

사료에 첨가된 *Spirulina*, *Chlorella* 및 Astaxanthin이 비단잉어 체색에 미치는 영향

김이오* · 조재윤¹ · 오승용²

충청북도 내수면연구소, ¹부경대학교 양식학과, ²한국해양연구원

Effects of Dietary *Spirulina*, *Chlorella*, and Astaxanthin on the Body Color of Red- and White-colored Carp, *Cyprinus carpio*

Yi Oh KIM*, Jae-Yoon JO¹ and Sung-Yong OH²

Inland Fisheries Research Institute, Chungju 380-250, Korea

¹Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

²Marine Resources Research Department, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan, P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

We experimentally investigated effects of four concentrations (4, 6, 8, and 10%) each of dietary *Spirulina* and *Chlorella*, as well as four concentrations of dietary astaxanthin (40, 60, 80, and 100 ppm in Carophyll Pink), on the body color of red- and white-colored carp, *Cyprinus carpio*. The total carotenoid concentration in the skin tissue of the red parts of the carp fed dietary *Spirulina*, *Chlorella*, and astaxanthin increased up to the second week of the experiment but decreased thereafter. The redness value of the *Spirulina*- and *Chlorella*-treated fish decreased up to the sixth week of the experiment and increased thereafter. However, the redness value of the astaxanthin-treated fish consistently increased, beginning in the second week. Of the three agents tested, astaxanthin in Carophyll Pink was the most effective at enhancing the redness of both red- and white-colored carp. The redness value of the fish did not statistically differ among the various concentrations of astaxanthin. Therefore, dietary supplementation with 40 ppm astaxanthin would be the most economical method for enhancing the redness of red- and white-colored carp fingerlings.

Key words: Astaxanthin, *Chlorella*, Fancy carp, Red-colored carp, White-colored carp, *Spirulina*

서 론

어류의 표피와 지느러미의 체색에 영향을 주는 색소로는 carotenoid, melanin, flavine 및 purine 등이 있다. 이 중 carotenoid는 자연계에 널리 분포하는 색소로서, 식물 및 미생물에 의해서만 합성되어지며 어류의 체색 발현을 위해 가장 많이 사용되고 있다 (Kim et al., 2006). 어류의 체색은 섭취하는 carotenoid의 종류와 체내 대사 특이성에 의해서 결정되어진다. 그러나 어류의 carotenoid 대사 경로는 대부분 밝혀져 있지 않은 실정이다 (Ha et al., 1993). 그 중 비단잉어에 관련해서 zeaxanthin이 adonixanthin을 거쳐 astaxanthin으로 대사되나, lutein은 α -doradexanthin까지만 대사가 이루어진다는 보고가 있다 (Hata and Hata, 1975; 1976). 비단잉어도 다른 어류와 마찬가지로 체내에서 carotenoid를 합성할 수 없어 외부로부터 섭취해야 한다. 사료에 첨가하여 사용하는 인공 carotenoid로는 astaxanthin, canthaxanthin이 사용되고 있으며, 천연 carotenoid로는 *Phaffia rhodozyma*, *Agrobacterium aurantiacum*, *Chlorococcum* sp., *Haematococcus pluvialis*, *Chlorella zofingiensis*, *Chlorella vulgaris*, *Spirulina platensis* 등이 사용

되고 있다 (Gouveia et al., 2003). *Spirulina*의 주요 carotenoid 성분은 β -carotene, zeaxanthin 그리고 myxoxanthophyll이며, 그중 zeaxanthin은 비단잉어 홍백의 빨간색을 선명하게 하는데 효과적이라고 보고 된 바 있으며 (Matsuno et al., 1979), 비단잉어 홍백의 착색제로 많이 사용하고 있으며 zeaxanthin 외에 단백질, 필수아미노산, 비타민 및 미네랄이 풍부하고 (Nandeesha et al., 2001), 소화, 흡수가 잘 되어 어류에게 유용한 단백질원으로도 알려져 있다 (Becker and Venkataraman, 1984). *Chlorella*의 주요 carotenoid 조성은 α -carotene, β -carotene, neoxanthin, lutein, violaxanthin, antheraxanthin 그리고 zeaxanthin이며, equinenone, hydroxyequinenone, astaxanthin 그리고 canthaxanthin이 소량 첨가되어 있다 (Gouveia et al., 1996). *Chlorella*는 무지개송어 (*Oncorhynchus mykiss*)의 근육과 체색에 (Gouveia et al., 1998), 참돔 (*Pagrus major*)의 체색 (Gouveia et al., 2002) 및 그리고 금붕어와 비단잉어의 체색 (Gouveia et al., 2003; Gouveia and Rema, 2005)에 착색 효과가 있으며, 합성 착색제만큼 높은 효과가 있는 것으로 알려져 있다 (Wang et al., 2006). Astaxanthin은 게, 가재 껍질로부터 추출되는 carotenoid계 색소의 일종으로 비단잉어, 금붕어, 돌류, 연어, 송어, 새우 및 가재 등의 체색을 붉게 하는 물질

*Corresponding author: kimio25@hanmail.net

로 알려져 있다 (No and Storebakken, 1991; Tejera et al., 2007). Katayama et al. (1973)에 의하면 비단잉어에서는 zeaxanthin은 astaxanthin으로 산화되지만, β -carotene은 astaxanthin으로 산화되지 않고, astaxanthin을 먹이면 체내에 바로 저장된다고 하였다. 따라서 astaxanthin을 이용한 비단잉어와 금붕어의 착색 실험이 이루어지고 있다 (Gouveia et al., 2003). 또한 astaxanthin은 불안정 산소를 안정화하거나 활성산소를 제거하는 기능이 매우 좋다는 연구 결과도 보고되고 있다 (Winston et al., 2004). 따라서 본 실험에서는 현재 비단잉어 양식 어가에서 주로 이용하고 있는 중국산 *Spirulina* (SP)와 *Chlorella* (CH) 및 astaxanthin (AS)계통의 색소인 Carophyll Pink의 농도에 따른 착색 효과를 조사하고 이에 따른 경제성을 비교, 분석을 통해 비단잉어의 착색 효과를 높일 수 있는 기초자료를 수집하고자 하였다.

