리가 편리할 뿐만 아니라 경제적 측면에서 열대어에 비해 유리할 것으로 판단된다. 국내의 강과 하천에 서식하는 담수어는 대략 200여 종으로 체색, 형태, 생활습성 및 산란습성 등이 특이한 어종이 많으며 최근 일부 관상어

애호가들에 의해 다양한 어류가 야생에서 채집되어 사육되는 경우가 있다. 이러한 어종 중에서, 잉어목 납자루아과 어류와 농어목 극락어과의 벼들붕어는 혼인색이 화려하고 산란습성이 특이한 어류로 인식되고 있다. Mori (1935)에 의해 기록된 잉어목 모래무지아과의 쉬리는 한국 특산종으로 서해와 남해로 유입되는 하천 중·상류의 저층에 무리를 지어 서식하는 어류로 표피 및 지느러미의 체색이 아름다운 관상어로 많이 사육되는 어종이다(Kim and Park, 2002).

어류의 표피와 지느러미의 체색에 영향을 주는 색소로는 carotenoids, melanin, flavine 및 purine 등이 있다. 이러한 색소 중 혼인색의 주된 물질은 carotenoids로 자연계에 널리 분포하는 색소의 일군으로서, 식물 및 미생물에 의해서만 합성되어지며 어류의 체색 발현을 위해 가장 많이 사용되고 있다. 그러나 어류를 포함한 대부분의 동물들은 carotenoids를 생합성할 수 없으므로 먹이를 통해 외부로부터 공급받아야만 한다(Guillaume et al., 2001). 대부분 식용으로 양식되는 어류의 상품성을 높이

*Corresponding author: smlee@kangnung.ac.kr

기 위해 carotenoids를 함유한 원료를 사료에 첨가하여 대상어의 근육 색을 개선하기 위한 목적으로 나일틸라피아(Boonyaratpalin and Unprasert, 1989), 연어류(Ha et al., 1997; Baker et al., 2002), 돌류(Booth et al., 2004; Kalinowski et al., 2005)를 대상으로 한 연구들이 보고된 바 있다. 또한, 국내 담수어인 잉어목 납자루아과 어류(Kim et al., 1999a; Kim et al., 1999b)를 대상으로 carotenoids 대사와 체색개선에 관한 연구가 보고되었다. 그러나 국내 담수어를 대상으로 사료내 색소원의 첨가량에 의한 체색개선 효과 및 생존율에 관한 보고는 없었다. 대상어종에 따라 색소원의 종류와 함량을 구명하여 사료에 첨가할 경우 고가인 색소원의 낭비를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 국내 담수 관상어의 체색개선에 큰 도움이 될 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 국내에 서식하는 담수어류 중 관상어로써 개발가치가 높은 한국특산어종인 쉬리를 대상으로 사료내 색소원으로서 paprika 및 spirulina 첨가와 원료 각각의 첨가량을 달리하여 쉬리 표피의 색택개선에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

실험사료

Table 1에 표시한 바와 같이 어분과 대두박을 사용하여 단백질 함량이 48%, 오징어 간유와 대두유를 사용하여 지질함량이 7% 전후가 되도록 실험사료를 설계하였다. 색소원을 첨가하지 않은 대조사료, paprika 첨가사료(2%, 5% 및 10%), spirulina 첨가사료(5%, 10% 및 20%) 및 paprika (5%)와 spirulina (10%)

를 혼합 첨가한 총 8개의 실험사료를 제조하였다. 실험사료는 모든 원료를 잘 혼합한 후, 원료 100 g당 물을 40 g 첨가하여 소형 초파로 압출 성형한 후 냉동(-25 °C) 보관하면서 공급하였다. 대조사료의 총 carotenoids 함량은 매우 낮게 나타났으며, 동일한 색소원을 첨가한 사료에서는 첨가 함량이 증가할수록 총 carotenoids 함량도 증가하였다.

