



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시, 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리, 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지, 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

이 학 박 사 학 위 논 문

사료에 첨가된 Spirulina, Chlorella 및
Astaxanthin이 비단잉어 홍백치어의
체색과 성장에 미치는 영향



2008년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

수산해양학연합동과정

김 이 오

이 학 박 사 학 위 논 문

사료에 첨가된 Spirulina, Chlorella 및 Astaxanthin이
비단잉어 홍백 치어의 체색과 성장에 미치는 영향

지도교수 조 재 윤

이 논문을 이학박사 학위논문으로 제출함

2008년 2월

부경대학교 대학원

수산해양학연합동과정

김 이 오

김이오의 이학박사 학위논문을 인준함

2008년 2월 일



주심 농 학 박 사 장 영 진
위 원 농 학 박 사 김 창 훈
위 원 수 산 학 박 사 이 상 민
위 원 수 산 학 박 사 오 승 용
위 원 이 학 박 사 조 재 윤

목 차

Abstract	i
I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	5
1. Spirulina 제품별, 수온별 착색 실험	5
가. 실험어 및 사육 관리	5
나. 실험사료 제작	6
다. 카로티노이드 분석	9
라. 색도 조사	15
마. 통계처리	15
2. 착색제 종류별, 농도별 착색 실험	16
가. 실험어 및 사육 관리	16
나. 실험사료 제작	16
다. 카로티노이드 분석	17
라. 색도 조사	17
마. 통계 처리	18
III. 결 과	21
1. Spirulina 제품별, 수온별 착색 효과	21
가. 총카로티노이드 함량	21
나. 색도	25
다. 성장 및 사료효율	37
라. 경제성 비교	40
2. 착색제 종류별, 농도별 착색 효과	42

가. 총카로티노이드 함량	42
나. 색도	45
다. 성장 및 사료효율	61
라. 경제성 비교	64
IV. 논 의	66
V. 요 약	77
VI. 감사의 글	80
VII. 참고문헌	82



Dietary Spirulina, Chlorella and Astaxanthin on the Body Color and
Growth of Red and White Colored Carp, *Cyprinus carpio*

Yi Oh Kim

Department of UR Interdisciplinary Program of Fisheries and
Oceanography, The graduate School,
Pukyong National University

Abstract

Colored carp (*Cyprinus carpio*) farmers are using the spirulina, one of natural carotenoid color agents to enhance red color of this ornamental fish. The farmers used to use expensive American spirulina but recently cheaper Chinese spirulina and other coloring agents such as chlorella and Carophyll Pink have been imported and available in the market. However, there was no information available for farmers about the quality of these coloring agents. Therefore, to get a proper information about these coloring agents, a series of tests were conducted.

Two separate experiments were designed to achieve this information. For the first step, comparisons of coloring effects of two different origin of spirulina, cheaper Chinese spirulina and dear American one in the diets (10% each) on the color of fingerlings of red and white colored carp were tested. The temperature (21°C, 24°C, 27°C, and 30°C) effects of the two origins of spirulina on the red color of the species were also tested.

For the second step, based on the results of the first step, the effects of 4 concentrations each of the dietary Chinese spirulina and chlorella (4%, 6%, 8%, and 10%), and 4 different concentrations of dietary astaxanthin (40, 60, 80, and 100 ppm in Carophyll Pink) were tested. Growth rates, lightness, redness, yellowness of the fingerlings of red and white colored carp were compared. Total carotenoid concentrations in the feed and skin tissue of the fish were also measured. Finally, economic analysis of the color agents were also compared.

The growth rates of the fish fed Chinese and American spirulina under the temperatures of 24°C, 27°C, and 30°C were significantly higher ($P < 0.05$) than the fish reared at 21°C. However, there were no statistical differences of growth of the fish fed Chinese spirulina and American spirulina at same temperature.

The amount of total carotenoid in the feed mixed with 10% of Chinese spirulina was 36.9 mg/100 g feed while that of American spirulina was 38.4 mg/100 g of feed. The amount of zeaxanthin of the former and later feeds were 6.12 and 12.7 mg/100 g of feed respectively while those of astaxanthin were 0.6 and 1.56 mg/100 g of feed respectively. The amounts of zeaxanthin and astaxanthin in the feed mixed with American spirulina were significantly higher than the feed mixed with Chinese spirulina.

The lightness value of the fish fed both origin of spirulina were increased up to 6 weeks after feeding started and decreased thereafter. While redness value and total carotenoid contents were decreased up to 6 weeks after feeding started and increased thereafter. Along with the

redness value, red color of the fish fed both origin of spirulina were significantly enhanced. The redness value and total carotenoid contents were not different between Chinese and American spirulina treated groups. Therefore, using Chinese spirulina is much more economical than using American spirulina.

The ranges of total carotenoid, astaxanthin and zeaxanthin in the feed mixed with Chinese spirulina (4, 6, 8, and 10%) were 14.9~36.9 mg/100 g, 0.23~0.64 mg/100 g, and 2.57~6.12 mg/100 g of feed respectively, while those in the chlorella (4, 6, 8, and 10%) mixed feed were 21.1~58.5 mg/100 g, 0.0035~0.011 mg/100 g, and 0.54~1.13 mg/100 g respectively. Redness value of the fish fed Chinese spirulina and chlorella were significantly effective by 6 weeks after feeding. The amount of total carotenoid, astaxanthin and zeaxanthin in the feeds mixed with 40, 60, 80, and 100 ppm of astaxanthin (in the Carophyll Pink) were ranged 43.0~106.5 mg/100 g, 45.4~101.7 mg/100 g, and 0.68~1.76 mg/100 g of feed respectively, Redness value of the fish fed dietary astaxanthin were significantly effective within 2 weeks after feeding. The effects of astaxanthin is much faster than that of the Chinese spirulina and chlorella.

There were no statistical differences on the growth and feed efficiencies of the fish fed 4 concentrations each of the Chinese spirulina, chlorella and astaxanthin.

There were no significant effects of dietary Chinese spirulina, chlorella, and astaxanthin on the lightness and yellowness values of treated colored carps. The total carotenoid concentration in the skin

tissue of the red parts of the fish fed dietary Chinese spirulina, chlorella, and astaxanthin were increased up to the second week but decreased thereafter. The redness value of the Chinese spirulina and chlorella treated fish were decreased up to 6 weeks and increased thereafter. However, the redness value of the astaxanthin treated fish was continuous increased from the second week. According to these results, astaxanthin in Carophyll Pink was the most effective on the enhancement of redness color of red and white colored carp among the treatments. There were no statistical differences of redness value of the fish among 40, 60, 80, and 100 ppm astaxanthin treated groups. Therefore 40 ppm of dietary astaxanthin was the most economical for the coloring of red and white colored carp. However, if high redness value of the fish is needed within 6 weeks, 100 ppm of dietary level of astaxanthin is required.

The price of Chinese spirulina for 1 kg of feed mixed with 10% spirulina level was 500 Korean Won while that of American spirulina was 5,000 Korean Won. Also the lowest price of Chinese spirulina for 1 kg of feed mixed with the statistically effective percentage (4%) was 200 Korean Won while that of astaxanthin (40 ppm in the Carophyll Pink) was 120 Korean Won. Therefore, 40 ppm of astaxanthin in the feed was the most economical for enhancing redness color of red and white colored carp fingerlings.

I. 서론

대중화된 취미 생활 중 관상어 사육이 사진 다음으로 가장 높은 비중을 차지한다(Hoff, 1993). 이를 충족시키기 위해 전세계적으로 700여종의 어류가 관상 목적으로 생산되며, 이들 중 95%가 미국 플로리다와 동남 아시아의 양식장에서 생산된다(Chapman et al., 1997).

전세계 관상어류 중 비단잉어(*Cyprinus carpio*)의 전체 시장 규모는 약 3조원 정도로 추정되며, 총 생산량의 94%를 일본이 차지하고 이스라엘과 대만 등에서 소량 생산되고 있다(홍, 2006). 국내 비단잉어는 충북, 전남 그리고 경남 등 전국적으로 33톤이 생산·유통되고 있으며(박, 2006), 규모가 큰 곳은 충북 진천의 진천관상어조합으로 1991년부터 영어조합법인이 설립되어 미국 및 유럽 등에 수출을 하고 있다. 그러나 비단잉어의 품종 다양성 및 생산량 부족으로 해외 바이어의 주문 조건을 충족시키지 못해 소규모 상인을 통해 수출을 하고 있는 실정이다(김, 2004). 향후 FTA 체결로 정부의 농지 보존 대책이 크게 완화되고 농업인들의 농산물에 대한 국제 경쟁력이 약화되면 대체 생산품목으로 비단잉어 양식이 높은 관심을 얻을 것으로 예상된다. 그리고 2004년 10월 23일과 2007년 8월 16일에 일본의 비단잉어 주산지인 니이가타현에 지진이 발생하여 양식어가에 큰 피해를 주었고, 또한 일본과의 비단잉어 가격 경쟁력은 충분히 있으므로 생산물량 증대 및 품질 향상이 이루어진다면 전세계 비단잉어 시장에서 한국산 비단잉어의 시장을 크게 넓힐 수 있을 것으로 생각된다.

비단잉어의 시장 가격을 형성하는 가장 중요한 요소는 체색이며, 이외에 체형과 어체 크기가 중요시된다(Paripatananont et al., 1999). 어류의 체색에 영향을 미치는 요소는 여러 가지가 있으며, 그 중 어류의 크기, 나이,

사료의 조성, 사료의 공급 기간, carotenoid의 종류 및 농도, 성숙속, 유전적인 요인 등이 있으며, 수온, 염분 그리고 광도 또한 체색에 영향을 미치는 중요한 환경적 요인이다(Torrissen et al., 1989; Storebakken and No, 1992).

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(김 등, 2006b).

어류의 체색은 섭취하는 carotenoid의 종류와 체내 대사 특이성에 의해서 결정되어진다. 그러나 어류의 carotenoid 대사 경로는 대부분 밝혀져 있지 않은 실정이다(하 등, 1993). 그 중 비단잉어에 관련해서 zeaxanthin이 adonixanthin을 거쳐 astaxanthin으로 대사되나, lutein은 α -doradexanthin까지만 대사가 이루어진다는 보고가 있다(Hata and Hata, 1975; Hata and Hata, 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 사용되고 있다(Gouveia et al., 2003).

관상어의 체색을 개선하기 위한 목적으로 비단잉어(Hancz et al., 2003)와 금붕어(Gouveia et al., 2003)를 대상으로 보고된 바 있으며, 수온과 착색과의 관계를 금붕어(*Carassius auratus*)를 대상으로 실험한 바 있다(Gouveia and Rema, 2005). 그리고 우리나라 고유종인 각시붕어(*Rhodeus uyekii*)의 혼인색 및 carotenoid 첨가에 따른 착색의 영향을 조사한 연구가 있으며(김

등, 1999a; 김 등, 1999b), 파프리카 및 spirulina 첨가가 쉬리(*Coreleuciscus splendidus*) 표피 색택에 미치는 영향을 조사한 연구가 있다(김 등, 2006b). 그러나 착색제의 종류 및 농도, 실험 기간 및 수온이 달라서 착색 효과가 나타나지 않기도 하고, 실험마다 착색 효과가 달라지기도 하는 등 연구 결과가 일정하지 않은 실정이다.

현재 비단잉어의 착색과 관련하여 주로 연구되고 있는 착색제 종류는 spirulina, chlorella와 astaxanthin이다. Spirulina의 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(Nandeesh et al., 2001), 소화, 흡수가 잘 되어 어류에게 유용한 단백질원으로 알려져 있다(Becker and Venkataraman, 1984).

Chlorella의 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). Chlorella는 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*)의 근육과 체색에(Gouveia et al., 1998), 참돔(*Pagrus major*)의 체색에(Gouveia et al., 2002) 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 물질로 알려져 있다(No and Storebakken, 1991; Tejera et al., 2007).

Katayama et al. (1973)에 의하면 비단잉어에서는 zeaxanthin은 astaxanthin

으로 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; 김 등, 2006a).

비단잉어의 체색을 강화하기 위해서는 spirulina가 효과적인 것으로 보고되어 있기 때문에(Matsuno et al., 1979; 차, 1999), 한국의 비단잉어 양식어가들도 비단잉어 홍백의 빨간색을 더욱 선명하게 하기 위해 천연 carotenoid 착색제인 spirulina를 많이 사용하고 있다. 그러나 spirulina는 고가의 수입 제품으로 사육 경비에서 많은 부분을 차지하고 있어 한국산 비단잉어의 국제 경쟁력을 향상시키기 위해서는 착색 경비의 절감이 필요하다.

현재 양식어가들이 사용하는 spirulina는 미국산과 중국산 두 종류를 사용하고 있고 미국산은 중국산에 비해 10배 비싼 가격으로 유통되고 있지만 질적인 검증이 없이 비싼 미국산을 사용하는 양식어가가 있는 반면 값싼 중국산을 찾는 양식어가도 많기 때문에 이에 대한 효과 비교 실험이 꼭 필요하다. 따라서 중국산(spirulina powder made in China, SMC)과 미국산(spirulina powder made in USA, SMU) spirulina의 착색 효과를 비교하고 또한 사육 수온에 따른 착색 효과 및 경제성을 분석, 비교하기 위하여 실험을 실시하였다.

그리고 미국산과 중국산 spirulina의 착색 비교 실험에 이어 중국산 spirulina (SP)와 chlorella (CH) 및 astaxanthin (AS)계통의 색소인 carophyll pink의 착색 효과를 비교하고 또한 함량에 따른 착색 효과 및 경제성을 분석, 비교하기 위하여 실험을 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. Spirulina 제품별, 수온별 착색 실험

가. 실험어 및 사육 관리

비단잉어 홍백 치어는 충청북도내수면연구소에서 종묘 생산된 치어를 사용하였으며, 실험 시작 2주 전에 수온 21℃에서 총 24개의 100 L 수조(68 × 45 × 32 cm)에 비단잉어 치어를 각각 25마리씩 수용하여 단백질 50%, 지질 7%인 시판사료를 매일 3회(09:00, 13:00 그리고 17:00) 만복 공급하면서 예비 사육하였다. 실험 시작시에 각각의 수조에서 예비 사육 중이던 총 600 마리 중 크기가 균일한 개체 20마리씩을 임의로 선발하여 체중을 측정하고 다시 실험 수조에 수용하였다.