재료 및 방법

실험어 및 사육 관리

비단잉어 치어는 충청북도내수면연구소에서 종묘 생산된 치어를 사용하였으며, 실험 시작 2주 전에 수온 27°C에서 총 26개의 100 L 수조 (68×45×32 cm³)에 비단잉어 치어를 25마리씩 수용하여 시판 담수어 부상사료를 매일 3회 (09:00, 13:00 그리고 17:00) 반복 공급하면서 예비 사육하였으며, 실험 시작 시에 각각의 수조에서 예비 사육 중이던 총 650마리 중 크기가 균일한 개체 20마리씩 임의로 선발하여 체중을 측정하고 다시 실험 수조에 수용하였다. 대조구를 비롯하여 착색제 종류 및 농도별로 총 13개의 실험구를 2반복으로 사육 관리하였으며, 실험 사료는 매일 3회 (09:00, 13:00 그리고 17:00) 실험어가 먹을 때까지 손으로 사료를 던져 주며 8주간 사육하였다. 사육 장치는 반순환 여과 방식으로 한 개의 저수조와 26개의 실험 수조로 구성되었고 저수 수조에서 수중 펌프를 사용하여 각 100 L 실험 수조에 2 L/min의 비율로 물이 순환되도록 흘려주

었다. 각 실험구별 저수 수조 (2×1×0.8 m³)에는 하천수를 6.9 L/min의 비율로 공급하여 사육수를 매일 296% 환수하였으며, 각 실험 수조에 에어스톤을 설치해 에어레이션을 해 주었다. 실험 수온은 27°C를 유지하였으며, 평균 pH와 용존산소 농도는 각각 8.3 및 6.4 mg/L였다.

실험 사료 제작

실험 사료는 총 13가지로 제작하였다. 대조구 사료는 시판되는 담수어 부상 사료를 사용하였다. *Spirulina* (SP) 실험구는 대조구 사료에 중국산 *Spirulina*를 각각 4% (SP4), 6% (SP6), 8% (SP8) 및 10% (SP10)를 첨가하여 조제하였으며, *Chlorella* (CH) 실험구는 동물용 *Chlorella*를 각각 4% (CH4), 6% (CH6), 8% (CH8) 및 10% (CH10)를 첨가하여 실험사료로 사용하였다. Astaxanthin (AS) 실험구는 시판되고 있는 astaxanthin 제인 Carophyll Pink를 각각 400 ppm, 600 ppm, 800 ppm 및 1000 ppm을 첨가하여 사용하였다. 이 Carophyll Pink에는 astaxanthin이 10% 함유되어 있으므로 Carophyll Pink 실험구는 astaxanthin (AS) 농도로서 각각 40 ppm (AS40), 60 ppm (AS60), 80 ppm (AS80) 및 100 ppm (AS100)으로 표기하였다. Carophyll Pink는 찬물에서는 녹지 않으므로 60°C 이상의 뜨거운 물에 넣어 완전히 녹인 후에 사료에 첨가하였고, 각 실험 사료의 변질을 막기 위해 2주 간격으로 새로운 실험 사료를 제작하여 시간이 경과된 실험 사료와 교체하였다 (Table 1).

카로티노이드 분석

실험 사료 내 total carotenoid (TC) 함량 측정을 위해 동결 건조한 시료에 Macbeth (1972) 및 Hong et al. (1997)의 방법에 따라 acetone과 methanol을 1:1로 혼합한 용액 80 mL를 가하여 60분간 sonication하여 추출한 다음, 위의 용액을 추가하여 100 mL가 되도록 하였다. 그 용액 100 mL 중에서 50 mL에 취하여 7.5 g의 KOH를 가하여 충분히 비누화시킨 후 10% NaCl, 증류수 그리고 ether를 각각 50 mL씩 순차적으로 가하고

Table 1. Composition of the experimental diets used for improvement of body color in red- and white-colored carp. ¹Spirulina powder made in China, ²Chlorella powder, ³Astaxanthin powder

	Group												
	Control	SP4 ¹	SP6	SP8	SP10	CH4 ²	CH6	CH8	CH10	AS40 ³	AS60	AS80	AS100
Ingredients (g)													
White fish meal							50						
Wheat flour							20						
Squid liver oil							8						
Soybean oil							20						
Vitamin premix							1						
Mineral premix							0.6						
Vitamin C							0.25						
Vitamin E							0.15						
Sub-total							100						
Added amount of color agent		4	6	8	10	4	6	8	10	0.04	0.06	0.08	0.1
Total	100	104	106	108	110	104	106	108	110	100.04	100.06	100.08	100.1
Total carotenoid (mg/100 g)	2.3	14.9	23.3	29.8	36.9	21.1	36.0	46.3	58.5	43.0	63.3	78.8	106.5