실험어 및 사육관리

시판되는 쉬리를 구입하여 부산광역시 과학교육원의 사육장으로 운반하였다. 병원성 세균과 기생충의 발생을 예방하기 위해 3% 소금물로 약욕한 후, 실험수조에서 2주간 예비 사육하였다. 예비 사육기간 동안 대조사료를 1일 2회 공급하였다. 사육실험은 평균체중 4.4 g 전후의 실험어를 무작위로 선별하여 8개의 실험수조(60 × 40 × 40 cm 유리 사각 수조)에 각각 15 마리씩 수용한 후, 실험사료를 공급하며 9주간 실시하였다. 사료 공급은 1일 2회(10:00, 17:00) 반복으로 공급하였다. 사육수조내 배설물은 1일 1회(20% 환수) siphon하여 인위적으로 제거하였다. 사육수는 저면여과식으로 여과하여 주수하였고, 사육기간 중 수온은 자동 온도조절기를 사용하여 17±1 °C 내외로 조절하였다.

시료채취 및 일반성분 분석

최초 어체중은 실험에 사용된 어류 30마리를 무작위로 측정하였으며, 사육실험 종료시에는 각 실험수조에서 3마리를 무작위로 선별하여 시각적 평가를 위해 디지털카메라를 사용하여

Table 1. Ingredients and chemical composition of the experimental diets

	Diets							
	Con	P1	P2	P3	S1	S2	S3	P2+S2
Ingredients (%)								
White fish meal	41	41	41	43	38	33	23	32
Soybean meal	28	28	28	28	28	28	28	28
Wheat flour	19	18	17	10	18	18	18	15.4
Squid liver oil	2	2	2	2	2.2	2.5	3.3	2.6
Soya oil	2	2	2	2	2	2	2	2
Vitamin premix ¹	2	2	2	2	2	2	2	2
Mineral premix ²	3	3	3	3	3	3	3	3
Cellulose	3	2			1.8	1.5	0.7	
Paprika powder		2	5	10				5
Spirulina powder					5	10	20	10
Chemical analysis (% of dry matter basis)								
Crude protein	48.6	48.3	48.1	48.1	49.5	49.1	48.5	47.9
Crude lipid	7.2	7.2	7.2	7.3	7.2	7.1	7.2	7.1
Crude ash	12.5	12.5	12.4	12.7	11.9	11.1	9.4	10.9
Total carotenoids (mg/100g)	0.2	17.0	41.5	56.9	19.5	50.9	132.9	84.0

¹Vitamin 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.

²Mineral 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.

사진 촬영을 하였다. 또한, 총 carotenoids 분석을 위하여 생존한 모든 개체의 표피 및 지느러미를 채취하여 냉동보관(-75 °C) 하였다. 실험사료의 일반성분은 AOAC (1990)의 방법에 따라 조단백질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland; Metrohm 8.719/806, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지질은 ether 추출법, 수분은 105 °C의 dry oven에서 6시간 건조 후 측정하였다. 조회분은 550 °C의 회화로에서 4시간 동안 회화 후 측정하였다.

Carotenoids 분석

총 carotenoids의 분석은 Kim et al., (2003)이 사용한 방법을 이용하였으며, 냉동 보관된 시료를 동결건조하여 사용하였다. 표피 및 지느러미의 총 carotenoids는 추출액(MeOH:EtOAc:Petroleum ether = 1:1:1 v/v/v)을 사용하여 60분간 sonication하여 추출하였으며, carotenoids와 추출액 혼합액을 감압 농축한 후, diethyl ether로 resuspension 시켰다. 이후 3 ml의 saturated KOH solution을 이용하여 약 16시간 동안 saponification 시킨 후, diethyl ether와 다량의 물로써 분리 조작하여 carotenoids를 diethyl ether로 전용시킨 후, diethyl ether 층을 무수황산나트륨(Na₂SO₄)으로 탈수시키고, 40 °C 이하에서 감압 농축하였다. 3 ml의 MeOH:Methyl tert-Butyl Ether (1:1 v/v)로 검화하여 UV-spectrometer 시료로 사용하였다. 총 carotenoids의 정량은 450 nm에서 흡광도를 측정 한 후, 표준검정식에 대입하여 계산하였다. 표준검정식(standard curve)은 astaxanthin (Extrasynthese, France) 10 mg을 200 ml의 MeOH:Chloroform (1:1 v/v) 혼합액으로 용해하여 MeOH 용액으로 희석을 하여 각 농도별로 측정 하였다.