실험 수온인 21℃, 24℃, 27℃ 그리고 30℃를 유지하기 위해 예비 사육 수온인 21℃에서 일간 1.5℃씩 올려 30℃ 실험구의 수온이 맞추어졌을 때 실험을 시작하였다. 21℃, 24℃, 27℃ 그리고 30℃ 4개의 수온과 각 수온에서 각각 중국산 및 미국산 spirulina를 첨가한 2개의 실험 사료로 총 8개의 실험구를 3반복으로 사육 관리 하였으며, 실험 사료는 매일 3회(09:00, 13:00 및 17:00) 실험어가 먹을 때까지 손으로 사료를 던져 주며 8주간 사육하였다.

사육 장치는 각 수온별로 반순환 여과 방식으로 한개의 저수 수조(90 × 74 × 60 cm)와 6개의 실험 수조로 구성되었고 저수 수조에서 수중 펌프를 사용하여 각 실험 수조에 2 L/min의 비율로 물이 순환되도록 하였다. 수온 구간 별로 각각 6개 수조의 환수를 위해 각 수온별 저수 수조에는 새로운 하천수를 2.1 L/min의 비율로 공급하여 매일 378% 환수하였으며, 각 실험 수조에 에어스톤을 설치해 공기를 충분히 공급해 주었다(Fig. 1).

수온별 실험구의 평균 pH와 용존산소 농도는 21℃구에서 각각 8.3 및 6.8 mg/L였으며, 24℃구에서 각각 8.3 및 7.2 mg/L, 27℃구에서 각각 8.3 및 6.4 mg/L, 그리고 30℃의 실험구에서 각각 8.3 및 5.9 mg/L였다.

나. 실험 사료 제작

실험 사료 제작은 시판되는 담수어 부상사료에 중국산 spirulina (Wuxi Jinling Tower Limited Company, SMC)와 미국산 spirulina (Cyanotech Corporation, SMU)를 각각 사료 무게의 10% 비율로 물에 녹여 사료에 혼합시킨 후 건조시켜 사용하였으며, 실험 사료의 변질을 막기 위해 2주 간격으로 새로운 실험 사료를 제작하여 시간이 경과된 실험 사료와 교체하였다(Table 1).



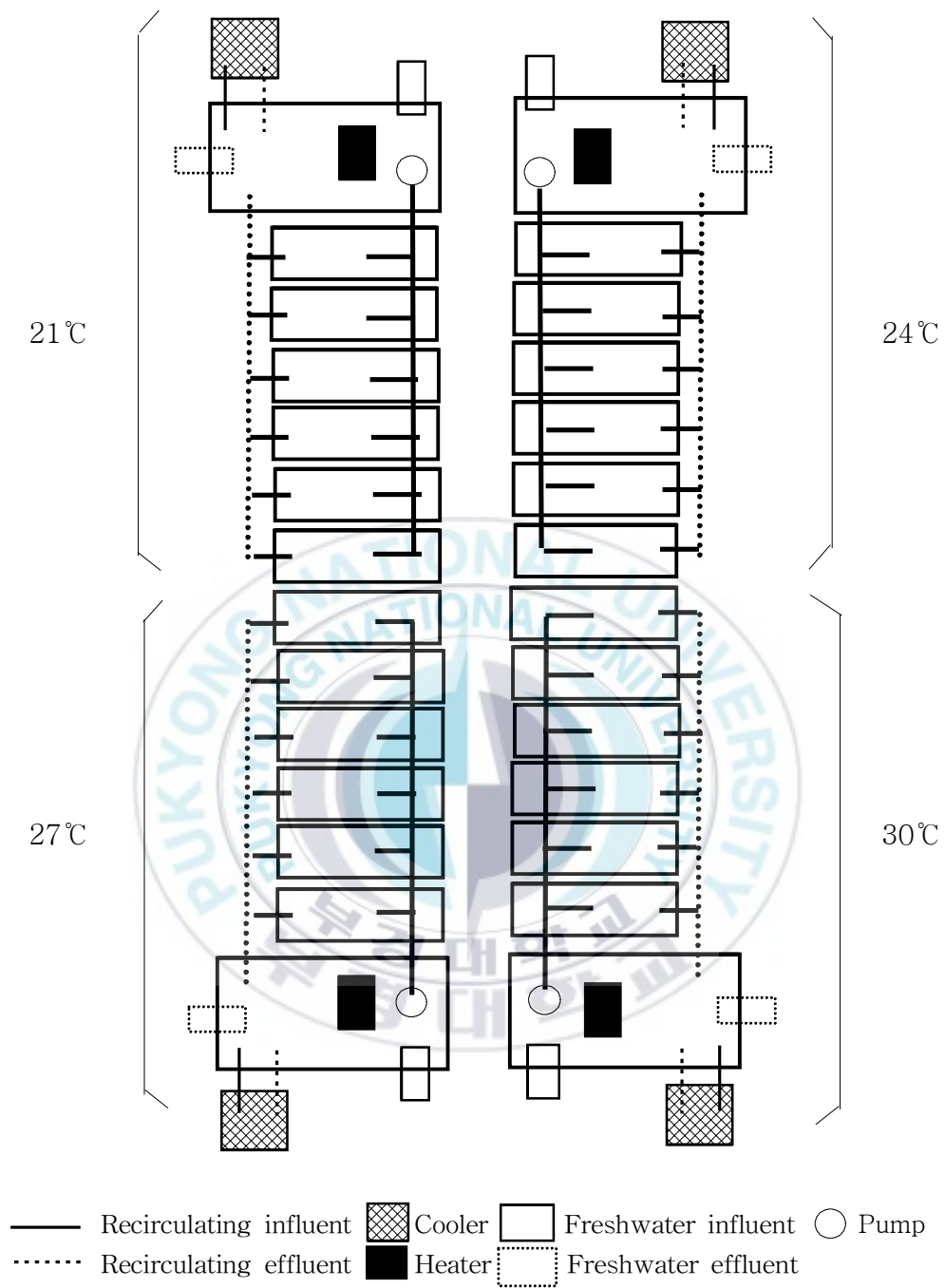


Fig. 1. The semi-recirculating system used for the experiment of two different dietary spirulina under four different temperature conditions.

Table 1. Composition of the experimental diets used for improvement of body color in red and white colored carp

	Group	
	SMC ¹	SMU ²
<i>Ingredients (g)</i>		
White fish meal	50	50
Wheat flour	20	20
Squid liver oil	8	8
Soybean oil	20	20
Vitamin premix	1	1
Mineral premix	0.5	0.5
Vitamin C	0.25	0.25
Vitamin E	0.15	0.15
Sub - total	100	100
Added amount of spirulina	10	10
Total (g)	110	110
Total carotenoid (mg/100 g diet)	36.9	38.4
Astaxanthin (mg/100 g diet)	0.6	1.6
Zeaxanthin (mg/100 g diet)	6.1	12.7

¹Spirulina powder made in China.

²Spirulina powder made in USA.

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

$$\text{Total carotenoid (mg/100 g)} = \text{OD} \times \text{Vol} \times 10^3 / \text{E} \times \text{Weight of tissue (g)}$$

단, OD = 흡광도(optical density)

Vol = petroleum ether 10 mL

E = 흡광계수 = 2,080

Astaxanthin의 분석 방법은 표준 astaxanthin (Sigma, USA)을 toluene:MeOH (1:1, v/v)에 녹여 HPLC 이동상으로 희석하여 1, 3 그리고 4 ppm의 용액을 조제하여 검량곡선을 얻었다(Fig. 2). Astaxanthin의 정량 분석을 위해 Chen et al. (1982)의 방법을 변형하여 Table 2와 같은 조건에서 분석을 실시하였다.

Zeaxanthin의 분석 방법은 표준 zeaxanthin (Sigma, USA)을 toluene:MeOH (1:1, v/v)에 녹여 HPLC 이동상으로 희석하여 1, 3 그리고 4 ppm의 용액

을 조제하여 검량곡선을 얻었다(Fig. 3). Zeaxanthin의 정량 분석을 위해 Chen et al. (1982)의 방법을 변형하여 Table 3의 같은 조건에서 분석을 실시하였다.

또한 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 120마리 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 측정한 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℃)하였다. 냉동 보관된 시료는 동결 건조하여 무게를 측정한 후 동결 건조한 시료에 Macbeth (1972) 및 홍 등(1997)의 방법에 따라 앞의 사료 분석과 동일하게 하였다.

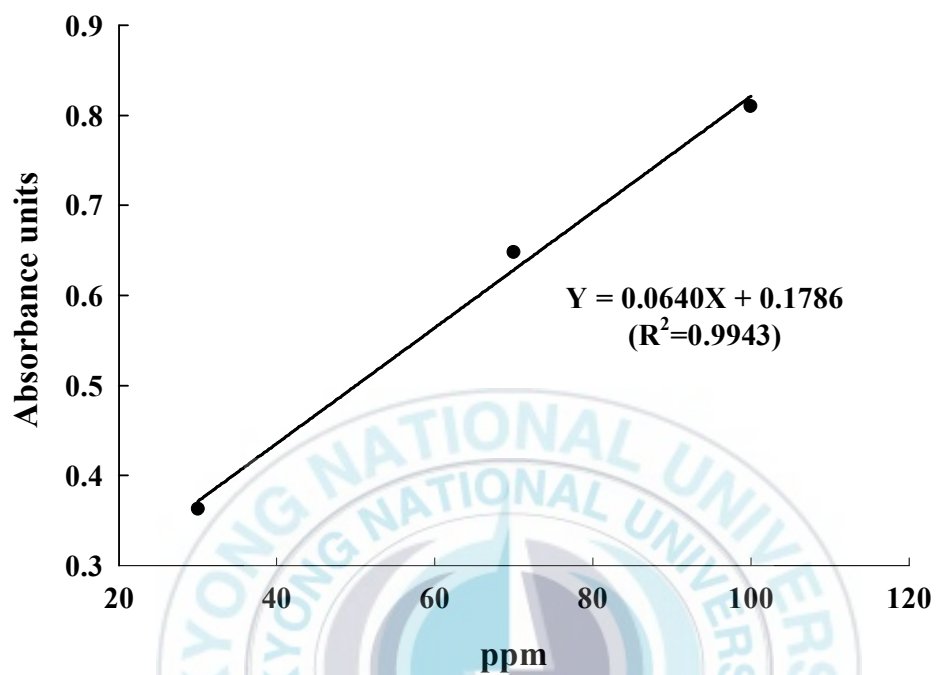
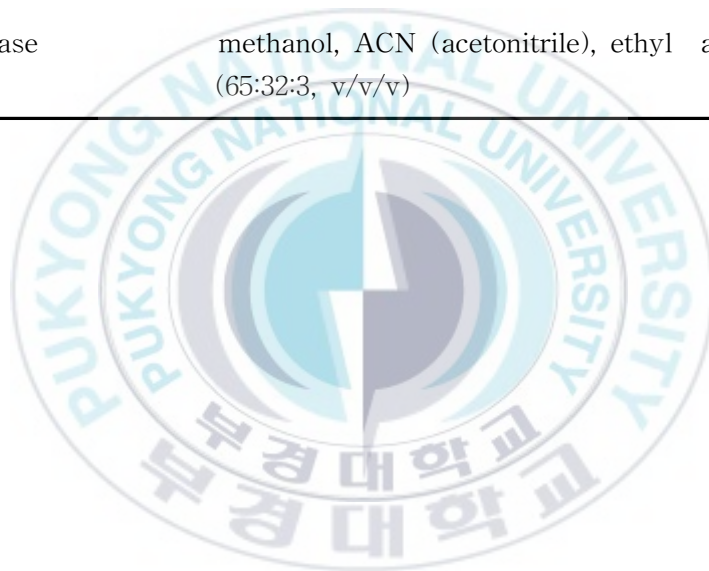


Fig. 2. Calibration equation for the analysis of astaxanthin.

Table 2. HPLC condition for the analysis of astaxanthin

Analysis instrument	HPLC (Waters 600E)
Column	Zorbax Eclipse Plus C18
Oven temperature	40℃
Mobile phase flow rate	1 mL/min
Wave length	485 nm
Mobile phase	methanol, ACN (acetonitrile), ethyl acetate (65:32:3, v/v/v)



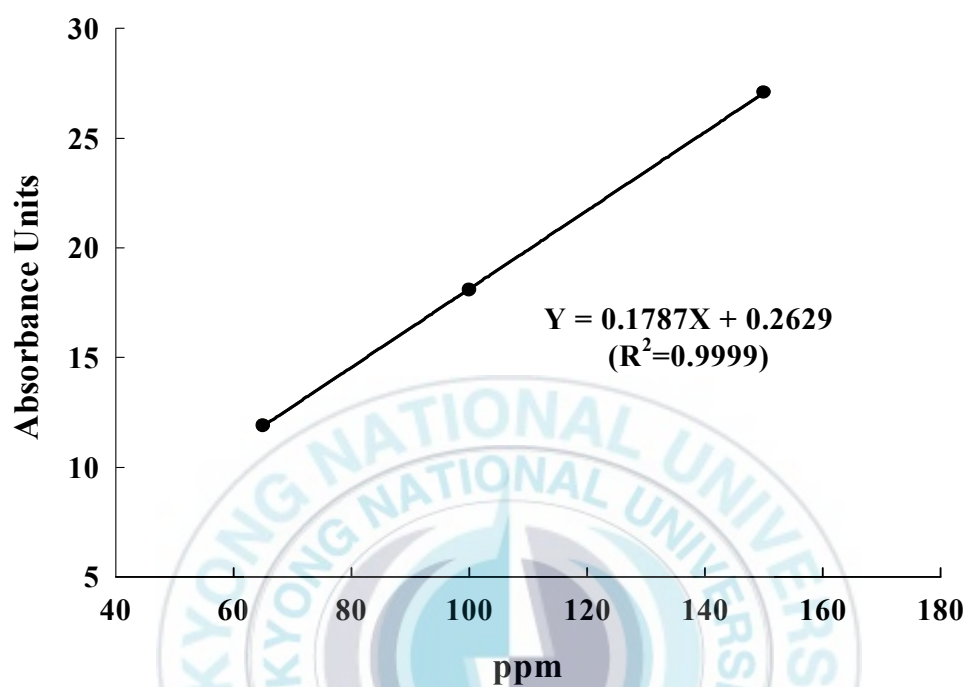
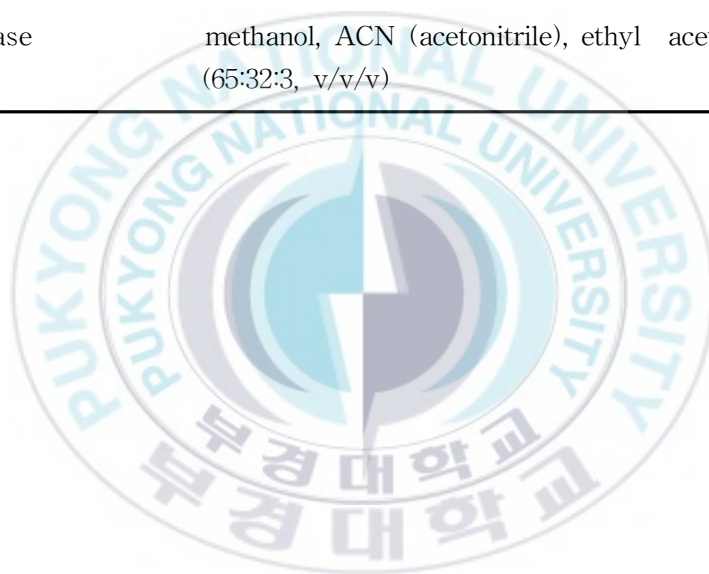


Fig. 3. Calibration equation for the analysis of zeaxanthin.