충분히 혼합하여 색소 물질을 ethyl ether층으로 이행시켰다. 여기에 다시 증류수를 100 mL로 3회 반복하여 수세하고 Na₂SO₄로 탈수시킨 후 40°C 이하에서 감압 농축하여 UV-spectrophotometer로 447 nm에서 비색 정량하였다. 이 때 TC의 흡광계수 (coefficient) E (447 nm)인 2,080 (용매 : ether)을 사용하여 아래의 계산식으로 TC 함량을 계산하였다.

$$\text{Total carotenoid (mg/100 g)} = \frac{\text{O.D.} \times \text{Vol.} \times 103/2,080 \times \text{Weight of tissue (g)}}{\text{단, O.D.} = \text{optical density, Vol.} = \text{petroleum ether (10 mL)}}$$

비단잉어 홍백의 초기 및 실험 후의 표피 중 TC 함량 분석을 위해 예비 사육 후 각 실험구에 실험어를 20마리씩 수용한 후 남은 비단잉어 홍백 치어 총 130마리 중 50마리를 무작위로 추출하여 계측하였으며, 실험 시작 후에는 2주 간격으로 실험어를 전부 포획하여 전체 체중을 측정하고, 그 중 임의로 5마리씩 채집하여 무게, 색도 그리고 TC 함량을 측정 한 후 남은 실험어의 체중을 측정하여 다음 실험을 시작하였다. TC 함량 분석을 위해 임의 채집한 비단잉어 홍백 치어의 표피 중 빨간색을 띠는 부위와 지느러미를 채집하여 냉동보관 (-75°C)하였다. 냉동 보관된 시료는 동결 건조하여 무게를 측정 한 후 동결 건조한 시료에 Macbeth (1972) 및 Hong et al. (1997)의 방법에 따라 앞의 사료 분석과 동일하게 하였다.

색도 조사

색도 조사를 위해 TC 함량 측정을 위해 임의 채집한 비단잉어 홍백 치어의 빨간색 표피를 분석하기 전에 색차계를 이용하여 조사하였다. 홍백 비단잉어의 붉은색의 정도 (색도)는 Skrede (1987) 및 Gouveia et al. (2003)의 방법에 따라 등부위의 빨간색 표피를 색차계 (Chroma meter, Model No. CR-300, Minolta Camera Co., Japan)를 이용하여 백색도 (lightness, L), 적색도 (redness, a) 및 황색도 (yellowness, b)를 3반복 측정하였다.

통계 처리

결과의 통계 처리는 one way ANOVA-test를 실시하여, Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성 검증을 하였다. 각각의 실험 요소와 실험 요소 상호간의 영향은 two way ANOVA-test로 영향을 분석하였으며, 모든 통계 분석은 SPSS (SPSS Inc., 1997) program을 사용하여 검정하였다.

결 과

총카로티노이드 함량

8주간 사육 실험 동안 비단잉어 홍백 치어의 carotenoid 함량 변화를 Fig. 1에 나타내었다. Spirulina, Chlorella와 astaxanthin을 함량별로 공급한 비단잉어 치어의 total carotenoid 값을 비교한 결과, 2주째, 4주째 및 6주째에서는 실험구간에 유의차가 없었지만, 8주째의 경우 SP8 실험구가 SP6와 AS40 실험구

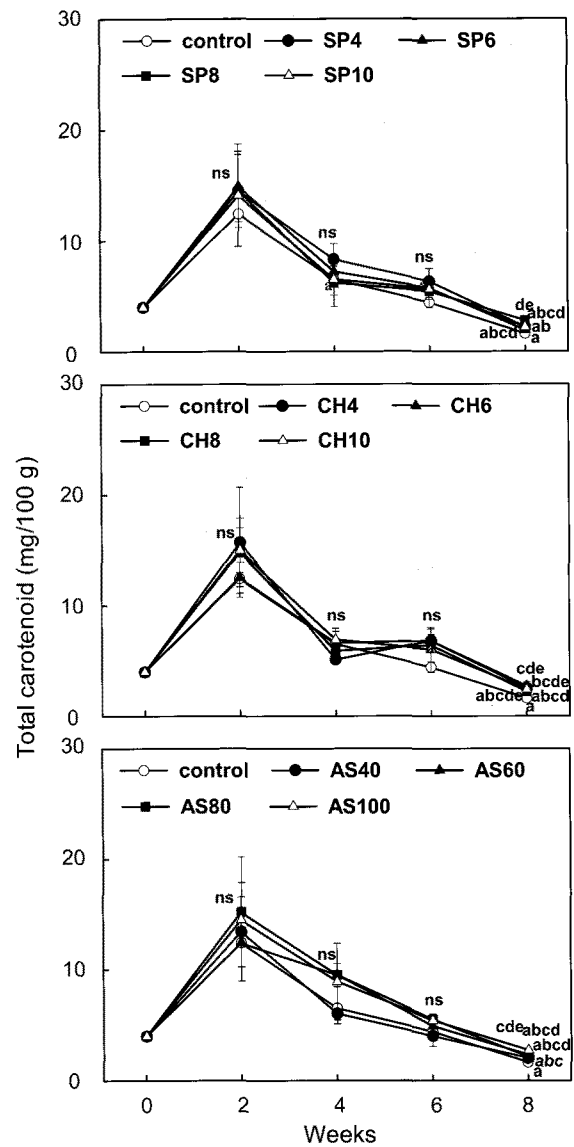


Fig. 1. Total carotenoid (TC) concentration of juvenile red and white-colored carp fed three different color agents, Spirulina (SP), Chlorella (CH) and astaxanthin (AS) with each of 4 different concentrations for 8 weeks. Values (mean±SE, n=10) with different letters in the same week are significantly different (p>0.05).