결과 및 고찰

9주간 사육 실험 후, 쉬리의 생존율(Fig. 1)은 spirulina가 첨가된 모든 실험구인 S1, S2, S3 및 P2+S2에서 100%로 대조구(80%) 및 paprika 첨가구(73~93%)보다 높게 나타났다. 또한, paprika 첨가구에 있어서 사료내 paprika 첨가함량이 2%, 5% 및 10%로 증가함에 따라 생존율은 각각 93%, 80% 및 73%로 낮아지는 결과를 얻었다. 이와 같이 paprika 첨가구의 생존율이

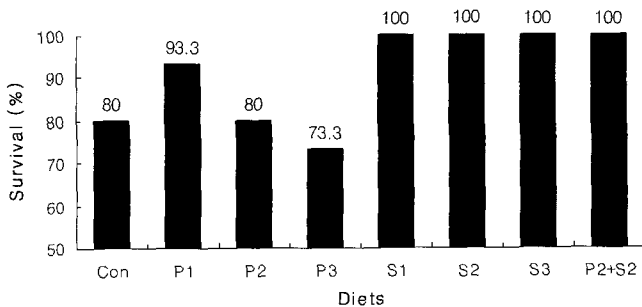


Fig. 1. Survival of swiri fed the experimental diets for 9 weeks.

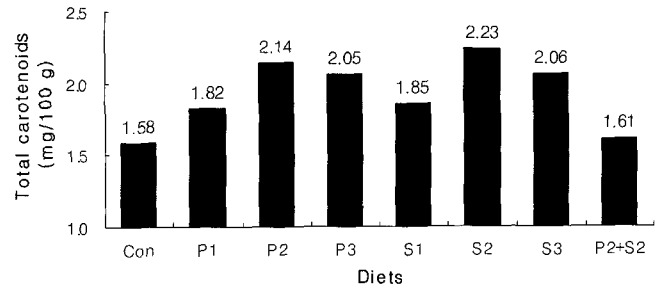


Fig. 2. Total carotenoids in the integument of swiri after feeding the experimental diets for 9 weeks.

낮아지는 원인을 정확히 규명 할 수는 없지만, paprika와 spirulina의 영양소 함유량 및 소화율에 따른 차이일 가능성을 배제할 수 없다. Spirulina는 남조류에 속하는 식물플랑크톤으로 단백질함량이 매우 높고, 비타민, 미네랄 및 필수 지방산인 γ -linolenic acid를 함유하며 얇은 peptidoglycan으로 세포벽이 구성되어 있어 소화율이 비교적 좋은 것으로 생각된다(Becker and Venkataraman., 1984; Ra, 1991; Mühling and Harris, 2003). Paprika의 경우 capsanthin 및 capsorubin과 같은 carotenoid계 색소를 다량 함유하고 있으나 세포벽이 cellulose로 구성되어 있어 소화율이 상대적으로 낮을 것으로 판단된다(Park et al., 2005).

실험종료 후의 쉬리 표피 및 지느러미의 총 carotenoids 함량(Fig. 2)은 색소원이 첨가되지 않은 대조구에서 1.58 mg/100 g으로 가장 낮았으며, spirulina 10% 첨가구인 S2 실험구에서 2.23 mg/100 g으로 가장 높았다. Paprika 및 spirulina 첨가 함량에 따라서는 paprika 5%와 spirulina 10% 첨가구 이상에서의 쉬리 표피 및 지느러미의 총 carotenoids 함량은 더 이상 증가하지 않았다. Paprika와 spirulina가 혼합되어 첨가된 실험구인 P2+S2는 1.61 mg/100 g으로 paprika와 spirulina가 각각 첨가된 P2 (2.14 mg/100 g) 및 S2 (2.23 mg/100 g)보다 낮은 총 carotenoids 함량을 보였다.

