

사료내 색소원료 첨가가 버들붕어 *Macropodus chinensis* 및 피라미 *Zacco platypus* 표피의 색택에 미치는 영향

이충열, 이상민*
강릉대학교 해양생명공학부

Effect of Dietary Supplementation of Pigment Sources on Pigmentation of the Round Tailed Paradise Fish *Macropodus chinensis* and the Pale Chub *Zacco platypus*

Choong-Ryul Lee and Sang-Min Lee*

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

This study investigated the effect of supplement of the pigment source in diets on body color for round tailed paradise fish *Macropodus chinensis* and the pale chub *Zacco platypus*. Fish (the round tailed paradise fish: 1.6 g/fish, pale chub: 2.4 g/fish) were fed diets containing various pigment sources (*Porphyra* powder, *Spirulina* powder, yeast astaxanthin and paprika extract) twice a day for 6 weeks. Survival of all treatments was above 80%. Weight gain and total carotenoid contents of round tailed paradise fish fed the diet containing *Porphyra* powder was higher than that of fish fed the other diets. The apparent redness of skin and fin in round tailed paradise fish fed the diets containing paprika extract and yeast astaxanthin was better than that of fish fed the diets containing *Porphyra* powder, *Spirulina* powder and the control diet. Weight gain and total carotenoid contents of pale chub fed the diet containing paprika extract were higher than that of fish fed the containing *Porphyra* powder, yeast astaxanthin, *Spirulina* powder and the control diet. The apparent redness of skin and fin in pale chub fed the diets containing paprika extract and yeast astaxanthin was better than that of fish fed the diets containing *Porphyra* powder, *Spirulina* and the control diet. The results of this study suggest that dietary supplementation with paprika extract and yeast astaxanthin can improve redness of skin and fin of round tailed paradise fish and pale chub.

Keywords: Pigmentation, Round Tailed Paradise Fish, Pale Chub, Carotenoid, Dietary pigment source

서 론

최근에 관상어의 수요가 증가되면서 수입되는 관상어의 종류도 다양해지고 있다. 이러한 수입 관상어들은 비싸고, 열대성 어류가 대부분이기 때문에 국내 수질 환경에 맞지 않는 어종이 많다. 또한 국내에 서식하는 토종어류 중에는 수입되는 관상어와 비교하여 형태와 습성이 비슷한 어종이 많으나, 관상어로서의 개발이 제대로 이루어지지 않고 있다. 따라서 우리나라의 강과 하천에 서식하는 토종 담수어들을 보호 및 육성하여 관상어로 개발하기 위한 연구가 필요하다.

우리나라의 강과 하천에 서식하는 담수어 중에서 특히, 농어목 (과락어과)의 버들붕어와 잉어목 (과락어과)의 피라미는 혼인색이 화려하고 산란습성 및 생활습성이 특이한 어류로서 일부 관상어 애호가들에 의해 자연의 하천에서 채집하여 사육되는 어

류이다. 한국산 버들붕어 *Macropodus ocellatus*는 연못, 하천의 수초가 무성하고 물의 흐름이 거의 없는 장소에 주로 서식하며, 거품집을 이용하여 산란하는 특이한 산란습성과 화려한 색채로 관상어로 가치가 매우 높은 어종이다(Kim and Park, 2002). 버들붕어는 소형종으로 생활사가 짧고, 적절한 광주기와 수온조건을 유지한다면 짧은 산란주기로 연중 산란을 유도할 수 있고, 1회에 비교적 많이 산란하는 특징을 가지고 있다(Song and Choi, 2000). 피라미 *Zacco platypus*는 하천과 저수지에 서식하며, 환경 적응 능력이 뛰어나 실내에서도 쉽게 사육할 수 있다(Kim and Park, 2002). 버들붕어와 피라미는 혼인색이 아름답고 먹이 순치와 사육이 쉬워서 관상어로서의 개발 가능성이 크다. 그러나 아름다운 혼인색은 주로 산란기에만 발현되므로 체색발현을 지속시킬 수 있는 연구가 필요하다.