보다 유의하게 높았다 (p<0.05). 실험 8주째는 SP8와 CH4, CH6 및 AS100 실험구가 대조구보다 유의하게 (p<0.05) 높은 값을 보였다. 총카로티노이드 값은 4주째에는 착색제 종류, 그리고 8주째에는 착색제 종류 및 농도에 따른 상호작용의 영향을 받았다.

색 도

8주간의 사육 실험 기간 동안 비단잉어 홍백 치어의 색도 변화를 Fig. 2, 3 및 4에 나타내었다. Spirulina (SP) 첨가구의 L값은, 2주째의 경우 SP10 실험구가 대조구, SP6 그리고 SP8 실험구보다 유의하게 높았다 (p<0.05) (Fig. 2). 4주째의 경우

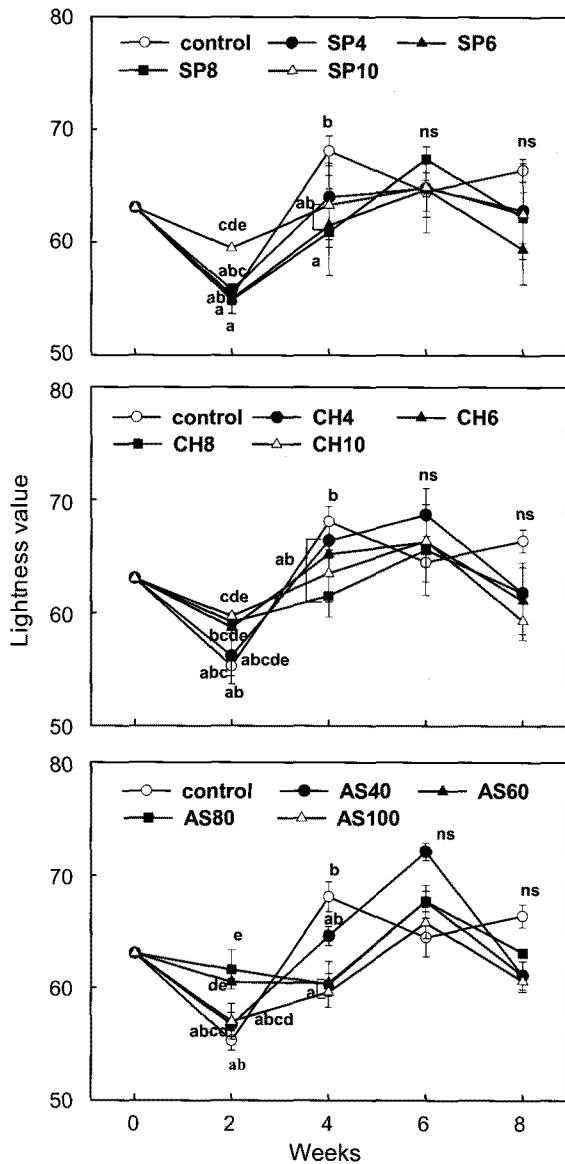


Fig. 2. Color parameters of lightness (L) value of juvenile red- and white-colored carp fed three different color agents, *Spirulina* (SP), *Chlorella* (CH) and astaxanthin (AS) with each of 4 different concentrations for 8 weeks. Values (mean±SE, n=10) with different letters in the same week are significantly different (p>0.05).

SP8 실험구만이 대조구보다 유의하게 낮은 값을 보였고, 6주째와 8주째에는 대조구와 모든 SP 실험구 사이에 차이가 없었다. *Chlorella* (CH) 첨가구의 L값은, 2주째의 경우 CH10 실험구가 대조구보다 유의하게 높았고, 4주째, 6주째 및 8주째에는 대조구와 모든 CH 실험구 사이에 차이가 없었다. Astaxanthin (AS) 첨가구의 L값은, 2주째의 경우 AS60과 AS80 실험구가 대조구보다 높았고, 4주째의 경우 AS60, AS80 및 AS100 실험구가 대조구보다 낮았지만, 6주째와 8주째에는 대조구와 모든 AS 실험구 사이에 차이가 없었다. 이상의 결과에서 L값은