Choubert and Storebakken (1989)은 무지개 송어를 대상으로 한 연구에서 사료내 carotenoids 함량이 증가함에 따라 체내 축적량이 증가하나 일정기간이 지남에 따라 증가폭은 낮아지는 것으로 보고하였다. Ha et al. (1997)은 무지개송어와 산천어의 표피에서 canthaxanthin 첨가 사료가, 뱀장어의 경우 lutein 첨가 사료가 색택개선 효과가 있다고 보고하였다. 또한, 해산어의 경우 농어의 표피에서는 astaxanthin monoester를 첨가한 경우, 우럭에는 lutein을 첨가한 경우에 색택개선 효과가 있다고 보고되었다. Kalinowski et al. (2005)은 참돔 표피의 색택개선에 색소원으로 사용한 shrimp meal 내의 astaxanthin이 효과가 있다고 보고하였다. 또한, Kim et al. (1999b)은 갈납자루의 carotenoids 대사 연구에서 사료내 astaxanthin 첨가구가 carotenoids 축적 및 색택개선에 가장 효과가 좋았다고 보고하였다. 이러한 결과들로부터 어종과 사용된 사료 색소원의 종류에 따라 체색 발현이나 축적량이 달라짐을 알 수 있으며, 본 실험에서도 사용된

색소원 원료의 종류에 따라 쉬리 체내에 carotenoids 축적량이 달라짐을 확인하였다.

쉬리 표피의 총 carotenoids 함량이 P2 실험구가 P3보다, S2 실험구가 S3보다 높은 경향은 Choubert and Storebakken (1989)의 결과와 유사하였다. 또한, P2+S2 실험구가 P2 및 S2 각각의 실험구보다 낮은 총 carotenoids 함량을 보인 것은 체내 carotenoids 대사에 의해 축적 및 배설되는 것이 달랐기 때문으로 생각된다. 어류의 경우 사료에 의해 공급된 carotenoids는 체내에서 산화, 환원되어 특정 carotenoid로 축적된다. Kim et al. (1999b)은 칼납자루의 carotenoids 체내 대사에서 모든 실험구의 carotenoids가 zeaxanthin을 경유하여 zeaxanthin peroxide로 축적된다고 보고하였다. Katsuyama and Matsuno (1988)은 틸라피아에 공급한 canthaxanthin은 β -carotene으로, astaxanthin은 zeaxanthin으로 환원되며, 또한 Kang and Ha (1994)는 양식 농어에서 astaxanthin이 tunaxanthin으로 대사되는 경로를 보고하였다. 이러한 결과들을 검토하여 볼 때, 본 실험의 결과를 대사 생리적으로 해석하기 위해서는 쉬리의 carotenoids 대사경로를 밝히는 연구가 계속 수행되어야 할 것으로 판단된다.

사진 촬영 결과에서 대조구에 비하여 사료내 색소원인 paprika 및 spirulina를 첨가한 실험구의 쉬리 표피 및 지느러미의 색이 더 선명하게 변화한 것을 확인할 수 있었다(Fig. 3). 특히, paprika 첨가구인 P3에서 붉은색이 가장 선명하게 나타났으며, spirulina를 첨가한 실험구에서는 다른 실험구에 비해 체색이 녹색으로 변화한 것을 확인할 수 있었다. 이것은 spirulina에 다량으로 함유된 carotenoids 이외의 색소인 phycocyanin과 chlorophyll의 영향으로 녹색이 선명화된 것으로 판단된다(Ciferri, 1983). 본 실험에서 사육실험 기간과 사료 색소원 첨가 농도에 따라 체색

변화 속도가 다소 차이를 보이다가 어느 기간 이후에는 외견상으로 색의 선명도가 일정하게 유지되었다. Choubert and Storebakken (1989)도 사료내 색소원의 함량이 높은 경우 빠른 시일내에 carotenoids가 축적되어 체색이 변화되고 색소원 함량이 낮은 경우 서서히 축적되어 체색 변화가 서서히 이루어진다고 보고하였다. 이와 같이 사료내 색소의 농도에 따른 차이를 보이지만 사육기간이 장기화됨에 따라 어느 기간 이후 부터는 실험어의 체색이 서로 비슷하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 그러므로 사육 목적에 따라 사료내 색소의 농도를 적절히 조절할 필요가 있다. 예를 들면, 무지개송어, 틸라피아, 참돔 및 새우와 같은 양식어류에 있어서는 고가의 색소원을 지속적으로 공급할 경우 사료 단가가 높아져 경제적 측면에서 불합리할 것으로 판단되므로 판매 전 일정 기간 동안 carotenoids 색소를 다량 함유한 사료를 공급하여 체색을 개선시키는 것이 유리할 것으로 보인다. 또한, 아름다운 체색이 계속 유지되어야 하는 관상어의 경우, 체색을 유지할 수 있을 만큼의 색소 농도를 조사하여 사료에 첨가하는 것이 경제적인 것이다.