사료내 첨가되는 색소원료로 phytoplankton (Johnson et al., 1980; Gouveia et al., 2003), shrimp meal (Choubert and luquet,

*Corresponding author: smlee@kangnung.ac.kr

1983), red yeast (Boonyaratpalin et al., 2001) 및 인공적으로 제조된 astaxanthin과 canthaxanthin (Booth et al., 2004; Kalinowski et al., 2005)이 주로 사용된다. 그러나 이러한 색소원은 가격이 고가이며 수급이 불안정하여, 고부가가치 양식대상종의 근육이나 표피의 색택을 개선시키기 위해 주로 사용되었다 (Boonyaratpalin and Unprasert, 1989; Ha et al., 1997; Baker et al., 2002; Kalinowski et al., 2005).

국내에 서식하는 중·소형 담수어종을 관상어로 개발하고자 수행된 연구는 한국특산종인 쉬리(Kim et al., 2006)와 납자루아과 어류(Kim et al., 1999a; 1999b)를 대상으로 carotenoids 대사와 체색개선에 관한 연구가 보고 되었을 뿐 아직 미비한 실정이다. 그래서 본 연구는 국내의 담수어 중 버들붕어와 피라미를 관상어종으로 개발하기 위한 기초연구의 일환으로 *Porphyra* powder, yeast astaxanthin, paprika extract, *Spirulina* powder와 같은 carotenoids를 함유하고 있는 원료를 버들붕어와 피라미 사료에 첨가하여 성장률 및 체색개선 효과에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

실험사료

실험사료(Table 1)의 북양어분과 대두박을 사용하여 단백질

함량이 39%, 오징어 간유, 아마인유 및 대두유를 사용하여 지질 함량이 10% 전후가 되도록 설계하였다. 그리고 carotenoids가 버들붕어의 체색에 미치는 영향을 조사하기 위하여 carotenoids를 첨가하지 않은 대조사료(con)의 a-cellulose 대신 *Porphyra* powder 2% 첨가사료(PP), yeast astaxanthin 2% 첨가사료(YA), paprika extract 1% 첨가사료(PE), *Spirulina* powder 1% 첨가사료(SP)로 총 5종류의 실험사료를 제조하였다. 이러한 원료들을 잘 혼합한 후 100 g에 물을 40 g 첨가하여 소형 초파로 압출 성형한 후 냉동고(-25°C)에 보관하면서 공급하였다. 실험사료의 총 carotenoids 함량은 각각 0.42 mg/100 g (Con), 0.43 mg/100 g (PP), 1.00 mg/100 g (YA), 10.4 mg/100 g (PE), 0.66 mg/100 g (SP)로 paprika extract 첨가구에서 가장 높게 나타났다.

실험어 및 사육관리

실험어로 버들붕어와 피라미는 시중에서 판매되는 것을 구입하여 실험수조로 운반하여 2주간 예비 사육하였다. 예비 사육기간의 사료공급은 색소원이 첨가되지 않은 대조사료를 1일 2회 공급하였다. 실험어류의 평균체중은 버들붕어의 경우 1.6 g, 피라미는 2.4 g이었으며, 순환여과시스템의 실험수조(26×34×20 cm 플라스틱 사각수조)에 버들붕어와 피라미를 각각 15마리와 10마리를 임의 배치한 후, 6주간 실험사료를 공급하였다. 사육수온은 자동 온도조절기를 사용하여 평균 23°C 내외로 조절하였

Table 1. Ingredients and chemical composition of the experimental diets

Ingredients (%)	Diets				
	Con	PP	YA	PE	SP
White fish meal	35	35	35	35	35
Soybean meal	15	15	15	15	15
Wheat flour	34	34	34	34	34
Squid liver oil	2	2	2	2	2
Soybean oil	2	2	2	2	2
Linseed oil	2	2	2	2	2
Vitamin premix ¹	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Mineral premix ²	3	3	3	3	3
Carboxymethyl cellulose ³	3	3	3	3	3
α -Cellulose ⁴	2			1	1
<i>Porphyra</i> powder		2			
Yeast astaxanthin			2		
Paprika extract				1	
<i>Spirulina</i>					1
Choline salt ⁵	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Chemical composition (dry matter basis)					
Crude protein (%)	38.4	39.7	39.3	38.8	39.7
Crude lipid (%)	10.7	10.7	10.8	10.9	9.9
Ash (%)	8.9	9.7	9.1	8.9	9.3
Total carotenoid (mg/100 g)	0.42	0.43	1.00	10.04	0.66

¹Vitamin mix. contained the following diluted in cellulose (g/kg mix): ascorbic acid, 92.7; a-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; CuCl, 0.2; AlCl₃·6H₂O, 0.15; KI, 0.15; Na₂Se₂O₃, 0.01; MnSO₄·H₂O, 2; CoCl₂·6H₂O, 1.