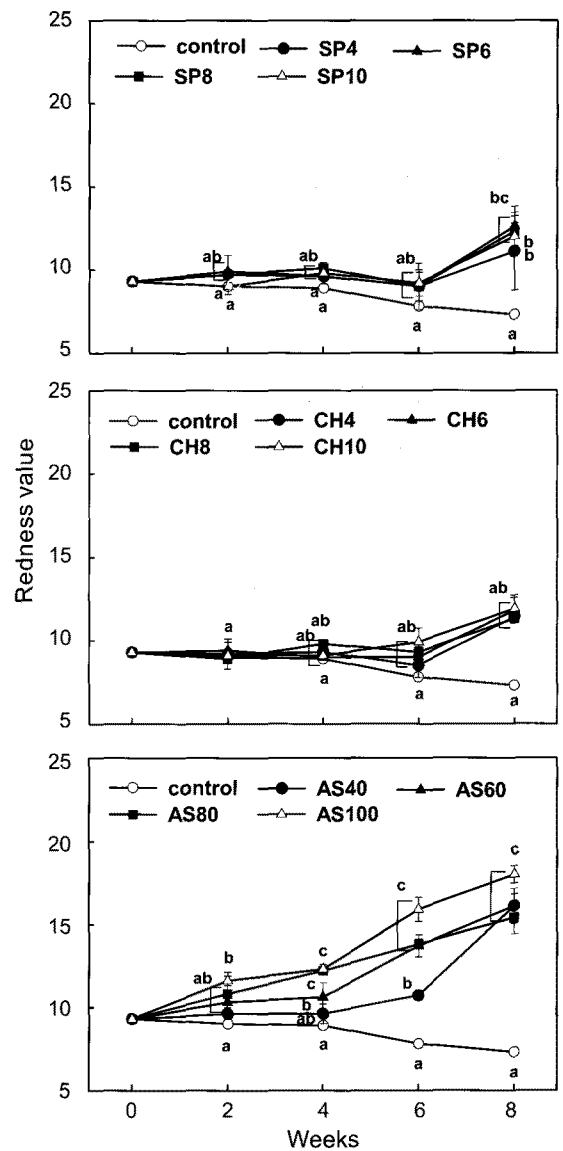


Fig. 3. Color parameters of redness (a) value of juvenile red- and white-colored carp fed three different color agents, *Spirulina* (SP), *Chlorella* (CH) and astaxanthin (AS) with each of 4 different concentrations for 8 weeks. Values (mean±SE, n=10) with different letters in the same week are significantly different (p>0.05).

2주째에만 착색제 종류와 착색제 종류 및 농도의 상호작용에 의한 영향을 받았다. *Spirulina* (SP) 첨가구의 a값은, 2주째와 4주째 그리고 6주째의 경우 모든 실험구 사이에 차이가 없었지만, 8주째에는 모든 SP 실험구가 대조구보다 높은 값을 보였다 (Fig. 3). *Chlorella* (CH) 첨가구의 a값 역시 2주째, 4주째 그리고 6주째 경우 모든 실험구 사이에 차이가 없었지만, 8주째에는 모든 CH 실험구가 대조구보다 높은 값을 보였다. Astaxanthin (AS) 첨가구의 a값은, 2주째의 경우 AS100만이 대조구보다 높은 값을 보였으며, 4주째의 경우 AS40 실험구를

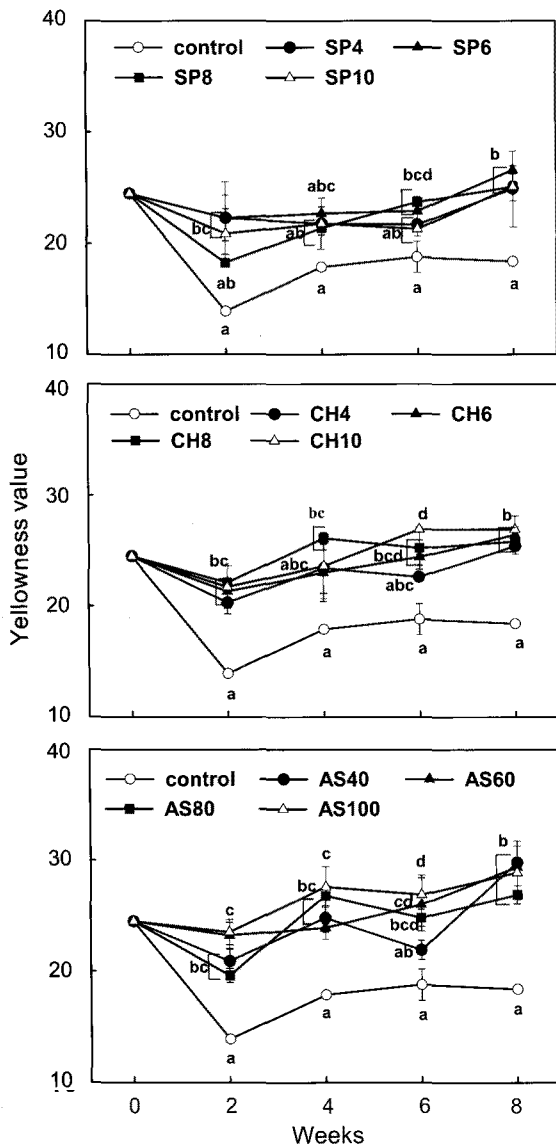


Fig. 4. Color parameters of yellowness (b) value of juvenile red- and white-colored carp fed three different color agents, *Spirulina* (SP), *Chlorella* (CH) and astaxanthin (AS) with each of 4 different concentrations for 8 weeks. Values (mean±SE, n=10) with different letters in the same week are significantly different (p>0.05).

제외한 모든 AS 실험구가, 6주째와 8주째에는 모든 AS 실험구가 대조구보다 높은 값을 보였다. 이상의 결과에서 a값은 2, 4, 6 및 8주째에는 착색제 종류 그리고 4와 6주째에는 착색제 농도에 따른 영향을 받았다. *Spirulina* (SP)를 첨가구의 b값은, 2주째의 경우 SP4, SP6 및 SP10 실험구가 대조구보다 유의하게 높았으나 (Fig. 4), 4주째에는 대조구와 모든 SP 실험구 사이에 차이가 없었다. 6주째에는 SP6와 SP8 실험구가, 8주째에는 모든 SP 실험구가 대조구보다 높은 값을 보였다 (p<0.05). *Chlorella* (CH) 첨가구의 b값은, 2주째에는 모든 CH 실험구가, 4주째에는 CH8와 CH10 실험구가, 6주째에는 CH10

실험구가, 그리고 8주째에는 모든 CH 실험구가 대조구보다 높은 값을 보였다. Astaxanthin (AS) 첨가구의 b값은, 2, 4, 6 (AS40 제외) 그리고 8주째 모두 모든 AS 실험구가 대조구보다 높은 값을 보였다. 이상의 결과에서 b값은 4주째, 6주째 및 8주째에는 착색제 종류 그리고 6주째에는 착색제 함량에 따른 영향을 받았다.