최근에 carotenoids의 생체 대사기능 중 면역개선에 관한 연구들이 발표되고 있다. Amar et al. (2004)은 무지개 송어를 대상으로 carotenoids를 다량 함유한 조류인 *Dunaliella salina*와 *Phaffia rhodozyma*를 사료내 첨가하여 공급한 결과 선천면역 개선효과가 있다고 보고하였으며, Waagbo et al. (2003)은 대서양 연어 사료내 astaxanthin을 첨가하였을 경우 백내장 발병률이 낮아짐을 보고 하였다. Tiger shrimp를 대상으로 Supamattaya et al. (2005)은 사료내 *Dunaliella* 추출물의 첨가함량이 증가함에 있어 white spot syndrome virus (WSSV) 및 stress에 대한 저항력이 증가하는 결과를 보고 하였으며, Chien et al. (2003)

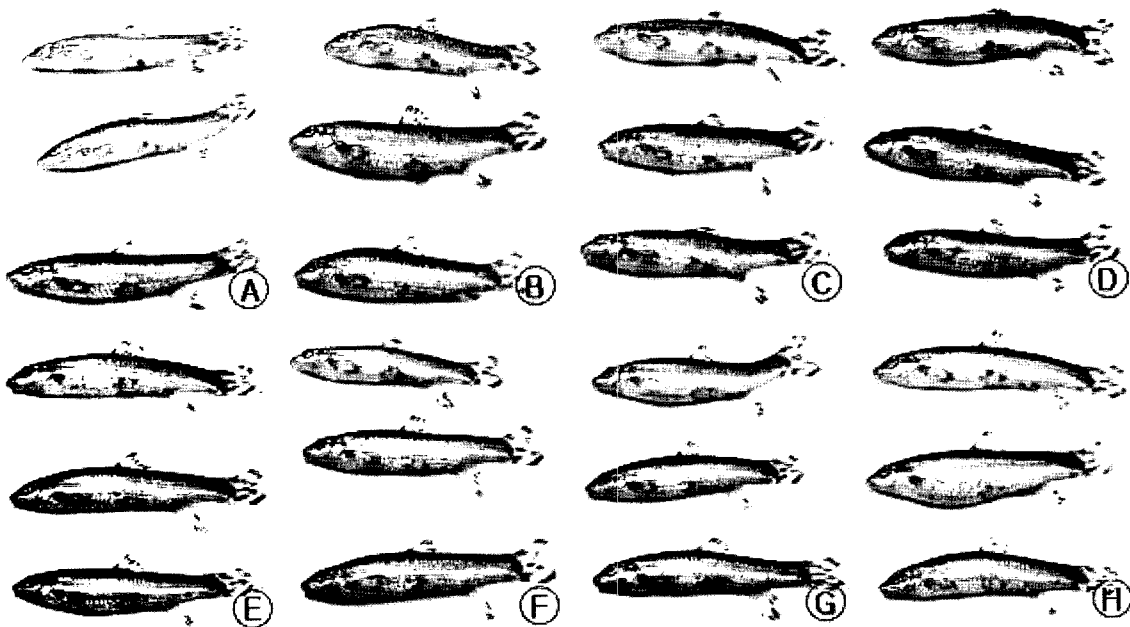


Fig. 3. Body color of swiri fed the experimental diets for 9 weeks. A: control, B: P1, C: P2, D: P3, E: S1, F: S2, G: S3, H: P2+S2.