Table 3. HPLC condition for the analysis of zeaxanthin

Analysis instrument	HPLC (Waters 600E)
Column	Zorbax Eclipse Plus C18
Oven temperature	40 °C
Mobile phase flow rate	1 mL/min
Wave length	449 nm
Mobile phase	methanol, ACN (acetonitrile), ethyl acetate (65:32:3, v/v/v)



라. 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.

마. 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.

2. 착색제 종류별, 농도별 착색 실험

가. 실험어 및 사육 관리

비단잉어 치어는 충청북도내수면연구소에서 종묘 생산된 치어를 사용하였으며, 실험 시작 2주 전에 수온 27℃에서 총 26개의 100 L 수조(68 × 45 × 32 cm)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 흘려주었다. 각 실험구별 저수 수조(2 × 1 × 0.8 m)에는 하천수를 6.9 L/min의 비율로 공급하여 사육수가 매일 296% 환수하였으며, 각 실험 수조에 에어스톤을 설치해 에어레이션을 해 주었다(Fig. 4).

실험 수온은 27℃를 유지하였으며, 평균 pH와 용존산소 농도는 각각 8.3 및 6.4 mg/L였다.

나. 실험 사료 제작

실험 사료는 총 13가지로 제작하였다. 대조구 사료로서 시판되는 담수어 부상 사료를 사용하였으며, 여기에 중국산 spirulina (SP)를 각각 4% (SP4), 6% (SP6), 8% (SP8) 및 10% (SP10)를 첨가하여 제조한 실험구와 동물용 chlorella

(CH)를 각각 4% (CH4), 6% (CH6), 8% (CH8) 및 10% (CH10)를 첨가하여 제조하여 제조하였다. Carophyll pink를 각각 400 ppm, 600 ppm, 800ppm 및 1000ppm을 첨가하여 제조한 실험구로 나누었다. 이 carophyll pink에는 astaxanthin이 10% 함유되어 있으므로 carophyll pink 실험구는 astaxanthin (AS) 농도로서 각각 40 ppm, 60 ppm, 80ppm 및 100ppm으로 표기하였다.

Carophyll pink는 찬물에서는 녹지 않으므로 60℃ 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 4).

다. 카로티노이드 분석

실험 사료 내 TC, astaxanthin 및 zeaxanthin 함량 측정은 앞의 spirulina 제품별, 수온별 착색 실험의 방법과 동일하게 하였다. 또한 비단잉어 홍백의 최초 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 측정한 후 남은 실험어의 체중을 측정하여 다음 실험을 시작하였다.

TC 함량 분석은 앞의 spirulina 제품별, 수온별 착색 실험의 방법과 동일하게 하였다.

라. 색도 조사

색도 조사를 위해서는 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.

마. 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.

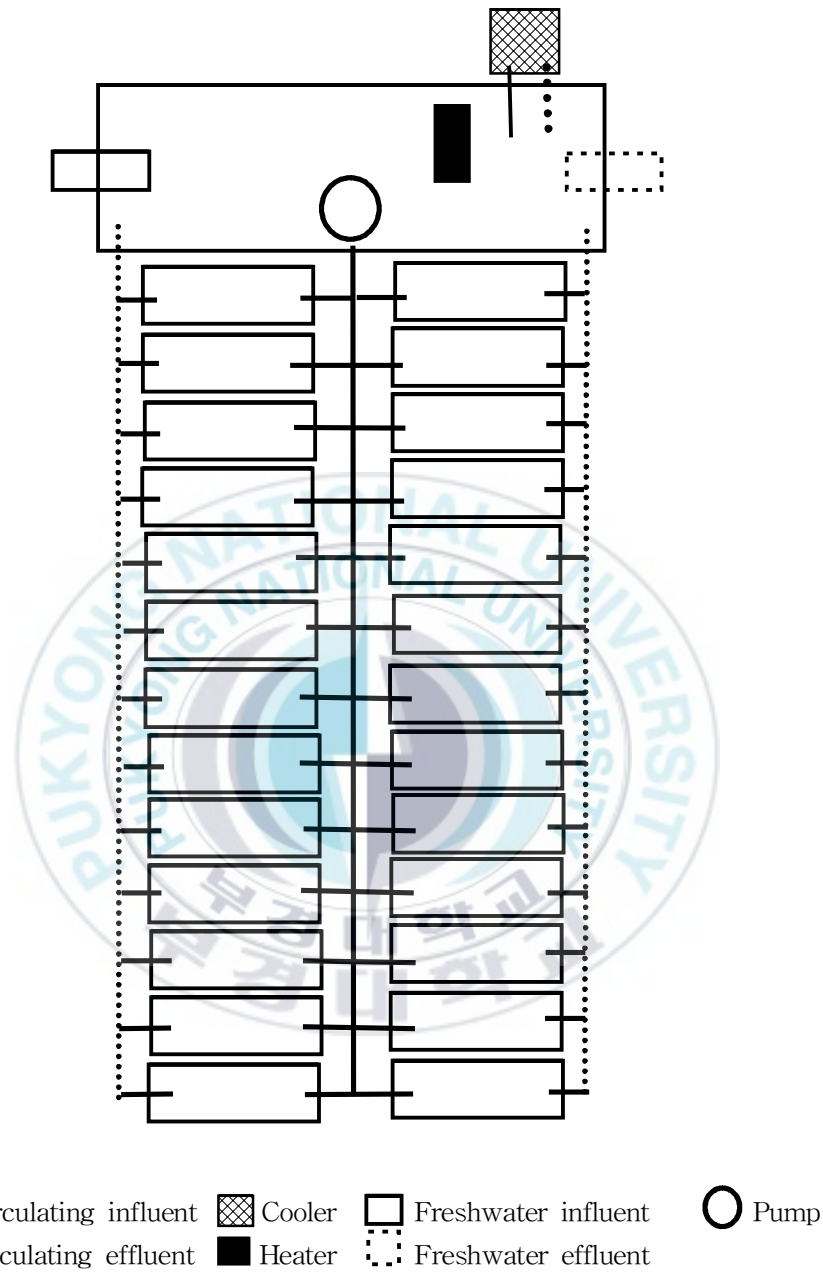


Fig. 4. The semi-recirculating system used for the experiment of three different color agent and four different concentration conditions.

Table 4. Composition of the experimental diets used for improvement of body color in red and white carp

	Group												
	Con. ¹	SP 4% ²	SP 6% ³	SP 8% ⁴	SP 10% ⁵	CH 4% ⁶	CH 6% ⁷	CH 8% ⁸	CH 10% ⁹	AS 40 ppm ¹⁰	AS 60 ppm ¹¹	AS 80 ppm ¹²	AS 100 ppm ¹³
<i>Ingredients (g)</i>													
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
Astaxanthin(mg/100 g)	N.D.	0.23	0.36	0.52	0.64	0.0035	0.0058	0.0083	0.011	45.4	66.0	77.2	101.7
Zeaxanthin(mg/100 g)	N.D.	2.57	3.63	5.25	6.12	0.54	0.62	0.78	1.13	0.68	0.94	1.35	1.76

¹Control ²Spirulina powder 4% made in China. ³Spirulina powder 6% made in China. ⁴Spirulina powder 8% made in China. ⁵Spirulina powder 10% made in China. ⁶Chlorella powder 4%. ⁷Chlorella powder 6%. ⁸Chlorella powder 8%. ⁹Chlorella powder 10%. ¹⁰Astaxanthin powder 0.04 g. ¹¹Astaxanthin powder 0.06 g. ¹²Astaxanthin powder 0.08 g. ¹³Astaxanthin powder 0.1 g.

III. 결 과

1. Spirulina 제품별, 수온별 착색 효과

가. 총카로티노이드 함량

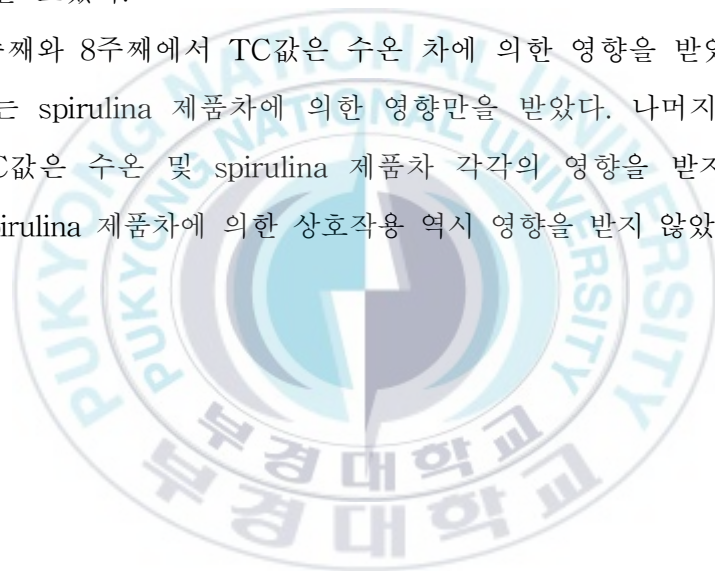
8주간의 사육 실험 기간 동안 비단잉어 홍백 치어의 carotenoid 함량 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 실험 초기의 total carotenoid (TC) 함량은 10.39 ± 0.29 mg/100 g이었다. 중국산 spirulina (SMC)를 공급한 비단잉어 치어의 2주째 평균 TC값은 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃구에서 각각 3.9, 3.6, 4.6 및 4.8 mg/100 g으로 유의차가 없었다($p>0.05$). 4주째 평균 TC값은 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃구에서 각각 2.5, 2.0, 2.4 및 2.6 mg/100 g으로 유의차가 없었다. 6주째 평균 TC값은 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃구에서 각각 2.2, 1.8, 1.4 및 1.6 mg/100 g으로 유의차가 없었다. 8주째 평균 TC값은 21℃구에서 2.9를 나타내었고, 24℃, 27℃ 및 30℃구에서 각각 2.1, 2.1 및 2.0 mg/100 g을 나타내어 21℃구가 24℃, 27℃ 및 30℃구보다 TC값이 유의하게 높았으며, 24℃, 27℃ 및 30℃구 사이에는 유의차가 없었다.

미국산 spirulina (SMU)를 공급한 비단잉어 치어의 2주째 평균 TC값은 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃구에서 각각 4.4, 4.1, 5.1 및 5.4 mg/100 g으로 유의차가 없었다. 4주째 평균 TC값은 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃구에서 각각 3.1, 2.3, 2.7 및 2.5 mg/100 g으로 유의차가 없었다. 6주째 평균 TC값은 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃구에서 각각 2.4, 2.6, 1.9 및 1.8 mg/100 g으로 유의차가 없었다. 8주째 평균 TC값은 21℃구에서 3.1을 나타내었고, 24℃, 27℃ 및 30℃구에서 각각 2.5, 2.5 및 2.4 mg/100 g을 나타내어 21℃구가 24℃, 27℃ 및 30℃구보다 TC값이 유의하게 높았으며, 24℃, 27℃ 및 30℃구 사이에는 유의차가 없었다.

수온과 실험 기간에 상관없이 중국산과 미국산 spirulina를 공급한 실험구 사이의 TC값은 차이가 없었다.

수온 21℃, 27℃ 및 30℃ 실험구의 경우 중국산과 미국산 spirulina에 상관없이 6주째까지 TC값이 감소하다가 8주째에 값이 높아지는 경향을 보였다. 수온 24℃에서 중국산 spirulina를 공급한 실험구의 경우 6주째까지 TC값이 감소하다가 8주째에 값이 높아졌고, 미국산 spirulina를 공급한 실험구의 경우 TC값이 6주째에서 값이 높아졌다가 8주째에 값이 조금 떨어지는 경향을 보였다.

실험 2주째와 8주째에서 TC값은 수온 차에 의한 영향을 받았으며, 실험 8주째에서는 spirulina 제품차에 의한 영향만을 받았다. 나머지 실험 기간 동안의 TC값은 수온 및 spirulina 제품차 각각의 영향을 받지 않았으며, 수온 및 spirulina 제품차에 의한 상호작용 역시 영향을 받지 않았다(Table 5).



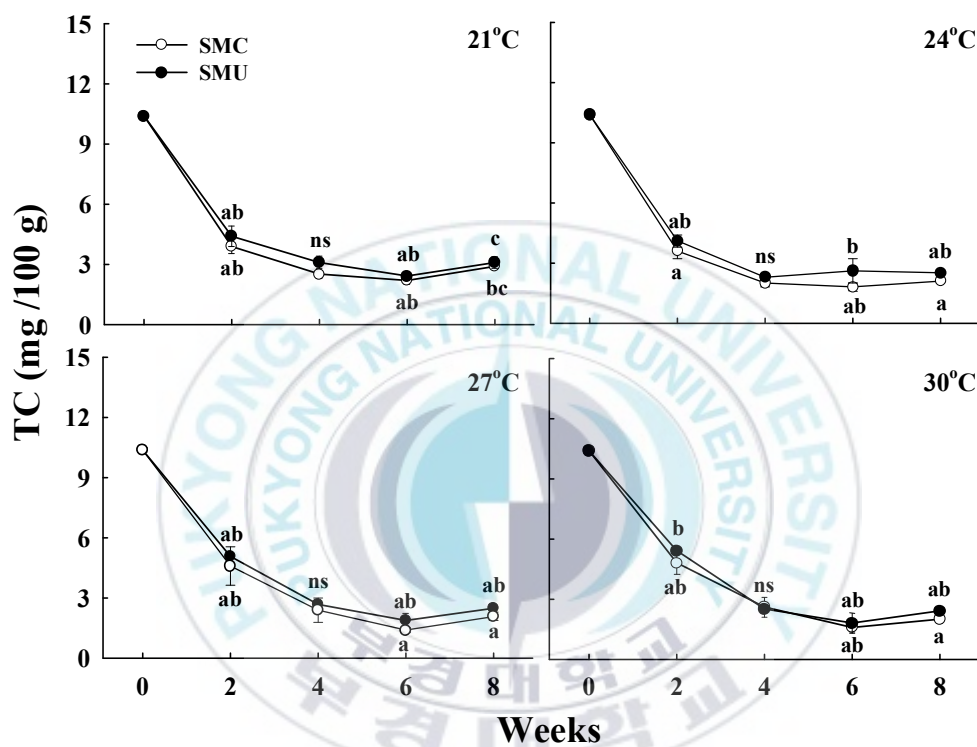


Fig. 5. Total carotenoid (TC) concentration of juvenile red and white colored carp fed diet of two different origin of spirulina, China (SMC) and the United States (SMU) under 4 different temperature conditions for 8 weeks. Values (means $\pm$ SE, $n = 15$) with different letters in the same week are significantly different ($p > 0.05$).