경제성 분석

착색제 종류 및 농도별로 실험기간 동안 비단잉어 치어 한 마리가 먹은 착색제의 양과 원가를 계산하고 경제적인 착색제의 공급 방법 및 절감 비율을 Table 2에 나타내었다. 중국산 *Spirulina*와 *Chlorella*의 경우, Fig. 3에서 보는 바와 같이 두 착색제 모두에서 농도에 따른 a값은 차이가 없었다. 따라서 중국산 *Spirulina*와 *Chlorella*를 사용할 경우, 경제적인 공급 방법은 두 종류 모두에서 10% 첨가하는 것보다는 4% 첨가 공급하는 것이 경제적인 것으로 생각된다. Astaxanthin을 공급할 경우, 2주째에는 100 ppm 첨가구가, 4주째에는 80 ppm 과 100 ppm 첨가구가, 6주째에는 60 ppm, 80 ppm 및 100 ppm 첨가구가, 8주째에는 모든 첨가구에서 유의하게 높은 a값을 나타내어 시간이 경과할수록 유의차가 커지는 것을 알 수 있었다. 따라서 비단잉어 홍백의 빨간색을 선명하게 하기 위한 가장 좋은 착색제는 astaxanthin이며, 고농도 첨가구일수록 빠른 착색 효과를 보였으나, 8주째에서는 40 ppm, 60 ppm, 80 ppm 및 100 ppm 첨가구 사이에 차이를 보이지 않았다.

고 찰

현재 비단잉어의 착색과 관련하여 주로 연구되고 있는 착색제 종류는 *Spirulina*, *Chlorella*와 astaxanthin이다. *Spirulina*의 주요 carotenoid 성분은 β -carotene, zeaxanthin 그리고 myxoxanthophyll이며, 그중 zeaxanthin은 비단잉어 홍백의 빨간색을 선명하게 하는데 효과적이라고 보고 된 바 있으며 (Matsuno et al., 1979), *Chlorella*는 무지개송어의 근육과 체색 (Gouveia et al., 1998) 및 참돔의 체색에 (Gouveia et al., 2002) 그리고 금붕어와 비단잉어의 체색 (Gouveia et al., 2003; Gouveia and Rema, 2005)에 착색 효과가 있으며, 합성 착색제 만큼 높은 효과가 있는 것으로 알려져 있다 (Wang et al., 2006). Astaxanthin은 게, 가재 껍질로부터 추출되는 carotenoid계 색소의 일종으로 비단잉어, 금붕어, 돌류, 연어, 송어, 새우 및 가재 등의 체색을 붉게 하는 물질로 알려져 있다 (No and Storebakken, 1991; Tejera et al., 2007). 그러나 이러한 착색제의 종류, 성분차 및 농도가 다양하여 착색결과가 일정하게 나타나지 않아 비단잉어 양식어가에서 착색제를 첨가하여 사용하는 데 어려움을 겪고 있다. 중국산 *Spirulina*, *Chlorella* 및 astaxanthin 3가지 착색제 종류와 각각의 착색제별로 첨가 농도를 달리한 4가지 실험 사료로 2주 간격으로 8주간 실험 한 결과, L값은 모든 실험구에서 4주째 또는 6주째까지는 시간이 경과함에 따라 증가하다가 이후 감소하는 경향을 보였다. a값은 대조구의 경우 계속 감소하였고 *Spirulina*와 *Chlorella*구에

Table 2. Total amount of coloring agents supplied to each experimental fish for 8 weeks and its economic analysis. ¹CON= Control group; ²SP=Spirulina powder group, g×5,000 Won/kg; ³CH=Chlorella powder group, g×5,000 Won/kg; ⁴AS= Astaxanthin powder group, g×300,000 Won/100 g; ⁵100%-[price of supply method/price of Spirulina 10%]×100%

Treatment	Concentration	Total pigment dosage (g)/fish	Raw price (Korean Won)	Discount percentage/SP 10% ⁵ (%)
CON ¹	0%			
SP ²	4%	0.160	0.80	
	6%	0.248	1.24	62
	8%	0.375	1.88	41
	10%	0.420	2.10	10
CH ³	4%	0.175	0.88	58
	6%	0.257	1.29	39
	8%	0.357	1.79	15
	10%	0.449	2.25	-7
AS ⁴	40 ppm	0.0002	0.6	71
	60 ppm	0.0003	0.9	57
	80 ppm	0.0004	1.2	43
	100 ppm	0.0005	1.5	29

서는 6주째까지 감소하다가 8주째에 증가하였으며, astaxanthin구에서는 2주째부터 증가하는 경향을 나타내었다. b값의 경우, 대체로 최초보다 2주째에 감소했다가 시간이 경과함에 따라 증가하는 경향을 나타내었으며, TC값의 경우 최초보다 2주째까지는 증가했다가 이후부터 감소하는 경향을 나타내었다. 착색제를 첨가하지 않은 대조구의 a값은 Fig. 3에서 보듯이 시간이 경과함에 따라 a값이 감소하는 것을 볼 수 있었다. Hancz et al. (2003)은 금붕어의 경우 대조구에서 적색도 값이 유의하게 감소하는 것으로 보아 본 실험결과와 일치하였지만, 비단잉어의 경우 적색도 값에 변화가 없었다고 보고하였다. 이는 실험어의 크기가 평균 69.1 g으로 크기가 큰 개체이기 때문으로 생각된다. Hancz et al. (2003) 보고한 금붕어 (2.1 g)와 본 실험의 비단잉어 (1.8 g)가 비슷한 크기라서 유사한 결과를 보인 것으로 생각되며, 치어기 때에는 성장하면서 a값이 크게 감소하다가 어느 정도 성장하면 그 변화의 폭이 작아지는 것으로 판단된다. 그리고 대조구의 TC값이 2주째까지 증가한 것은 일반적으로 비단잉어를 사육하면 착색제를 공급하지 않아도 대략 2 g 치어기까지는 자체적으로 체색이 짙어지는 결과를 보이며, 이에 대한 추가적인 연구가 필요하리라 생각된다.