^{3,4,5}Sigma Chemical, St. Louis, MO, USA.

으며, 사료공급은 1일 2회(10:00h, 17:00h) 반복으로 실험어가 섭취할 때까지 손으로 던져 공급하였다. 또한 사육수조내의 배설물은 2일 1회 siphon하여 인위적으로 제거하였다.

시료채취 및 일반 성분 분석

실험사료의 일반성분은 AOAC (1990)의 방법에 따라 조단 백질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Buchi B-324/435/412, Switzerland; Metrohm 8.719/806, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105°C의 dry oven에서 6시간 건조 후 측정하였다. 조회분은 550°C의 회화토에서 4시간 동안 회화 후 측정하였다.

Carotenoids 추출 및 분석

총 carotenoids의 분석을 위해서 버들붕어와 피라미의 표피 및 지느러미를 분리하여 동결건조한 후, acetone:methanol (1:1, v/v)의 혼합액으로 실온, 암소에서 3회 추출하였다. 추출액에 petroleum ether와 다량의 물로써 분리 조작하여 carotenoids를 petroleum ether로 전용시킨 후, petroleum ether 층을 무수 Na₂SO₄로 탈수시키고, 40°C 이하에서 감압 농축하여 petroleum ether로 100 mL 정량하여 UV-spectrometer 시료로 사용하였다. 흡광도는 Mcbeth (1972)의 방법에 따라 흡광계수 E_{1cm}^{1%}=2500으로 하여 다음 식에 의하여 계산하였다.

$$\text{mg}/100 \text{ g} = \frac{\text{O.D. } (\lambda_{\text{max}}) \text{ Vol} \times 1000}{E_{1\text{cm}}^{1\%} \times (2500) \times \text{Weight of tissue (g)} \times 100}$$

결과 및 고찰

6주간 사육 실험 후, 버들붕어와 피라미의 생존율 및 성장률을 Table 2에 나타냈다. 버들붕어의 생존율은 모든 실험구에서 80-100%로 나타났다. 성장률은 *Porphyra* powder, paprika extract, *Spirulina* powder, yeast astaxanthin 첨가구 순으로 나타났으며, control 사료를 공급한 실험구에서 가장 낮은 값을 보였다. 피라미의 경우, 생존율은 80-100%로 나타났다. 성장률은 *Spirulina* powder, paprika extract, control, yeast astaxanthin 및 *Porphyra* powder 첨가 사료를 공급한 순으로 낮아지는 결과를 보였다.

Table 2. Growth performance round tailed paradise fish and pale chub fed the dities contained carotenoids ingredient for 6 weeks

Diet	Round tailed paradise fish		Pale chub	
	Survival (%)	Weight gain (%)	Survival (%)	Weight gain (%)
Con	100	48.5	90	107
PP	80	66.3	90	86
YA	93	49.1	80	99
PE	100	62.4	100	127
SP	93	57.7	80	143

본 실험에서 생존율은 버들붕어와 피라미를 대상으로 수행된 실험의 모든 실험구에서 80% 이상으로 높은 결과를 보여 실험사료로 제조된 모든 사료가 두 어종의 생존율에는 대체적으로 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 성장률의 경우, 버들붕어를 대상으로 수행된 실험에서는 색소원을 첨가한 모든 실험구에서 색소원을 첨가하지 않은 대조구에 비해 높은 성장률을 보였다. 반면에 피라미를 대상으로 수행된 실험의 경우, paprika extract와 *Spirulina* powder를 첨가한 실험구의 성장률이 대조구에 비해 높은 값을 보였다. Kim et al. (2006)은 쉬리를 대상으로 paprika와 *Spirulina*를 사료 색소원으로 첨가에서 생존율은 *Spirulina*를 첨가한 실험구에서 100%로 paprika를 첨가한 실험구(73-93%)보다 높다고 보고하였다. 또한, 사료내 carotenoids 색소가 어류 및 갑각류의 생존율과 성장률을 향상시킨다고 보고(Torrissen, 1984; Christiansen et al., 1995; Amar et al., 2001; Chien and Shiau, 2005)들도 있다.