Table 5. Effects of temperature and dietary spirulina on the total carotenoid concentration (TC) of juvenile red and white colored carp analyzed by two-way ANOVA

	Feeding Weeks			
	2	4	6	8
Temperature	$p<0.66$	$p<0.99$	$p<0.92$	$p<0.49$
Spirulina	$p<0.38$	$p<0.78$	$p<0.31$	$p<0.04$
Interaction	$p<0.94$	$p<0.34$	$p<0.63$	$p<0.99$

나. 색도

8주간의 사육 실험 기간 동안 비단잉어 홍백 치어의 색도 변화를 Fig. 6, 7 및 8에 나타내었다. 실험 초기의 백색도(lightness, L), 적색도(redness, a), 황색도(yellowness, b)는 각각 62.2 ± 3.28 , 9.64 ± 0.63 , 25.31 ± 2.41 이었다.

중국산 spirulina (SMC)를 공급한 비단잉어 치어의 2주째 평균 L값은 21℃, 24℃ 그리고 30℃구에서 각각 62.4, 67.2 그리고 67.1로 나타나 24℃와 30℃구가 21℃구보다 유의하게 높았지만($p < 0.05$), 평균 63.5의 L값을 보인 27℃구와는 차이가 없었다. 4주째 평균 L값은 21℃, 24℃, 27℃ 그리고 30℃구에서 각각 66.0, 71.9, 69.3 그리고 70.4로 나타나, 24℃구가 21℃보다 유의하게 높았지만 다른 실험구 사이에는 차이가 없었다. 6주째 평균 L값은 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃구에서 각각 71.7, 70.9, 71.9 및 70.1로 유의차가 없었다. 8주째 평균 L값은 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃구에서 각각 66.8, 65.4, 64.2 및 65.4로 유의차가 없었다(Fig. 6).

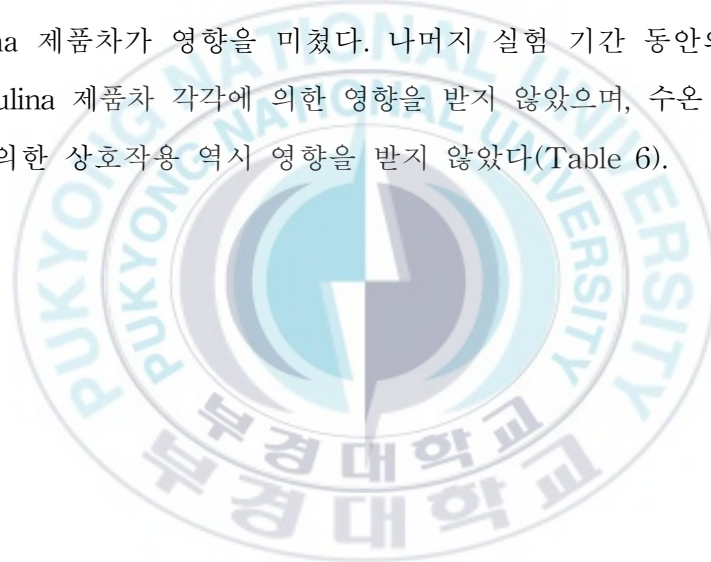
미국산 spirulina (SMU)를 공급한 비단잉어 치어의 2주째 평균 L값은 21℃, 24℃ 그리고 30℃구에서 각각 64.0, 68.4 그리고 68.0으로 나타나 24℃와 30℃구가 21℃구보다 유의하게 높았으며, 평균 65.1의 L값을 보인 27℃구와는 차이가 없었다. 4주째 평균 L값은 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃구에서 각각 68.5, 70.3, 67.6 및 68.1로 유의차가 없었다. 6주째 평균 L값은 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃구에서 각각 68.2, 69.7, 69.4 및 67.2로 유의차가 없었다. 8주째 평균 L값은 30℃구에서 65.2, 21℃구에서 60.7로 나타나 30℃구가 21℃구보다 유의하게 높았으며, 24℃와 27℃구의 평균 L값은 각각 64.3과 61.6으로 차이가 없었다.

실험이 이루어진 수온과 실험 기간에 상관없이 중국산과 미국산 spirulina를 공급한 실험구 사이의 L값은 차이가 없었다.

수온 21℃에서 중국산 spirulina를 공급한 실험구의 경우, 6주째까지 L값이 증가하다가 8주째에 값이 감소하였고, 미국산 spirulina를 공급한 실험구의 경우 4주째까지 L값이 증가하다가 6주째부터 값이 감소하였다.

수온 24℃와 30℃의 경우, 중국산과 미국산 spirulina를 공급한 실험구 모두에서 4주째까지 L값이 증가하다가 6주째부터 값이 감소하였다. 수온 27℃의 경우, 중국산과 미국산 spirulina를 공급한 실험구 모두에서 6주째까지 L값이 증가하다가 8주째부터 값이 떨어졌다.

2주째와 4주째에는 수온차가 L값에 영향을 미친 반면, 6주째와 8주째에는 spirulina 제품차가 영향을 미쳤다. 나머지 실험 기간 동안의 L값은 수온 및 spirulina 제품차 각각에 의한 영향을 받지 않았으며, 수온 및 spirulina 제품차에 의한 상호작용 역시 영향을 받지 않았다(Table 6).



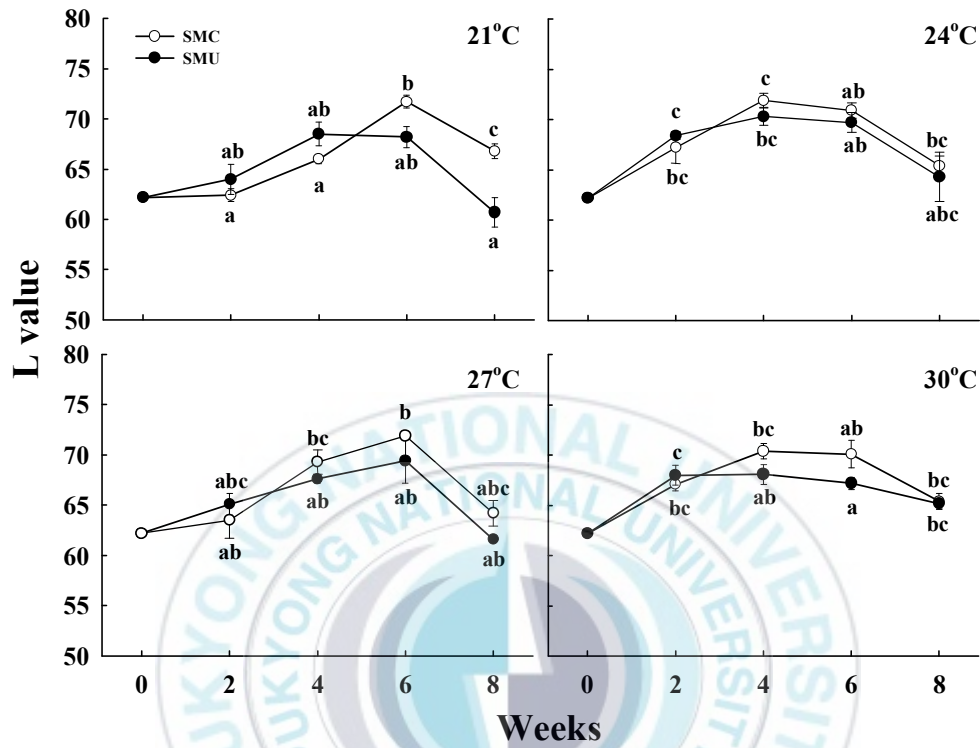


Fig. 6. Color parameters of lightness (L) value of juvenile red and white colored carp fed diet of two different origin of spirulina, China (SMC) and the United States (SMU) under 4 different temperature conditions for 8 weeks. Values (means $\pm$ SE, $n = 15$) with different letters in the same week are significantly different ($p > 0.05$).

Table 6. Effects of temperature and dietary spirulina on the color parameters of lightness (L) value of juvenile red and white colored carp analyzed by two-way ANOVA

	Feeding Weeks			
	2	4	6	8
Temperature	$p<0.01$	$p<0.01$	$p<0.34$	$p<0.24$
Spirulina	$p<0.13$	$p<0.24$	$p<0.01$	$p<0.01$
Interaction	$p<0.99$	$p<0.53$	$p<0.77$	$p<0.13$

중국산 spirulina (SMC)를 공급한 비단잉어 치어의 2주째 평균 a값은 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃ 실험구에서 각각 9.1, 9.0, 9.2 및 8.8로 유의차가 없었다. 4주째 평균 a값은 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃구에서 각각 8.6, 8.4, 8.0 및 8.7로 나타나, 30℃구가 27℃구 보다 유의하게 높았지만 다른 실험구 사이에는 차이가 없었다. 6주째 평균 a값은 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃구에서 각각 8.5, 8.5, 9.0 및 8.1로 나타나, 27℃구가 30℃구 보다 유의하게 높았지만 다른 실험구 사이에는 차이가 없었다. 8주째 평균 a값은 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃구에서 각각 9.3, 11.6, 9.3 및 9.9로 유의차가 없었다(Fig. 7).

미국산 spirulina (SMU)를 공급한 비단잉어 치어의 2주째 평균 a값은 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃구에서 각각 9.5, 9.1, 9.6 및 10.0으로 유의차가 없었다. 4주째 평균 a값은 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃구에서 각각 8.7, 8.4, 8.9 및 9.1로 나타나, 30℃구가 24℃구 보다 유의하게 높았지만 다른 실험구와는 유의차가 없었다. 6주째 평균 a값은 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃구에서 각각 8.7, 8.3, 8.9 및 8.8로 유의차가 없었다. 8주째 평균 a값은 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃구에서 각각 10.4, 10.5, 13.6 및 11.3으로 유의차가 없었다.

중국산과 미국산 spirulina를 공급한 실험구 사이의 평균 a값은 2주째 30℃구에서 중국산과 미국산 실험구의 a값이 각각 8.8과 10.0으로 유의차가 있었고, 4주째 27℃구에서 중국산과 미국산 실험구의 a값이 각각 8.0과 8.9로 유의차가 있었고, 8주째 27℃구에서 중국산과 미국산 실험구의 a값이 각각 9.3과 13.6으로 유의차가 있었으며, 나머지 수온 및 실험 기간에 상관없이 중국산과 미국산 spirulina를 공급한 실험구 사이의 a값은 차이가 없었다.

수온 21℃와 30℃구에서 중국산과 미국산 spirulina를 공급한 실험구의 경우, 6주째까지 a값이 감소하다가 8주째에 값이 높아졌다. 수온 27℃구에

서 중국산과 미국산 spirulina를 공급한 실험구의 경우, 4주째까지 a값이 감소하다가 6주째에 값이 높아졌다. 수온 24℃구에서 중국산 spirulina를 공급한 실험구에서는 4주째까지 a값이 감소하다가 6주째에 값이 높아졌고, 미국산 spirulina를 공급한 실험구에서는 6주째까지 a값이 감소하다가 8주째에 높아졌다.

4주째에서는 수온차가 a값에 영향을 미친 반면, 2주째와 4주째에서는 spirulina 제품차가 영향을 미쳤다. 나머지 실험 기간 동안의 a값은 수온 및 spirulina 제품차 각각에 의한 영향을 받지 않았으며, 수온 및 spirulina 제품차에 의한 상호작용 역시 영향을 받지 않았다(Table 7).

TC 함량과 색도 a값을 종합해 볼 때, 본 실험에 사용된 중국산과 미국산 spirulina 첨가 사료의 TC값은 각각 36.9 mg/100 g과 38.4 mg/100 g이었고, zeaxanthin값은 6.1 mg/100 g과 12.7 mg/100 g이었으며, astaxanthin값은 각각 0.6 mg/100 g과 1.6 mg/100 g으로 TC값은 비슷했지만, zeaxanthin과 astaxanthin 함량은 중국산에 비해 미국산이 각각 2와 2.5배 정도 높았다. 그러나 비단잉어의 a값과 TC값에서 차이를 보이지 않아 사료내 TC값, zeaxanthin 그리고 astaxanthin값이 각각 36.9~38.4 mg/100 g, 6.1~12.7 mg/100 g, 그리고 0.6~1.6 mg/100 g의 범위에서는 비단잉어의 체색을 개선시키는 데 제품간 차이는 없었다.

수온 21~30℃ 범위에서 중국산과 미국산 spirulina를 10%씩 첨가한 사료를 공급하였을 때, 사료 공급 후 a값과 TC값이 4~6주째 사이에서 높아졌다.