Spirulina (TC 14.9-37 mg/100 g), *Chlorella* (TC 21.1-58.5 mg/100 g) 그리고 astaxanthin 첨가구 (TC 43.0-106.5 mg/100 g) 모두가 대조구 (TC 2.70 mg/100 g)에 비해 8주째에서 TC 함량은 유의차는 없었으나 적색도가 유의하게 높은 경향을 나타내어 비단잉어의 빨간색을 짙게 하는 데 효과적이었다. *Chlorella*와 *Spirulina* 각각 4-10%까지 첨가한 경우 두 착색제 제품간 및 각 착색제 4-10% 농도간에 유의차가 없어 사료내 TC 14.9-58.5 mg/100 g 범위에서는 비단잉어의 빨간색을 짙게 하는데 비슷한 효과를 나타내었다. 그러나 astaxanthin 첨가구가 *Chlorella*와 *Spirulina* 첨가구보다 유의하게 높은 a값을 나타낸 것으로 보아 astaxanthin을 착색제로 사용하는 것이 적색도 a값을 높이는 데 가장 효과적인 착색제인 것으로 판단된다.

Chlorella vulgaris, *Haematococcus pluvialis*, *Arthrospira maxima* 그리고 astaxanthin을 가지고 비단잉어 착색실험을 한 Gouveia et al. (2003)의 연구 결과, a값은 대조구에 비해 전 실험구가 유의하게 높은 결과를 보였고 *Chlorella vulgaris*와 astaxanthin 실험구가 *Arthrospira maxima* 보다 유의하게 높게 나타났으며, 두 실험구간에는 유의차가 없었다. b값은 유의차를 보이지 않았으며, L값은 대조구에 비해 astaxanthin, *Chlorella vulgaris*와 *Haematococcus pluvialis*가 유의하게 낮은 결과를 나타내었다. 그러나 *Chlorella vulgaris*와 astaxanthin 실험구가 *Spirulina* 실험구보다 유의하게 높게 나타난 것은 본 실험 결과와 상이하였는데, 이것은 *Chlorella vulgaris* 첨가량이 6%로 *Spirulina*의 첨가량 4% 보다 많이 첨가되었고 또한 착색제의 종류 및 성분차 때문으로 생각된다. Astaxanthin 3% 첨가구와 *Chlorella vulgaris* 6% 첨가구가 비슷한 결과를 나타낸 것은 본 실험 결과와 많은 차이를 보이는데 이는 사육수온이 14°C의 저수온이었던 점과 astaxanthin을 완전히 녹여서 첨가하였는지 등 첨가 방법의 차이에서 기인한 것으로 생각된다. Gouveia and Rema (2005)의 금붕어 실험에서 착색제로 *Chlorella vulgaris*와 Carophyll Pink (astaxanthin)를 각각 45 ppm, 80 ppm 그리고 120 ppm 농도별로 실험한 결과 a값에서 실험구간에 유의차가 없었다고 하여 본 실험 결과와 차이를 보이는데 이는 Carophyll Pink 첨가 농도를 너무 적게 하였기 때문으로 생각된다. 본 실험에서는 Carophyll Pink (astaxanthin)의 함량이 증가함에 따라 a값이 빨리 높아졌으며 실험초기에는 농도차에 의한 차이가 많이 났으나 시간이 경과함에 따라 그 격차는 줄어드는 경향을 나타내었는데, 이는 무지개송어의 경우 사료내 착색제의 농도가 높을 경우 단시일 내에 carotenoid가 축적되어 체색이 변화되고 착색제의 함량이 낮은 경우 천천히 체색 변화가 일어난다고 한 보고와 일치하였다 (Choubert and Storebakken, 1989). Katayama et al. (1973)은 zeaxanthin은 astaxanthin으로 산화되고 astaxanthin은 체내 그대로 축적된다고 한 것은 본 실험 결과에서도 같은