사육실험 종료시 버들붕어와 피라미 표피 및 지느러미의 총 carotenoids 함량과 체색 변화를 각각 Table 3과 Figs. 1-2에 나타내었다. 버들붕어의 총 carotenoids의 함량은 색소원이 첨가되지 않은 대조구에서 1.2 mg/100 g로 가장 낮은 값을 보였으며, 색소원이 첨가된 실험사료에서는 PP (35.0 mg/100 g), SP (23.2 mg/100 g), YA (19.0 mg/100 g), PE (10.9 mg/100 g) 사료를 공급한 순으로 나타났다. 반면에 표피 및 지느러미의 총 carotenoids 함량이 가장 높은 PP 실험구에 비하여 상대적으로 carotenoids 함량이 낮은 PE 및 YA 실험구에서 외관상으로 붉은색이 가장 선명하게 나타났다(Fig. 1). *Spirulina* powder를 첨가한 SP 실험구에서의 표피 및 지느러미는 붉은색 보다는 녹색으로 변화된 것을 확인할 수 있었다.

피라미의 총 carotenoids의 함량은 버들붕어의 경우와 달리 *Spirulina* powder를 첨가한 SP 실험구에서 29.4 mg/100 g로 가장 높게 나타났으며, 색소원이 첨가되지 않은 Con (11.3 mg/100 g) 실험구, 색소원이 첨가된 PP (11.2 mg/100 g), PE (11.2 mg/100 g), YA (10.1 mg/100 g) 실험구 순서로 나타났다. 외관상으로 버들붕어와 유사하게 PE 및 YA 실험구에서 피라미의 표피 및 지느러미에 붉은색이 가장 선명하게 나타났다(Fig. 2). 그러나 SP 실험구에서 있어서 버들붕어와는 다르게 녹색의 체색을 띄지 않고 붉게 나타났다. 이러한 결과로 어류의 표피 및 지느러미에 축적되는 총 carotenoids 함량과 체색의 변화는 어종과 사료에 첨가되는 색소원에 따라 달라짐을 추측할 수 있다. 또

Table 3. Total carotenoids content (mg/100 g) of skin and fin in round tailed paradise fish and pale chub after feeding the experimental diets for 6 weeks

	Diets				
	Con	PP	YA	PE	SP
Round tailed Paradise fish	1.2	35.0	19.0	10.9	23.2
Pale chub	11.3	11.2	10.1	11.2	29.4

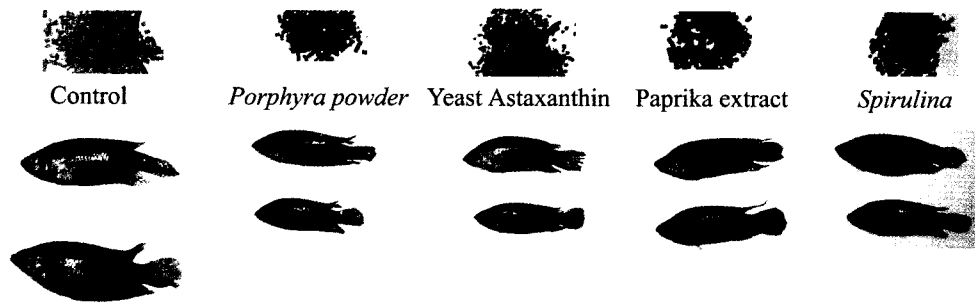


Fig 1. Body color of round tailed paradise fish fed the experimental diets for 6 weeks.