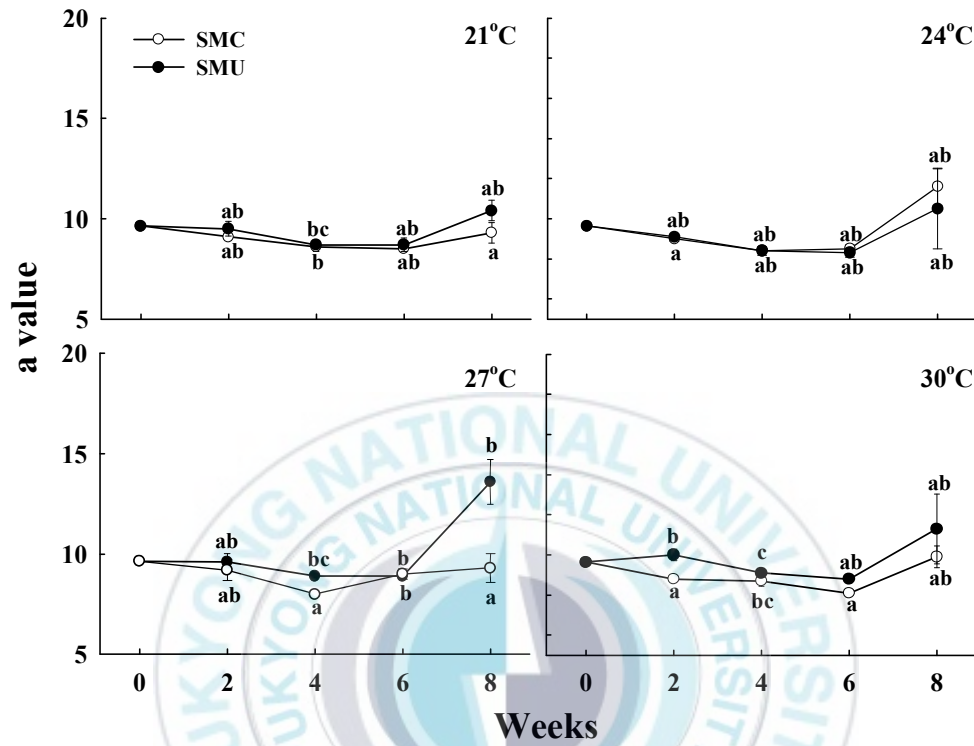


Fig. 7. Color parameters of redness (a) value of juvenile red and white colored carp fed diet of two different origin of spirulina, China (SMC) and the United States (SMU) under 4 different temperature conditions for 8 weeks. Values (means $\pm$ SE, $n = 15$) with different letters in the same week are significantly different ($p > 0.05$).

Table 7. Effects of temperature and dietary spirulina on the color parameters of redness (a) value of juvenile red and white colored carp analyzed by two-way ANOVA

	Feeding Weeks			
	2	4	6	8
Temperature	$p<0.56$	$p<0.03$	$p<0.10$	$p<0.55$
Spirulina	$p<0.02$	$p<0.01$	$p<0.25$	$p<0.10$
Interaction	$p<0.39$	$p<0.06$	$p<0.23$	$p<0.18$



중국산 spirulina (SMC)를 공급한 비단잉어 치어의 2주째 평균 b값은 21℃, 27℃ 및 30℃구에서 각각 21.6, 23.4 및 17.7로 나타나 21℃와 27℃구가 30℃구 보다 유의하게 높았지만, 평균 21.0의 b값을 보인 24℃구와는 유의차가 없었다. 4주째 평균 b값은 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃구에서 각각 22.0, 19.6, 18.1 및 15.2로 나타나 21℃구가 30℃구 보다 유의하게 높았지만 다른 실험구와는 유의차가 없었다. 6주째 평균 b값은 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃구에서 각각 25.9, 21.9, 20.0 및 17.5로 나타나 21℃와 24℃구가 30℃구 보다 유의하게 높았지만 다른 실험구와는 유의차가 없었다. 8주째 b값은 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃구에서 각각 25.4, 26.2, 21.5 및 22.7로 유의차가 없었다(Fig. 8).

미국산 spirulina (SMU)를 공급한 비단잉어 치어의 2주째 평균 b값은 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃구에서 각각 25.2, 24.7, 24.5 및 21.8로 유의차가 없었다. 4주째 평균 b값은 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃구에서 각각 27.6, 22.7, 23.3 및 21.0로 나타나 21℃구가 30℃구보다 유의하게 높았지만 다른 실험구와는 유의차가 없었다. 6주째 평균 b값은 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃구에서 각각 25.2, 24.3, 23.8 및 22.6으로 유의차가 없었다. 8주째 평균 b값은 21℃, 24℃ 및 27℃ 및 30℃구에서 각각 29.5, 24.2 및 31.1로 나타나 21℃와 27℃구가 24℃구 보다 유의하게 높았지만, 평균 27.0의 b값을 보인 30℃구와는 유의차가 없었다.

중국산과 미국산 spirulina를 공급한 실험구 사이의 평균 b값은 2주째 30℃구에서 중국산과 미국산의 b값이 각각 17.7과 21.8로 유의차가 있었고, 4주째 21℃와 30℃구에서 중국산과 미국산의 b값이 각각 22.0, 27.6과 15.2, 21.0으로 유의차가 있었고, 6주째 27℃와 30℃구에서 중국산과 미국산의 b값이 각각 20.0, 23.8과 17.5, 22.6으로 유의차가 있었고, 8주째 27℃구에서 중국산과 미국산의 b값이 각각 21.5와 31.1로 유의차가 있었으며, 나머지

수온 및 실험 기간에 상관없이 중국산과 미국산 spirulina를 공급한 실험구 사이의 b값은 유의차가 없었다.

각각의 수온 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃에서 8주째까지 시간이 경과함에 따라 일정한 경향을 보이는 L값과는 달리 b값은 일정한 규칙성을 보이지 않았다.

2주째, 4주째 및 6주째에는 수온차가 b값에 영향을 미친 반면, 2주째, 4주째, 6주째 및 8주째에서는 spirulina 제품차가 영향을 미쳤다. 8주째 b값은 수온차에 의한 영향을 받지 않았으나, 수온 및 spirulina 제품차에 의한 상호작용의 영향을 받았다(Table 8).



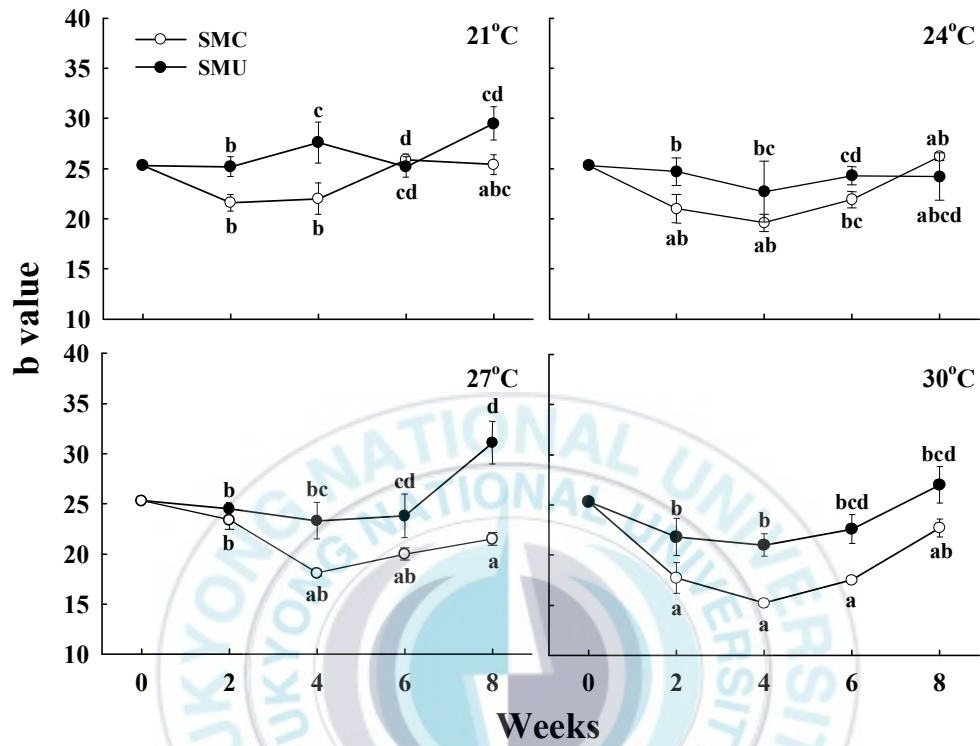


Fig. 8. Color parameters of yellowness (b) value of juvenile red and white colored carp fed diet of two different origin of spirulina, China (SMC) and the United States (SMU) under 4 different temperature conditions for 8 weeks. Values (means $\pm$ SE, $n = 15$) with different letters in the same week are significantly different ($p > 0.05$).

Table 8. Effects of temperature and dietary spirulina on the color parameters of yellowness (b) value of juvenile red and white colored carp analyzed by two-way ANOVA

	Feeding Weeks			
	2	4	6	8
Temperature	$p<0.02$	$p<0.01$	$p<0.01$	$p<0.35$
Spirulina	$p<0.01$	$p<0.01$	$p<0.01$	$p<0.01$
Interaction	$p<0.62$	$p<0.84$	$p<0.10$	$p<0.01$



나. 성장 및 사료효율

8주간의 사육 실험 후, 비단잉어 홍백의 생존율은 전 실험구에서 100%였으며, 비단잉어 홍백 치어의 성장률과 사료효율을 각각 Table 9와 10에 나타내었다.

중국산 spirulina (SMC)를 공급한 비단잉어 치어의 수온에 따른 성장률을 2주 간격으로 측정하여 평균한 결과, 수온 24℃, 27℃ 및 30℃구의 성장률은 각각 35.4%, 33.2% 및 35.9%로서 수온 21℃구의 24.1% 보다 유의하게 높았으며, 수온 24℃, 27℃ 및 30℃구 사이에는 유의차가 없었다(Table 9).

미국산 spirulina (SMU)를 공급한 비단잉어 치어의 수온에 따른 성장률을 2주 간격으로 측정하여 평균한 결과, 수온 24℃, 27℃ 및 30℃구의 성장률은 각각 35.0%, 33.2% 및 35.0%로서 수온 21℃구의 23.8% 보다 유의하게 높았으며, 수온 24℃, 27℃ 및 30℃구 사이에는 유의차가 없었다.

중국산과 미국산 spirulina를 공급한 실험구 사이의 성장률은 유의차가 없었다.

성장률은 수온차의 영향을 받았지만, spirulina 제품차에 의한 영향을 받지 않았다. 또한 수온 및 spirulina 제품차에 의한 상호작용 역시 성장률에 영향을 주지 않았다.

중국산 spirulina (SMC)와 미국산 spirulina (SMU)를 각각 공급한 실험구의 비단잉어 치어의 수온에 따른 사료효율은 실험구간에 유의차가 없었다(Table 10).

Table 9. Weight gain of juvenile colored carp fed two different origin of spirulina under 4 different temperature conditions for 8 weeks¹

Temperature (°C)	Spirulina	Weight gain (%) ²
21	SMC ³	24.1±0.27 ^a
	SMU ⁴	23.8±0.73 ^a
24	SMC	35.4±1.35 ^b
	SMU	35.0±0.94 ^b
27	SMC	33.2±0.81 ^b
	SMU	33.2±0.41 ^b
30	SMC	35.0±0.75 ^b
	SMU	35.9±1.12 ^b
<i>Two-way ANOVA</i>		
Temperature		<i>p</i> <0.01
Spirulina		<i>p</i> <0.23
Interaction		<i>p</i> <0.97

¹Values (mean ± SE of three replications) in the same column sharing a same superscript are not significantly different (*p*>0.05).

²100 × (final mean body weight - initial mean body weight)/initial mean body weight.

³Spirulina powder made in China.

⁴Spirulina powder made in USA.

Table 10. Feed efficiency of juvenile red and white colored carp fed two different origin of spirulina under 4 different temperature conditions for 8 weeks¹

Temperature (°C)	Spirulina	Feed efficiency(%) ²
21	SMC ³	73.7±1.99 ^{ns}
	SMU ⁴	69.8±2.31
24	SMC	75.4±2.80
	SMU	74.0±2.85
27	SMC	75.6±3.46
	SMU	75.5±0.57
30	SMC	75.6±1.68
	SMU	71.3±0.91
<i>Two-way ANOVA</i>		
Temperature		$p<0.39$
Spirulina		$p<0.14$
Interaction		$p<0.76$

¹Values (mean ± SE of three replications) in the same column sharing a same superscript are not significantly different ($p>0.05$).

²Fish wet weight gain × 100/feed intake (dry matter).

³Spirulina powder made in China.

⁴Spirulina powder made in USA.

^{ns}Not significant ($p>0.05$).

라. 경제성 분석

실험 기간 동안 비단잉어 치어 한 마리가 먹은 spirulina의 양과 원가를 계산하고 경제적인 착색제의 공급 방법 및 절감 비율을 Table 11에 나타내었다.

수온대별로 spirulina의 경제적인 공급 방법은 21℃의 경우는 중국산 spirulina를 8주간 공급하는 것이 효과적이며 미국산 spirulina만을 사용할 때에 비해 착색 비용을 90% 절감할 수 있으며, 24℃의 경우는 중국산의 spirulina를 8주간 공급하는 것이 효과적이며 미국산 spirulina만을 사용할 때에 비해 착색 비용을 90% 절감할 수 있었다.

27℃의 경우는 중국산 spirulina를 6주간 공급 한 후 2주간은 미국산 spirulina를 공급하는 것이 효과적이며 미국산 spirulina만을 사용할 때에 비해 착색 비용을 67% 절감할 수 있으며, 30℃의 경우는 중국산 spirulina를 8주간 공급하는 것이 효과적이며 미국산 spirulina만을 사용할 때에 비해 착색 비용을 89% 절감할 수 있었다.

21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃에서 미국산 spirulina를 사용할 때에 비해 착색 비용을 각각 90%, 90%, 67% 및 89% 절감할 수 있어 비단잉어 관상어가의 국제 경쟁력 강화에 큰 도움을 줄 것으로 판단된다.

사료 1 kg 기준으로 미국산 spirulina를 10% 첨가하면 착색 비용이 5,000원(미국산 spirulina 50,000원/kg)이 소요되나, 각 수온대별로 중국산 spirulina를 경제적으로 활용하면 500원에서 1,650원까지 크게 절약할 수 있었다.

Table 11. Total amount of spirulina supplied to each experimental fish for 8 weeks and its economic analysis

Temp. (°C)	Spirulina	Total spirulina dosage (g)/fish	Raw Price ³ (Korean Won)	Economic supply method	Discount percentage/ High level ⁴ (%)
21	SMC ¹	0.6±0.02	3	Diet A all supply	90
	SMU ²	0.6±0.01	30		
24	SMC	1.0±0.02	5	Diet A all supply	90
	SMU	1.0±0.03	50		
27	SMC	0.9±0.02	5	Until 6week (Diet A) After 6week (Diet B) supply	67
	SMU	0.9±0.01	45		
30	SMC	1.0±0.02	6	Diet A all supply	89
	SMU	1.1±0.02	55		

¹Spirulina powder made in China.