은 사료내 astaxanthin 첨가가 수은 및 염도에 의한 stress에 대한 저항력 증강효과를 보고하였다. 또한, Hu et al. (2006)는 hybrid tilapia의 vitamin A 요구량 연구에서 β-carotene이 vitamin A로의 전환율을 보고하였다. 이와 같이 어류에 있어 carotenoids는 중요한 생리활성물질로 많은 기능을 가진다. 그러므로 carotenoids 다양한 기능을 감안하여 어류사육의 목적 및 어종간의 차이를 고려하여 적절한 첨가량에 관한 연구가 지속되어야 할 것이다.

쉬리를 대상으로 사료내 색소원과 함량에 따른 생존율과 색택개선에 관한 본 실험에서 생존율은 spirulina 첨가가 paprika 첨가보다 좋은 결과를 보였으며, 사료내 첨가함량은 paprika 5%, spirulina 10%가 좋을 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 쉬리(*Coreoleuciscus splendidus*)를 대상으로 사료내 색소원으로서 paprika 및 spirulina 첨가와 원료 각각의 첨가량을 달리하여 쉬리의 생존율과 색택개선에 미치는 영향을 조사하였다. 실험어는 평균체중 약 4.4 g인 쉬리를 사용하였으며, 총 8개(Control, P1, P2, P3, S1, S2, S3 및 P2+S2)의 실험 사료를 설계하였다. 사료 P1, P2 및 P3는 paprika를 각각 2%, 5% 및 10%를 첨가하였으며, 사료 S1, S2 및 S3는 spirulina를 각각 5%, 10% 및 20%를 첨가하여 제조하였다. 또한 P2+S2 사료는 paprika 5%와 spirulina 10%를 혼합하여 제조하였다. 실험종료 후, 쉬리의 생존율은 spirulina가 첨가된 모든 실험구인 S1, S2, S3 및 P2+S2에서 100%로 대조구(80%) 및 paprika 첨가구(73-93%)보다 높게 나타났다. 쉬리의 표피 및 지느러미의 총 carotenoids 함량은 색소원이 첨가되지 않은 대조구에서 1.58 mg/100 g으로 가장 낮았으며, spirulina 10% 첨가구인 S2 실험구에서 2.23 mg/100 g으로 가장 높았다. Paprika와 spirulina가 혼합되어 첨가된 실험구인 P2+S2는 1.61 mg/100 g으로 paprika와 spirulina가 각각 첨가된 P2 (2.14 mg/100 g) 및 S2 (2.23 mg/100 g)보다 낮은 총 carotenoids 함량을 보였다. 쉬리의 표피를 육안으로 관찰한 결과 색소원이 첨가된 모든 실험구에서 대조구에 비하여 체색이 더욱 선명화 됨을 관찰 할 수 있었다. 이상의 결과를 고려할 때, 쉬리의 사료내 paprika 첨가시 5%, spirulina 첨가시 10%가 쉬리의 색택개선에 좋을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI05-01-02) 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

Amar, E. C., V. Kiron, S. Satoh and T. Watanabe, 2004. Enhancement of innate immunity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Wal-

baum) associated with dietary intake of carotenoids from natural products. *Fish & Shellfish Immunology*, 16, 527-537.

AOAC, 1990. Official Methods of Analysis. 15th edition. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia. 1298 pp.

Becker, E. W. and L. V. Venkataraman, 1984. Production and utilization of the blue green alga *Spirulina* in India. *Biomass*, 4, 105-125.

Baker, R. T. M., A.-M. Pfeiffer, F.-J. Schoner and L.-S. Lemmon, 2002. Pigmenting efficacy in fresh-water reared Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Animal Feed Sci. Tech.*, 99, 97-106.

Boonyaratpalin, M. and N. Unprasert, 1989. Effects of pigments from different sources on colour changes and growth of red *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 79, 375-380.

Booth, M. A., R. J. Warner-Smith, G. L. Allan and B. D. Glencross, 2004. Effects of dietary astaxanthin source and light manipulation on the skin colour of Australian snapper *Pagrus auratus* (Bloch & Schneider, 1801). *Aquacult. Res.*, 35, 458-464.

Chien, Y.-H., C.-H. Pan and B. Hunter, 2003. The resistance to physical stresses by *Penaeus monodon* Juveniles fed diets supplemented with astaxanthin. *Aquaculture*, 216, 177-191.