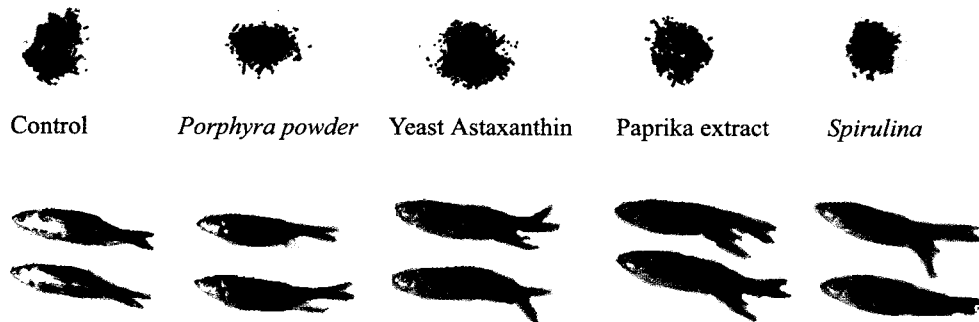


Fig 2. Body color of pale chub fed the experimental diets for 6 weeks.

한 많은 carotenoids 성분 중 일부 특정한 carotenoid 성분만이 체색 발현에 영향을 미치는 것을 추측할 수 있다.

Kim et al. (2006)은 쉬리를 대상으로 연구한 결과, 색소원이 첨가되지 않은 사료를 섭취한 실험구의 총 carotenoids 함량이 색소원으로 paprika와 Spirulina가 첨가된 사료를 섭취한 어류보다 낮다고 보고하여, 본 실험의 버들붕어와 유사한 결과를 보였다. 또한 체색개선 효과에 있어서 동일한 첨가함량의 경우 paprika를 첨가한 실험구에서 Spirulina를 첨가한 실험구보다 표피의 붉은 색이 더 선명하다고 보고하여, 본 실험과 유사한 경향을 보였다. 그리고 Kim et al. (2006)은 Spirulina를 공급한 실험구에서 붉은색의 색택개선 효과보다는 phycocyanin과 chlorophyll의 영향으로 녹색의 체색변화를 보였다고 보고하였다. 본 실험 중 피라미를 대상으로 실험한 경우 Spirulina powder를 첨가한 사료를 공급한 실험구에서는 녹색의 체색변화가 뚜렷이 관찰되지 않았으나, 버들붕어를 대상으로 수행된 실험에서는 녹색의 체색변화가 뚜렷하게 나타나 Kim et al. (2006)의 결과와 유사하였다. 그리고 버들붕어를 대상으로 수행된 본 실험의 경우 Porphyra powder를 첨가한 실험구에서 가장 높은 총 carotenoids 함량이 보였으나 체색개선 효과가 거의 없게 나타난 결과는 Porphyra powder에 포함 되어 있는 carotenoids 성분은 버들붕어에 있어서 체색개선에 영향을 미치지 않음을 암시한다. 기존의 연구에서도 다양한 결과들이 발표되었는데, 연어과 어류에 있어서 canthaxanthin을 첨가한 사료, 뱀장어 및 우럭의 경우 lutein을 첨가한 사료, 농어의 경우 astaxanthin

를 첨가한 사료를 공급할 때 체색개선 효과가 있다고 보고되었다(Ha et al., 1997; Choubert and Storbakken, 1989). 또한 참돔 표피의 체색개선을 위한 색소원으로 Kalinowski et al. (2005)은 shrimp의 astaxanthin이 효과가 있다고 보고하였다. 이처럼 사료에 첨가되는 색소원료와 특정 carotenoid의 축적 함량이 어류의 체색 변화에 영향을 미치므로, 대상어종별로 체색을 개선시킬 수 있는 carotenoids 색소원을 구명하는 연구가 계속 되어야 할 것이다.

요 약

우리나라 고유 어종인 버들붕어 (*Macropodus chinensis*)와 피라미(*Zacco platypus*)를 대상으로 다양한 색소원을 사료에 첨가하여 성장률과 체색개선 효과에 관해 조사하였다. 색소원으로 Porphyra powder, Yeast astaxanthin, paprika extract, Spirulina powder를 사료에 첨가하여 실험사료를 제조하였다. 버들붕어의 경우, 생존율은 모든 실험구에 있어서 80%이상이었으며, 성장률은 Porphyra powder 첨가구에서 가장 높게 나타났다. 피라미의 경우, 생존율은 모든 실험구에서 80%이상이며 성장률은 Spirulina powder 첨가구에서 가장 높았다. 색소원 첨가가 체색에 미치는 영향을 조사한 결과, 버들붕어 표피와 지느러미의 총 carotenoids 함량은 색소원 무첨가구에 비해 색소원을 첨가한 모든 실험구에서 높게 나타났으며, 특히 Porphyra powder 첨가구와 Spirulina powder 첨가구에서 높은 값을 보였