²Spirulina powder made in USA.

³Price (Diet A(g)×5,000 Won/kg, Diet B (g)×50,000 Won/kg).

⁴100% - {(price of economic supply method/price of all high price supply) × 100%}.

2. 착색제 종류별, 농도별 착색 효과

가. 총카로티노이드 함량

8주간 사육 실험 동안 비단잉어 홍백 치어의 carotenoid 함량 변화를 Fig. 9에 나타내었다. 실험 최초의 Total carotenoid (TC) 함량은 3.98 ± 0.29 mg/100 g였다.

SP, CH 와 AS를 함량별로 공급한 비단잉어 치어의 TC 값을 비교한 결과, 2주째, 4주째 및 6주째에서는 실험구간에 유의차가 없었다.

8주째에 SP 8% 첨가한 실험구가 2.8 로 1.9와 2.0을 보인 SP 6%, AS 40 ppm 첨가한 실험구보다 유의하게 높았으며, SP 4%, 10% 와 CH 4%, 6%, 8%, 10% 및 AS 60 ppm, 80 ppm, 100 ppm 첨가한 실험구 각각 2.2, 2.2, 2.5 2.7, 2.2, 2.4, 2.3, 2.1 및 2.7 mg/100 g으로 유의차가 없었다.

TC값은 8주째까지 감소하였으며, 실험 8주째에서 대조구에 비해 전 실험구가 대체로 높은 값을 나타내었고, SP 8%와 CH 4%, 6% 및 AS 100 ppm 첨가구는 유의하게 높은 값을 나타내었다.

TC값은 4주째에서만 착색제 종류에 따른 영향을 받았고, 착색제 함량에 따른 영향을 받지 않았으며, 8주째에서만 착색제 종류 및 함량차에 의한 상호작용 영향을 받았다(Table 12).

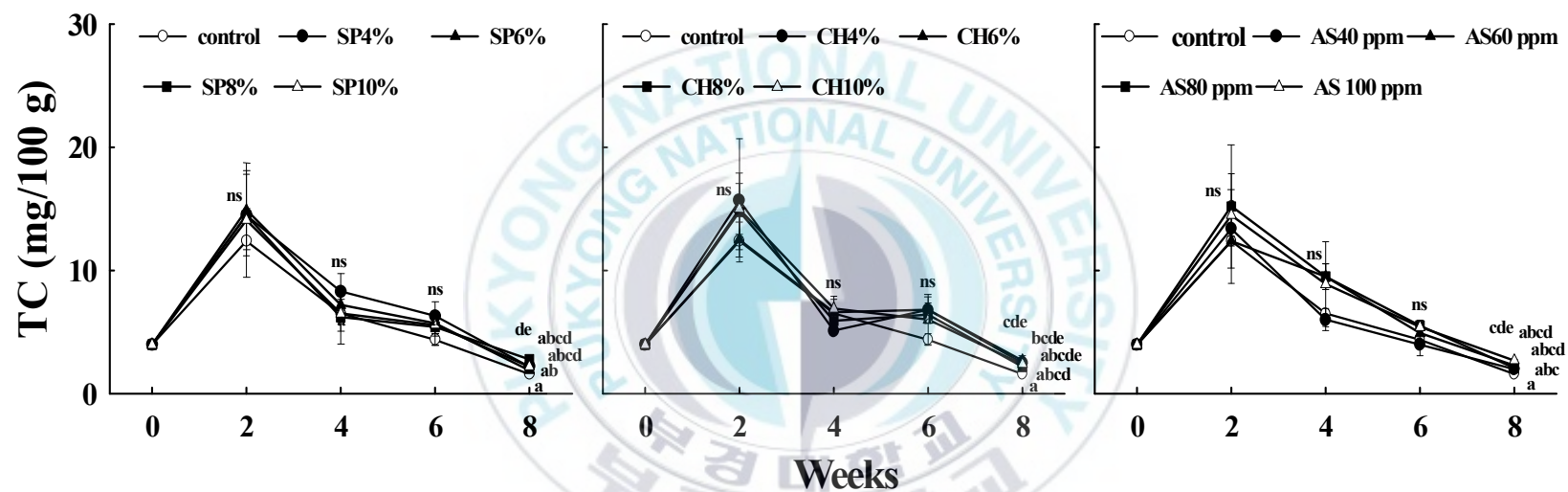


Fig 9. Total carotenoid (TC) concentration of juvenile red and white colored carp fed three different color agents, spirulina (SP), chlorella (CH) and astaxanthin (AS) with each of 4 different concentrations for 8 weeks. Values (means $\pm$ SE, n = 10) with different letters in the same week are significantly different ($p > 0.05$).

Table 12. Effects of treatment and concentration on the total carotenoid (TC) concentration of juvenile red and white colored carp analyzed by two-way ANOVA

	Feeding Weeks			
	2	4	6	8
Treatment	$p<0.50$	$p<0.01$	$p<0.12$	$p<0.63$
Concentration	$p<0.57$	$p<0.60$	$p<0.99$	$p<0.36$
Interaction	$p<0.71$	$p<0.21$	$p<0.85$	$p<0.03$



나. 색도

8주간의 사육 실험 기간 동안 비단잉어 홍백 치어의 색도 변화를 Fig. 10, 11 및 12에 나타내었다. 실험 초기의 백색도(lightness, L), 적색도(redness, a), 황색도(yellowness, b)는 각각 63.06 ± 5.29 , 9.29 ± 0.99 , 24.48 ± 2.89 이었다.

중국산 spirulina (SP)를 4%, 6%, 8% 및 10%를 함량별로 공급한 비단잉어 치어를 대조구(CON)와 L값을 비교한 결과, 2주째에서는 SP 10% 첨가한 실험구가 59.5로 대조구 55.3 보다 유의하게 높았으며, SP 6%, 8% 첨가한 실험구 각각의 L값 55.0과 54.9 보다 유의하게 높았으며($p < 0.05$), SP 4%를 첨가한 실험구의 L값 55.8과는 유의차가 없었다(Fig. 10). 4주째에서는 대조구의 L값이 68.1로 SP 8% 첨가한 실험구 60.9 보다 유의하게 높았다. SP 4%, 6% 및 10%를 첨가한 실험구의 L값은 각각 64.0, 61.5 및 63.3으로 유의차가 없었고, 6주째와 8주째에서는 대조구와 SP 첨가한 모든 실험구간에서 유의차가 없었다.

Chlorella (CH)를 4%, 6%, 8% 및 10%를 함량별로 공급한 비단잉어 치어를 대조구와 L값을 비교한 결과, 2주째에서는 CH 10% 첨가한 실험구가 59.7로 대조구 55.3보다 유의하게 L값이 높았으며, CH 4%, 6% 및 8%를 첨가한 실험구 각각의 L값 56.2, 58.7 및 59.2간에는 유의차가 없었다. 4주째, 6주째 및 8주째에서는 대조구와 CH 첨가한 실험구간에는 유의차가 없었다.

Astaxanthin (AS)을 40 ppm, 60 ppm, 80 ppm 및 100 ppm을 함량별로 공급한 비단잉어 치어를 대조구와 L값을 비교한 결과, 2주째에서는 AS 60 ppm과 80 ppm을 첨가한 실험구가 각각 60.5와 61.6으로 대조구 55.3 보다 유의하게 L값이 높았으며, AS 40 ppm과 100 ppm을 첨가한 실험구 각각의 L값 56.7과 57.0간에는 유의차가 없었다. 4주째에서는 대조구가 68.1로

AS 60 ppm, 80 ppm 및 100 ppm을 첨가한 실험구 각각의 L값 60.4, 60.3 및 59.6 보다 유의하게 높았으나, AS 40 ppm을 첨가한 실험구에서의 L값 64.6간에는 유의차가 없었다. 6주째와 8주째에서는 대조구와 AS 첨가한 실험구간에서 유의차가 없었다.

SP, CH 와 AS 실험구의 함량별 모든 실험구에서 L값의 경우, 시간이 경과함에 따라 일정한 규칙성을 보이지 않았다.

SP, CH 와 AS를 함량별로 공급한 비단잉어 치어의 L값을 비교한 결과, 2주째에서는 AS 80 ppm 첨가한 실험구의 L값이 61.6으로 SP 4%, 6%, 8%와 CH 4% 및 AS 40 ppm, 100 ppm 첨가한 실험구 각각의 55.8, 55.1, 54.9, 56.2, 56.7 및 57.0 보다 유의하게 높았으며, SP 10%와 CH 6%, 8%, 10% 및 AS 60 ppm, 80 ppm을 첨가한 실험구 각각 59.5, 58.7, 59.2, 59.7, 60.5 및 57.0간에는 유의차가 없었다. 4주째, 6주째 및 8주째 실험에서는 전 실험구간에서 유의차가 없었다.

L값은 2주째에서만 착색제 종류에 따른 영향을 받았고, 착색제 함량에 따른 영향은 받지 않았으며, 2주째에서만 착색제 종류 및 함량차에 의한 상호작용 영향을 받았다(Table 13).

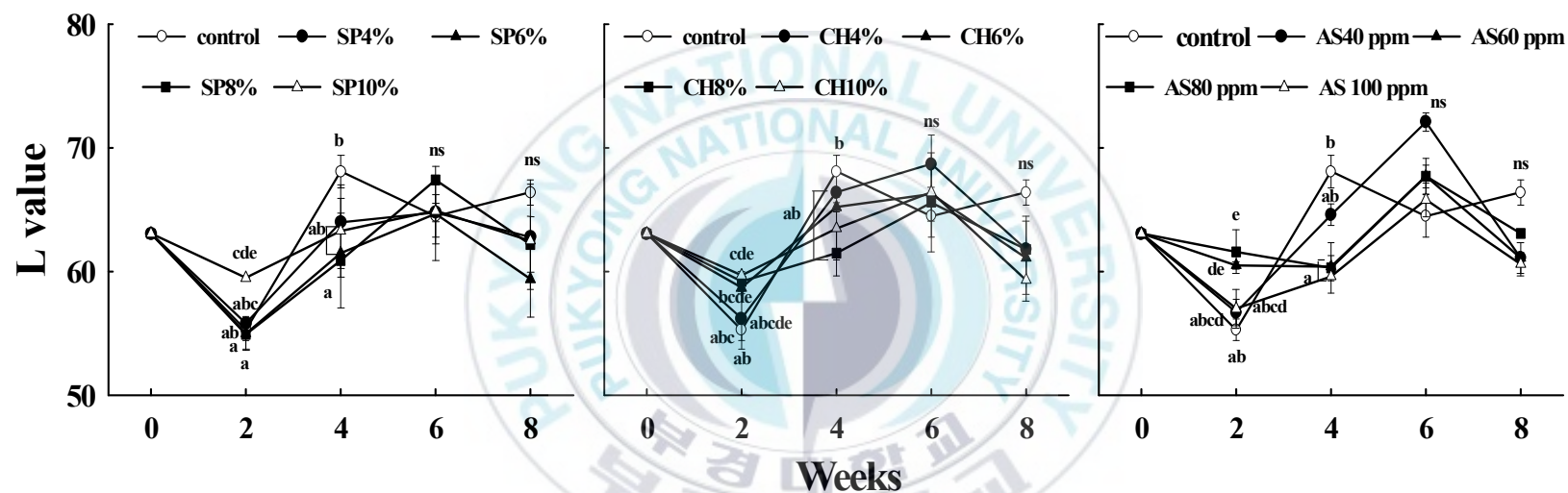


Fig. 10. Color parameters of lightness (L) value of juvenile red and white colored carp fed three different color agents, spirulina (SP), chlorella (CH) and astaxanthin (AS) with each of 4 different concentrations for 8 weeks. Values (means $\pm$ SE, n = 10) with different letters in the same week are significantly different ($p > 0.05$).

Table 13. Effects of treatment and concentration on the color parameters of lightness (L) value of juvenile red and white colored carp analyzed by two-way ANOVA

	Feeding Weeks			
	2	4	6	8
Treatment	$p<0.02$	$p<0.17$	$p<0.26$	$p<0.89$
Concentration	$p<0.92$	$p<0.14$	$p<0.52$	$p<0.68$
Interaction	$p<0.04$	$p<0.90$	$p<0.75$	$p<0.92$



중국산 spirulina (SP)를 4%, 6%, 8% 및 10%를 함량별로 공급한 비단잉어 치어를 대조구와 a값에 대하여 비교한 결과, 2주째에서는 대조구 9.0과 SP를 4%, 6%, 8% 및 10%를 첨가한 실험구가 각각 9.7, 9.9, 9.7 및 9.0으로 실험구간에 유의차가 없었다. 4주째에서는 대조구 8.9에 대하여 SP를 4%, 6%, 8% 및 10%를 첨가한 실험구가 각각 9.6, 9.6, 10.1 및 9.8로 실험구간에 유의차가 없었다. 6주째에서는 대조구 7.8에 대하여 SP를 4%, 6%, 8% 및 10%를 첨가한 실험구가 각각 9.0, 9.0, 9.0 및 9.2로 전반적으로 높았으나 통계적으로는 유의차가 없었다. 그러나 8주째에서는 SP를 4%, 6%, 8% 및 10%를 첨가한 실험구의 a값이 각각 11.1, 12.6, 12.3 및 12.0으로 대조구 7.3 보다 유의하게 높았다(Fig. 11).

Chlorella (CH)를 4%, 6%, 8% 및 10%를 함량별로 공급한 비단잉어 치어를 대조구와 a값을 비교한 결과, 2주째에서는 대조구 9.0에 대하여 CH 4%, 6%, 8% 및 10%를 첨가한 실험구가 각각 9.2, 9.4, 9.4 및 9.1로 실험구간에 통계적인 유의차가 없었다. 4주째에서는 대조구 8.9에 대하여 CH를 4%, 6%, 8% 및 10%를 첨가한 실험구가 각각 9.3, 9.0, 9.8 및 9.1로 실험구간에 유의차가 없었다. 6주째에서도 대조구 7.8에 대하여 CH를 4%, 6%, 8% 및 10%를 첨가한 실험구가 각각 8.5, 9.0, 9.3 및 9.0으로 실험구간에 통계적인 유의차가 없었다. 반면에 8주째에서는 CH를 4%, 6%, 8% 및 10%를 첨가한 실험구의 a값이 각각 11.4, 11.8, 11.3 및 11.9로 대조구 7.3 보다 유의하게 높았다.