결과를 나타내었는데, 중국산 *Spirulina* 실험구의 zeaxanthin이 astaxanthin으로 산화, 축적되는데 시간이 소요되므로 착색 효과가 6주 이후로 늦게 나타났고 착색 효과도 낮았던 것으로 판단되며, astaxanthin 실험구는 체내 그대로 축적되어 착색 효과가 2주째부터 나타나 착색 효과도 높았던 것으로 판단된다. 경제성 분석은 Table 6에 나타난 것과 같이 중국산 *Spirulina*와 *Chlorella*의 경우 두 종류 모두 10% 첨가구와 4% 첨가구 사이에서 유의차가 없었으므로 10% 첨가 대신 4%만 첨가하는 것이 경제성 면에서 타당한 것으로 생각된다. 중국산 *Spirulina* 10% 첨가를 기준으로 보았을 때, 중국산 *Spirulina* 4% 첨가하면 착색 비용을 62% 절감할 수 있으며, *Chlorella* 4% 첨가하면 착색비용을 58% 절감할 수 있으나, 두 착색제보다 착색 효과가 유의하게 높고 가격이 저렴한 astaxanthin을 사용하는 것이 좋을 것으로 생각된다. 즉, 사료 1 kg 기준으로 중국산 *Spirulina* (5,000원/1 kg) 4%를 첨가하면 200원이 소요되며, astaxanthin (300,000원/100 g)을 40 ppm을 첨가하면 120원이 소요되어 착색 효과도 훨씬 높고 비용도 많이 절감할 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- Becker, E.W. and L.V. Venkataraman. 1984. Production and utilization of blue-green alga, *Spirulina* in India. *Biomass*, 4, 105-125.
- Choubert, G. and T. Storebakken. 1989. Dose response to astaxanthin and cantaxanthin pigmentation of rainbow trout fed various dietary carotenoid concentrations. *Aquaculture*, 81, 69-77.
- Duncan, D.B. 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics*, 11, 1-42.
- Gouveia, L., G. Choubert, E. Gomes, P. Rema and J. Empis. 1998. Use of *Chlorella vulgaris* as a carotenoid source for salmonids; Effect of dietary lipid content on colouring, digestibility and muscular retention. *Aquacult. Int.*, 6, 269-279.
- Gouveia, L., V. Veloso, A. Reis, H. Fernandes, J. Novais and J. Empis. 1996. Evolution of pigment composition in *Chlorella vulgaris*. *Bioresource Technol.*, 57, 157-163.
- Gouveia, L., G. Choubert, E. Gomes, N. Pereira, J. Santinha and J. Empis. 2002. Colouring of gilthead seabream, *Sparus aurata* (Lin 1875), using *Chlorella vulgaris* microalga. *Aquacult. Res.*, 33, 1-7.
- Gouveia, L., P. Rema, O. Pereira and J. Empis. 2003. Colouring ornamental fish (*Cyprinus carpio* and *Carassius auratus*) with microalgal biomass. *Aquacult. Nutr.*, 9, 123-129.
- Gouveia, L. and P. Rema. 2005. Effect of microalgal concentration and temperature on ornamental goldfish (*Carassius auratus*) skin pigmentation. *Aquacult. Nutr.*, 11, 19-23.
- Ha, B.S., D.S. Kang, J.H. Kim, O.S. Choi and H.Y. Ryn. 1993. Metabolism of dietary carotenoids and effects to improve the body color of cultured flounder and red sea bream. *J. Kor. Fish. Soc.*, 26, 91-101.
- Hancz, C., I. Magyary, T. Molnar, S. Sato, P. Horn and N. Taniguchi. 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.
- Hata, M. and M. Hata. 1975. Carotenoid metabolism in fancy red carp, *Cyprinus carpio*-I. Administration of carotenoids. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 41, 653-655.
- Hata, M. and M. Hata. 1976. Carotenoid metabolism in fancy red carp, *Cyprinus carpio*-II. Metabolism of ^{14}C -zeaxanthin. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 42, 203-205.
- Hong, S.P., J.K. Koo, K.S. Jo and D.S. Kim. 1997. Physicochemical characteristics of water or alcohol soluble extracts from laver, *Porphyra yezoensis*, *J. Kor. Soc. Food Sci. Nutr.*, 26, 10-16.
- Katayama, T., K. Shintani and C.O. Chichester. 1973. The biosynthesis of astaxanthin. *Comp. Biochem. Physiol.*, 448, 253-257.
- Kim, S.R., C.R. Lee and S.M. Lee. 2006. Effects of dietary supplementation of Paprika and *Spirulina* on pigmentation of swiri *Coreoleuciscus splendidus*. *J. Aquacult.*, 19, 261-266.
- Macbeth, J.W. 1972. Carotenoids from Nudibranchs. *Comp. Biochem. Physiol.*, 41B, 55.
- Matsuno, T., S. Nagata, M. Iwahashi, T. Koike and M. Okada. 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.
- Nandeesh, M.C., B. Gangadhara, J.K. Maniserry and L.V. Venkataraman. 2001. Growth performance of two Indian major carp, catla (*Catla catla*) and rohu (*Labeo rohita*) fed diets containing different levels of *Spirulina platensis*. *Bioresource Technol.*, 80, 117-120.
- No, H.K. and T. Storebakken. 1991. Pigmentation of rainbow trout with astaxanthin at different water temperatures. *Aquaculture*, 97, 203-216.
- Skrede, G. 1987. Rapid analysis in food processing and food Control. *Proceedings of the Fourth European Conference on Food Chemistry*, 1-4.
- SPSS. 1997. SPSS Base 7.5 for Window. SPSS Inc.,

- Chicago, IL, USA.
- Tejera, N., J.R. Cejas, C. Rodriguez, B. Bjerkeng, S. Jerez, A. Balanos and A. Lorenzo. 2007. Pigmentation, carotenoid, lipid peroxides and lipid composition of skin of red porgy (*Pagrus pagrus*) fed diets supplemented with different astaxanthin sources. *Aquaculture*, 270, 218-230.
- Wang, Y.J., Y.H. Chien and C.H. Pan. 2006. Effects of dietary supplementation of carotenoids on survival; growth, pigmentation and antioxidant capacity of characins, *Hyphessobrycon callistus*. *Aquaculture*, 261, 641-648.
- Winston, G.W., D.G. Lemaire and R.F. Lee. 2004. Antioxidants and total oxyradical scavenging capacity during grass shrimp, *Palaemonetes pugio*, embryogenesis. *Comp. Biochem. Physiol.*, 139, 281-288.

2008년 4월 10일 접수

2008년 6월 25일 수리