다. 피라미 표피와 지느러미의 총 carotenoids 함량은 *Spirulina powder* 첨가구에서만 높게 나타났으며, 대조구를 포함한 다른 첨가구에 있어서는 뚜렷한 차이가 없었다. 버들붕어 및 피라미 지느러미의 붉은색은 paprika extract와 yeast astaxanthin 첨가구가 다른 원료 첨가구들보다 외관상으로 더 선명하게 관찰되었다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 한국 Sea Grant 사업(중부 SG 사업단)의 연구비 지원에 의한 것이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Amar, E. C., V. Kiron, S. Satoh and T. Watanabe, 2001. Influence of various dietary synthetic carotenoids on bio-defence mechanisms in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aqua. Res.*, 32, 192–163.
- AOAC, 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia. 1298 pp.
- 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.
- Boonyaratpalin, M., S. Thongrod, K. Supanattaya, G. Britton and L.E. Schlipalius, 2001. Effects of β -carotene source, *Dunaliella salina*, and astaxanthin on pigmentation, growth, survival and health of *Penaeus monodon*. *Aqua. Res.*, 182–190.
- Booth, M. A., R. J. Warner-Smith, G. L. Allan and B. D. Glen-cross, 2004. Effects of dietary astaxanthin source and light manipulation on the skin colour of Australian snapper *Pagrus auratus* (Bloch & Schneider, 1801). *Aqua. Res.*, 35, 458–464.
- Chien, Y. H. and W. C. Shiau, 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, *Marsupenaeus japonicus* Bate. *J. Exp. Mar. Bio. Eco.*, 318, 201–211.
- Choubert, G. and T. Storbakken, 1989. Dose response to astaxanthin and canthaxanthin pigmentation of rainbow trout fed various carotenoids concentrations. *Aquaculture*, 81, 69–77.
- Choubert, G. and P. Luquet, 1983. Utilisation of shrimp meal for rainbow trout (*Salmo Gairdneri* Rich.) pigmentation. Influence of fat content of the diet. *Aquaculture*, 32, 19–26.
- Christiansen, R., O. Lie and O. J. Torrissen, 1995. Growth and survival of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., fed different dietary levels of astaxanthin. *Juveniles. Aqua. Nutr.*, 2, 189–198.
- Gouveia, L., P. Rema, O. Pereira and J. Empis, 2003. Colouring ornamental fish (*Cyprinus carpio* and *Carassius auratus*) with microalgal biomass. *Aqua. Nutr.*, 9, 123–129.
- 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. Kor. Soc. Food Sci. Nutr.*, 26, 270–284.
- Johnson, E. A. T. G. Villa and M. Lewis, 1980. *Phaffia rhodozyna* an an astaxanthin source in salmonids diets. *Aquaculture*, 20, 123–134.
- 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.
- 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. Kor. 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. Kor. 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. 180–181, 405–406.
- Kim, S.-R., C.-R. Lee and S.-M. Lee, 2006. Effect of dietary supplementation of paprika and *Spirulina* on pigmentation of swiri *Coreoleuciscus splendidus*. *J. Aquacult.*, 19, 261–266.
- McBeth, J. W., 1972. Carotenoid from nudibranchs. *Comp. Biochem. Physiol.*, 41B. 55–68.
- Song, H.-B. and S.-S. Choi, 2000. Reproductive ecology and early life history of paradise fish, *Macropodus chinensis* (Pisces, Belontiidae) in aquarium. *Kor. J. Limnol.* 33, 282–294.
- Torrissen, O. J., 1984. Pigmentation of salmonids: effect of carotenoids in eggs and start-feeding diet on survival and growth rate. *Aquaculture*, 43, 185–193.

원고접수 : 2008년 6월 13일

심사완료 : 2008년 11월 7일

수정본 수리 : 2008년 11월 10일