Astaxanthin (AS)을 40 ppm, 60 ppm, 80 ppm 및 100 ppm을 함량별로 공급한 비단잉어 치어를 대조구와 a값을 비교한 결과, 2주째에서는 AS 100 ppm 첨가한 실험구가 11.6으로 대조구 9.0 보다 유의하게 높았으나, AS 40 ppm, 60 ppm과 80 ppm 각각 9.6, 10.3과 10.8간에는 유의차가 없었다. 4주째에서는 AS 80 ppm과 100 ppm 첨가한 실험구가 각각 12.2, 12.3

으로 대조구, AS 40 ppm과 60 ppm 첨가한 실험구가 각각 8.9, 9.6과 10.6 보다 유의하게 높았으며, AS 60 ppm 실험구가 대조구 보다 유의하게 높았으나, AS 40 ppm 실험구 9.6과는 유의차가 없었다. 6주째에서는 AS 60 ppm, 80 ppm 및 100 ppm 첨가한 실험구가 각각 13.7, 13.8 및 15.9로 대조구와 AS 40 ppm 첨가한 실험구가 각각 7.8, 10.7 보다 유의하게 높았으며, AS 40 ppm 실험구가 10.7로 대조구 7.8 보다 유의하게 높았다. 8주째에서는 AS 40 ppm, 60 ppm, 80 ppm 및 100 ppm 첨가한 실험구가 각각 16.1, 16.1, 15.4 및 18.0으로 대조구 7.3 보다 모든 실험구가 유의하게 높았으나, AS 40 ppm, 60 ppm, 80 ppm 및 100 ppm 실험구간에는 유의차가 없었다.

SP 4%, 6%, 8%, 10% 및 CH 4%, 6%, 8%, 10% 실험구에서 a값의 경우, 6주째까지 시간이 경과함에 따라 a값이 감소하다가 8주째에서 a값이 증가하였다. AS 40 ppm, 60 ppm, 80 ppm 및 100 ppm 모든 실험구에서 처음 2주째부터 a값이 증가하였다.

SP, CH 와 CP를 함량별로 공급한 비단잉어 치어의 a값을 비교한 결과, 2주째에서는 AS 100 ppm 첨가한 실험구가 11.6으로 SP 10%, CH 4%, 6%, 8% 및 10% 첨가한 실험구의 a값 각각 9.0, 9.2, 9.4, 9.4 및 9.1 보다 유의하게 높았으며, SP 4%, 6%, 8%와 AS 40 ppm, 60 ppm 및 80 ppm을 첨가한 실험구의 a값 각각 9.7, 9.9, 9.7, 9.6, 10.3 및 10.8간에는 유의차가 없었다. 4주째에서는 AS 80 ppm, 100 ppm 첨가한 실험구의 a값이 각각 12.2, 12.3으로 SP 4%, 6%, 8%, 10%와 CH 4%, 6%, 8%, 10% 및 AS 40 ppm과 60ppm 첨가한 실험구의 a값 각각 9.6, 9.6, 10.1, 9.8, 9.3, 9.0, 9.8, 9.1, 9.6 및 10.6 보다 유의하게 높았으며, AS 60 ppm 첨가한 실험구의 a값이 10.6으로 SP 8%, CH 6% 및 10% 첨가한 실험구의 a값 각각 10.1, 9.0 및 9.1 보다 유의하게 높았으나, SP 4%, 6%와 CH 4% 및 8% 첨가한 실험구의 a값 각각 9.6, 9.6, 9.3 및 9.6간에는 유의차가 없었다. 6주째에서

는 AS 60 ppm, 80 ppm 및 100 ppm 첨가한 실험구의 a값 각각 13.7, 13.8 및 15.9로 SP 4%, 6%, 8%, 10%와 CH 4%, 6%, 8%, 10% 및 AS 40 ppm 첨가한 실험구의 a값 각각 9.0, 9.0, 9.0, 9.2, 8.5, 9.0, 9.3, 9.0 및 10.7 보다 유의하게 높았으나, SP 4%, 6%, 8%, 10%와 CH 4%, 6%, 8%, 10% 및 AS 40 ppm 첨가한 실험구간에는 유의차가 없었다. 8주째에서는 AS 40 ppm, 60 ppm, 80 ppm 및 100 ppm 첨가한 실험구의 a값 각각 16.1, 16.1, 15.4 및 18.0으로 SP 4%, 6%, 8%, 10%와 CH 4%, 6%, 8% 및 10% 첨가한 실험구의 a값 각각 11.1, 12.6, 12.3, 12.0, 11.4, 11.8, 11.3 및 11.9 보다 유의하게 높았으나, SP 4%, 6%, 8%, 10%와 CH 4%, 6%, 8% 및 10% 첨가한 실험구간에는 유의차가 없었다.

a값은 2주째, 4주째, 6주째 및 8주째에서 착색제 종류에 따른 영향을 받았고, 또한 4주째와 6주째에서만 착색제 함량에 따른 영향을 받았으며, 착색제 종류 및 함량차에 의한 상호작용은 영향을 받지 않았다(Table 14).

TC 함량과 색도 a값을 종합해 볼 때, 착색제를 첨가하지 않은 대조구 사료는 TC 함량이 2.70 mg/100 g, astaxanthin과 zeaxanthin이 불검출 되어 시간이 경과함에 따라 비단잉어의 TC값 및 a값이 계속 감소하면서 비단잉어의 빨간색이 옅어지는 결과를 나타내었다.

SP 4%, 6%, 8% 및 10%를 섞은 사료 속에 함유된 TC, astaxanthin 및 zeaxanthin의 함량과 비단잉어 치어의 a값에 대해 분석한 결과, SP 4% (TC 14.9 mg/100 g, astaxanthin 0.23 mg/100 g, zeaxanthin 2.57 mg/100 g), 6% (TC 23.3 mg/100 g, astaxanthin 0.36 mg/100 g, zeaxanthin 3.63 mg/100 g), 8% (TC 29.75 mg/100 g, astaxanthin 0.52 mg/100 g, zeaxanthin 5.25 mg/100 g) 및 10% (TC 37.0 mg/100 g, astaxanthin 0.64 mg/100 g, zeaxanthin 6.12 mg/100 g) 첨가한 사료를 공급한 후 시간이 경과함에 따라 6주째까지 a값이 감소하다가 8주째에서 a값이 증가하여 대

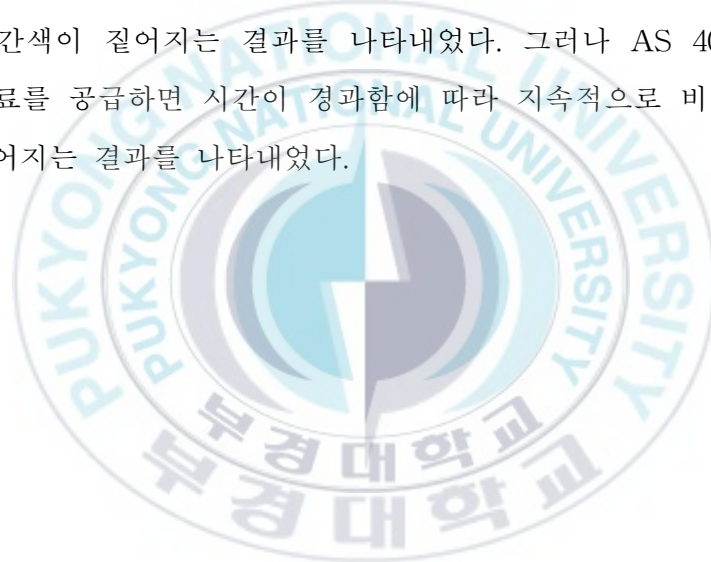
조구보다 유의하게 높은 적색도를 나타내었다. 그리고 2주째, 4주째, 6주째 및 8주째 모두에서 SP의 첨가량을 증가시켜도 비단잉어의 a값에서는 유의차를 나타내지 않아 적색도면에서 같은 효과를 나타내었다.

CH 4%, 6%, 8% 및 10%를 섞은 사료 속에 함유된 TC, astaxanthin 및 zeaxanthin의 함량과 비단잉어 치어의 a값에 대해 분석한 결과, CH 4% (TC 21.1 mg/100 g, astaxanthin 0.0035 mg/100 g, zeaxanthin 0.54 mg/100 g), 6% (TC 36.0 mg/100 g, astaxanthin 0.0058 mg/100 g, zeaxanthin 0.622 mg/100 g), 8% (TC 46.3 mg/100 g, astaxanthin 0.0083 mg/100 g, zeaxanthin 0.78 mg/100 g) 및 10% (TC 58.5 mg/100 g, astaxanthin 0.011 mg/100 g, zeaxanthin 1.13 mg/100 g) 첨가한 사료를 공급한 후 시간이 경과함에 따라 6주째까지 a값이 감소하다가 8주째에서 a값이 증가하여 대조구보다 유의하게 높은 적색도를 나타내었다. 그리고 2주째, 4주째, 6주째 및 8주째 모두에서 CH의 첨가량을 증가시켜도 비단잉어의 a값에서는 유의차를 나타내지 않아 적색도면에서 같은 효과를 나타내었다.

AS 40 ppm, 60 ppm, 80 ppm 및 100 ppm을 섞은 사료 속에 함유된 TC, astaxanthin 및 zeaxanthin의 함량과 비단잉어 치어의 a값에 대해 분석한 결과, AS 40 ppm (TC 43.0 mg/100 g, astaxanthin 45.4 mg/100 g, zeaxanthin 0.68 mg/100 g), 60 ppm (TC 63.3 mg/100 g, astaxanthin 66.0 mg/100 g, zeaxanthin 0.94 mg/100 g), 80 ppm (TC 78.8 mg/100 g, astaxanthin 77.2 mg/100 g, zeaxanthin 1.35 mg/100 g) 및 100 ppm (TC 106.5 mg/100 g, astaxanthin 101.7 mg/100 g, zeaxanthin 1.76 mg/100 g) 첨가한 사료를 공급한 후 시간이 경과함에 따라 2주째부터 계속 a값이 증가하여 계속 대조구보다 유의하게 높은 적색도를 나타내었다. 그리고 4주째에서 AS 80 ppm 과 100 ppm 첨가구가 SP와 CH 전 실험구보다 유의

하게 높은 적색도 a값을 나타내었으며, 6주째에서 AS 60 ppm, 80 ppm 과 100 ppm 첨가구가 SP와 CH 전 실험구보다 유의하게 높은 적색도 a값을 나타내었으며, 8주째에서 AS 전 실험구가 SP와 CH 전 실험구보다 유의하게 높은 적색도 a값을 나타내었다. 그리고 2주째, 4주째 및 6주째까지는 AS의 첨가함량이 높을수록 비단잉어의 a값이 유의하게 높은 결과를 나타내어 차이를 보였으나, 8주째에서는 AS의 첨가 함량차에 의한 유의차를 나타내지 않아 적색도면에서 같은 효과를 나타내었다.

SP와 CH를 각각 4~10%씩 첨가한 사료를 공급하면 6주째 이후에 비단잉어의 빨간색이 짙어지는 결과를 나타내었다. 그러나 AS 40~100 ppm 첨가한 사료를 공급하면 시간이 경과함에 따라 지속적으로 비단잉어의 빨간색이 짙어지는 결과를 나타내었다.



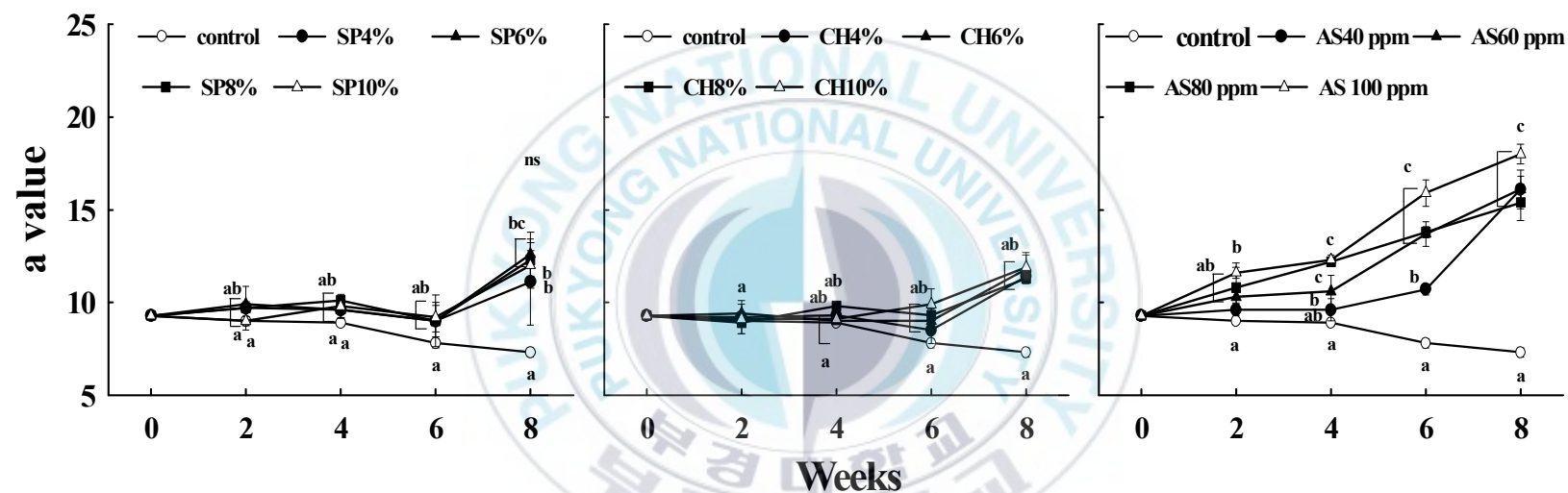


Fig 11. Color parameters of redness (a) value of juvenile red and white colored carp fed three different color agents, spirulina (SP), chlorella (CH) and astaxanthin (AS) with each of 4 different concentrations for 8 weeks. Values (means $\pm$ SE, n = 10) with different letters in the same week are significantly different ($p > 0.05$).