Choubert, G. and T. Storebakken, 1989. Dose response to astaxanthin and canthaxanthin pigmentation of rainbow trout fed various dietary carotenoid concentrations. *Aquaculture*, 81, 69-77.

Ciferri, O., 1983. Spirulina, the edible microorganism. *Microbiol Rev.*, 47, 551-578.

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

Ha, B.-S., M.-J. Kweon, M.-Y. Park, S.-H. Baek, S.-Y. Kim, I.-O. Baek and S.-J. Kang, 1997. Comparison of dietary carotenoids metabolism and effects to improve the body color of cultured fresh-water fishes and marine fishes. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, 26, 270-284.

Hu, C.-J., S.-M. Chen, C.-H. Pan and C.-H. Huang, 2006. Effects of dietary vitamin A or β-carotene concentrations on growth of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. *Aquaculture*, 253, 602-607.

Kalinowski, C. T., L. E. Robaina, H. Fernandez-Palacios, D. Schuchardt and M. S. Izquierdo, 2005. Effect of different carotenoid sources and their dietary levels on red porgy (*Pagrus pagrus*) growth and skin colour. *Aquaculture*, 244, 223-231.

Kang, D.-S. and B.-S. Ha, 1994. Metabolism of dietary carotenoids and effects to intensify the body color of cultured sea bass. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 27, 272-281.

Katsuyama, M. and T. Matsuno, 1988. Carotenoid and vitamin A, and metabolism of carotenoids. astaxanthin, zeaxanthin lutein and tunaxanthin in tilapia *Tilapia nilotica*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 86B, 1-5.

Kim, H.-S., Y.-h. Kim, S.-H. Cho and J.-Y. Jo, 1999a. Effects of dietary carotenoids on the nuptial color of the Bitterling (*Rhodeus uyekii*). *J. Korean Fish. Soc.*, 32, 276-279.

Kim, H.-Y., S.-H. Baek, S.-Y. Kim, K.-I. Geong, M.-J. Kweon, J.-H. Kim and B.-S. Ha, 1999b. Metabolism of dietary carotenoids and effects to improve the body color of Oily Bitterling,

- Acheilognathus koreensis*. J. Korean soc. Food Sci. Nutr., 28, 1099–1106.
- Kim, I.-S and J.-Y. Park, 2002. Freshwater fishes of Korea. Published by Kyo-Hak Publishing Co., Seoul, Korea, pp. 61–406.
- Kim, J.-B., S.-H. Ha, J.-Y. Lee, H.-H. Kim, S.-H. Yoon and Y.-H. Kim, 2003. Biological activities and analysis of carotenoids in plants. Korean J. Crop Sci., 48(S), 72–78.
- Miihling, M. and N. Harris, 2003. Reversal of helix orientation in the cyanobacterium *Arthrospira*. J. Phycol., 39, 360–367.
- Mori, T., 1935. Studies on the geographical distribution of freshwater fish in Korea. Bull. Biogeogr. Soc. Jap., 7, 35–61.
- Park, J.-H., C.-S. Kim and S.-K. Noh, 2005. The effect of fresh paprika and paprika powder dried by far-infrared ray on inhibition of lipid oxidation in Lard Model System. Korean J. Food Cookery Sci., 21, 475–481.
- Ra, K., 1991. Microalgae as food and supplement. Crit Rev. Food Sci. Nutr., 30, 555–573.
- Supamattaya, K., S. Kiriratnikom, M. Boonyaratpalin and L. Borowitzka, 2005. Effect of a *Dunaliella* extract on growth performance, health condition, immune response and disease resistance in black tiger shrimp (*Penaeus monodon*). Aquaculture, 248, 207–216.
- Waagbo, R., K. Hamre, E. Bjerkas, R. Berge, E. Wathne, O. Lie and B. Torstensen, 2003. Cataract formation in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., smolt relative to dietary pro- and antioxidants and lipid level. J. Fish Diseases, 26, 213–229.

원고접수 : 2006년 7월 21일

수정본 수리 : 2006년 10월 22일