Table 14. Effects of treatment and concentration on the color parameters of redness (a) value of juvenile red and white colored carp analyzed by two-way ANOVA

	Feeding Weeks			
	2	4	6	8
Treatment	$p<0.03$	$p<0.01$	$p<0.01$	$p<0.01$
Concentration	$p<0.87$	$p<0.01$	$p<0.01$	$p<0.58$
Interaction	$p<0.50$	$p<0.07$	$p<0.10$	$p<0.81$



중국산 spirulina (SP)를 4%, 6%, 8% 및 10%를 함량별로 공급한 비단잉어 치어를 대조구와 b값을 비교한 결과, 2주째에서는 SP 4%, 6% 및 10% 첨가한 실험구의 b값이 각각 22.3, 22.3 및 20.9로 대조구 13.9% 보다 유의하게 높았으나, SP 8%를 첨가한 실험구의 b값 18.3간에는 유의차가 없었다(Fig. 12). 4주째에서는 대조구와 SP 첨가한 실험구간에는 유의차가 없었다. 6주째에서는 SP 6%와 8% 실험구가 각각 22.9와 23.7으로 대조구 18.8 보다 유의하게 b값이 높았으나, SP 4%와 10%를 첨가한 실험구 각각의 b값 21.7과 21.3간에는 유의차가 없었다. 8주째에서는 SP 4%, 6%, 8% 및 10% 실험구의 b값이 각각 24.9, 26.6, 25.1 및 25.1로 대조구 18.4 보다 유의하게 높았다.

Chlorella (CH)를 4%, 6%, 8% 및 10%를 함량별로 공급한 비단잉어 치어를 대조구와 b값을 비교한 결과, 2주째에서는 CH 4%, 6%, 8% 및 10% 실험구의 b값이 각각 20.3, 21.3, 22.1 및 21.7로 대조구의 b값 13.9 보다 유의하게 높았다. 4주째에서는 CH 8%와 10% 실험구의 b값이 각각 26.1과 23.6으로 대조구 17.9 보다 유의하게 높았으며, CH 4%와 6%를 첨가한 실험구 각각의 b값 23.4과 23.0간에는 유의차가 없었다. 6주째에서는 CH 10% 실험구가 26.9로 대조구와 CH 4% 실험구 각각의 b값 18.8과 22.6 보다 유의하게 높았으나, CH 6%와 8%를 첨가한 실험구 각각의 b값 24.4와 25.2간에는 유의차가 없었다. 8주째에서는 CH 4%, 6%, 8% 및 10% 실험구 각각 25.4, 26.4, 25.8 및 26.9로 대조구의 b값 18.4 보다 유의하게 높았다.

Astaxanthin (AS)을 40 ppm, 60 ppm, 80 ppm 및 100 ppm을 함량별로 공급한 비단잉어 치어를 대조구와 b값을 비교한 결과, 2주째에서는 AS 40 ppm, 60 ppm, 80 ppm 및 100 ppm을 첨가한 실험구의 b값이 각각 20.9,

23.2, 19.6 및 23.5로 대조구 13.9 보다 유의하게 높았다. 4주째에서는 AS 40 ppm, 60 ppm, 80 ppm 및 100 ppm을 첨가한 실험구 각각 24.8, 23.9, 26.8 및 27.6으로 대조구 17.9 보다 유의하게 b값이 높았다. 6주째에서는 AS 60 ppm, 80 ppm 및 100 ppm을 첨가한 실험구가 각각 26.0, 24.8 및 26.9로 대조구 18.8 보다 유의하게 b값이 높았으나, AS 40 ppm 21.9간에는 유의차가 없었다. 8주째에서는 AS 40 ppm, 60 ppm, 80ppm 및 100 ppm을 첨가한 실험구가 각각 29.8, 29.4, 26.9 및 28.9로 대조구 18.4 보다 유의하게 b값이 높았다.

SP, CH 와 AS를 함량별로 공급한 비단잉어 치어의 b값을 비교한 결과, 2주째에서는 AS 100 ppm 첨가한 실험구의 b값이 23.5로 SP 8% 첨가한 실험구 18.3 보다 유의하게 높았으나, CH 4%, 6%, 8%, 10% 와 SP 4%, 6%, 10% 및 AS 40 ppm, 60 ppm 및 80 ppm을 첨가한 실험구의 b값이 각각 22.3, 22.3, 20.9, 20.3, 21.3, 22.1, 21.7, 20.9, 23.2 및 19.6간에는 유의차가 없었다. 4주째에서는 AS 100 ppm 첨가한 실험구의 b값이 27.6으로 SP 4%, 8% 및 10% 첨가한 실험구 각각 21.8, 21.4 및 21.8 보다 유의하게 높았으나, SP 6%, CH 4%, 6%, 8%, 10% 와 AS 40 ppm, 60 ppm 및 80 ppm 첨가한 실험구의 b값 각각 22.7, 23.4, 23.0, 26.1, 23.6, 24.8, 23.9 및 26.8 간에는 유의차가 없었다. 6주째에서는 CH 10% 와 AS 100 ppm 첨가한 실험구의 b값이 각각 26.9, 26.9로 SP 4%, 10% 와 CH 4% 및 AS 40 ppm 첨가한 실험구 각각 21.7, 21.3, 22.6 및 21.9 보다 유의하게 높았으나, SP 6%, 8%와 CH 6%, 8%, 10% 및 AS 60 ppm, 80 ppm 첨가한 실험구 간에서는 유의차가 없었다. 8주째에서는 전 실험구간에 유의차가 없었다.

SP, CH 와 AS 함량별 모든 실험구에서 b값의 경우, 시간이 경과함에 따라 일정한 규칙성을 보이지 않았다.

b값은 4주째, 6주째 및 8주째에서만 착색제 종류에 따른 영향을 받았고,

6주째에서만 착색제 함량에 따른 영향을 받았으며, 착색제 종류 및 함량차에 의한 상호작용은 영향을 받지 않았다(Table 15).



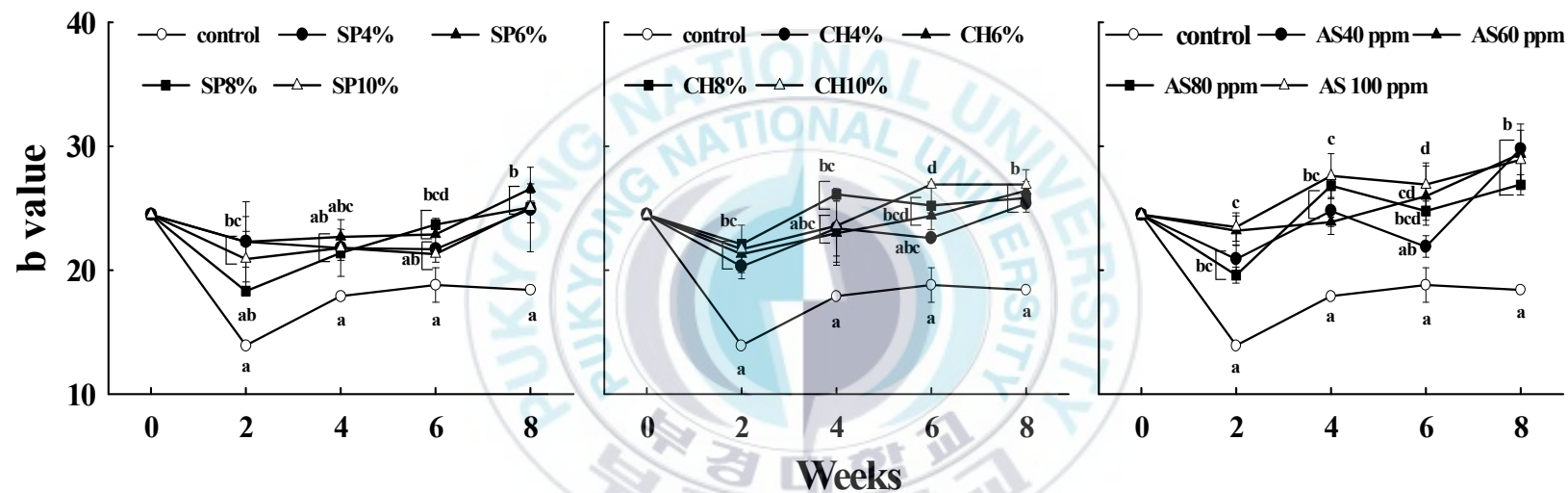


Fig 12. Color parameters of yellowness (b) value of juvenile red and white colored carp fed three different color agents, spirulina (SP), chlorella (CH) and astaxanthin (AS) with each of 4 different concentrations for 8 weeks. Values (means $\pm$ SE, n = 10) with different letters in the same week are significantly different ($p > 0.05$).

Table 15. Effects of treatment and concentration on the color parameters of yellowness (b) value of juvenile red and white colored carp analyzed by two-way ANOVA

	Feeding Weeks			
	2	4	6	8
Treatment	$p<0.74$	$p<0.03$	$p<0.02$	$p<0.02$
Concentration	$p<0.30$	$p<0.63$	$p<0.03$	$p<0.67$
Interaction	$p<0.50$	$p<0.74$	$p<0.27$	$p<0.91$



다. 성장 및 사료효율

8주간의 사육 실험 후, 비단잉어 홍백의 생존율은 전 실험구간에서 차이가 없었으며($p>0.05$), 성장률과 사료효율을 각각 Table 16과 17에 나타내었다.

착색제의 종류와 농도를 달리하여 2주 간격으로 성장률 및 사료효율을 측정하여 평균한 결과 실험구간에 유의차가 없었다.



Table 16. Weight gain of juvenile colored carp fed three different color agents, spirulina (SP), chlorella (CH) and astaxanthin (AS) with each of 4 different concentration conditions for 8 weeks¹

Treatment	Concentration	Weight gain (%) ²
CON ³	0%	29.0±0.85 ^{ns}
SP ⁴	4%	27.2±1.80
	6%	28.3±2.15
	8%	31.8±0.40
	10%	28.3±1.95
CH ⁵	4%	33.5±0.70
	6%	29.6±1.30
	8%	31.5±1.30
	10%	29.5±6.10
AS ⁶	40 ppm	32.0±0.30
	60 ppm	30.8±0.15
	80 ppm	32.3±1.95
	100 ppm	30.7±0.05
<i>Two-way ANOVA</i>		
Temperature		$p<0.25$
Concentration		$p<0.50$
Interaction		$p<0.83$

¹Values (mean ± SE of two replications) in the same column sharing a same superscript are not significantly different ($p>0.05$).

² $100 \times (\text{final mean body weight} - \text{initial mean body weight}) / \text{initial mean body weight}$

³CON = Control group, ⁴SP = Spirulina powder group, ⁵CH = Chlorella powder group,

⁶AS = Astaxanthin powder group

^{ns}Not significant ($p>0.05$).

Table 17. Feed efficiency 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 weeks¹

Treatment	Concentration	Feed efficiency(%) ²
CON ³	0%	85.6±2.90 ^a
SP ⁴	4%	84.8±4.60 ^a
	6%	89.3±8.85 ^{ab}
	8%	93.5±2.80 ^{ab}
	10%	86.4±3.20 ^a
CH ⁵	4%	97.9±3.15 ^{ab}
	6%	86.5±1.00 ^a
	8%	95.8±0.75 ^{ab}
	10%	86.4±9.45 ^a
AS ⁶	40 ppm	99.0±3.15 ^{ab}
	60 ppm	97.2±2.45 ^{ab}
	80 ppm	99.5±2.15 ^{ab}
	100 ppm	92.6±2.60 ^{ab}
<i>Two-way ANOVA</i>		
Treatment		<i>p</i> <0.07
Concentration		<i>p</i> <0.14
Interaction		<i>p</i> <0.41

¹Values (mean ± SE of two replications) in the same column sharing a same superscript are not significantly different (*p*>0.05).

²Fish wet weight gain × 100/feed intake (dry matter).

³CON = Control group, ⁴SP = Spirulina powder group, ⁵CH = Chlorella powder group,

⁶AS = Astaxanthin powder group.

라. 경제성 분석

착색제 종류 및 함량별로 실험기간 동안 비단잉어 치어 한 마리가 먹은 착색제의 양과 원가를 계산하고 경제적인 착색제의 공급 방법 및 절감 비율을 Table 18에 나타내었다.

중국산 spirulina와 chlorella의 경우, Fig. 11에서 보는 바와 같이 두 착색제 모두에서 4%, 6%, 8% 및 10% 첨가 함량에 따른 a값에서는 통계적인 유의차가 없었다. 따라서 경제적인 공급 방법은 중국산 spirulina와 chlorella를 사용할 경우, 두 종류 모두에서 10% 첨가하는 것보다는 4% 첨가 공급하는 것이 경제적일 것으로 생각되며, 중국산 spirulina와 chlorella보다 astaxanthin이 2주째에서는 100 ppm 첨가 실험구가, 4주째에서는 80 ppm 과 100 ppm 첨가 실험구가, 6주째에서는 60 ppm, 80 ppm 및 100 ppm 첨가 실험구가, 8주째에서는 40 ppm, 60 ppm, 80 ppm 및 100 ppm 모든 첨가 실험구에서 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.

Table 18. Total amount of color agents supplied to each experimental fish for 8 weeks and its economic analysis

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	62
	6%	0.248	1.24	41
	8%	0.375	1.88	10
	10%	0.420	2.10	
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

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/100g.

⁵100% - ((price of supply method/price of spirulina 10%)×100%).

IV. 논 의

Spirulina 제품별, 수온별 착색 실험 중 착색 효과

비단잉어의 경우 빨간색을 짙고 선명하게 하는 것은 비단잉어의 상품가치를 높일 수 있는 방법이며, 현재까지 가장 많이 사용되는 착색제는 spirulina 이다(차, 1999).

Spirulina는 여러 가지 carotenoid를 함유하고 있으며 그 중에서 zeaxanthin의 함량이 많아 4-ketozeaxanthin과 idoxanthin을 거쳐 astaxanthin으로 대사되어 비단잉어의 빨간색을 짙고 선명하게 해 줌(Matsuno et al., 1979), 비단잉어의 착색제로 널리 사용되고 있다. 그러나 spirulina의 질에 따라 가격차가 크고 성장 효과 및 착색 효과에 대한 연구가 미비한 실정이어서 비단잉어 양식어가에서 착색제를 첨가하여 사용하는 데 어려움을 겪고 있다.

본 실험의 결과는 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃ 수온대에서 중국산과 미국산 spirulina를 각각 사료량의 10%씩 첨가하여 2주 간격으로 8주간 실험 한 결과, 백색도를 나타내는 lightness (L)값의 경우 4주째 또는 6주째까지는 시간이 경과함에 따라 증가하다가 이후 감소하는 경향을 나타내었으나 실험 시작시의 L값 보다는 높은 경향을 보였다. 붉은색을 나타내는 redness (a)값의 경우는 이와는 반대로 4주째 또는 6주째까지는 시간이 경과함에 따라 감소하다가 이후 증가하는 경향을 나타내었으며 27℃구에서는 4주째 이후 증가하는 경향을 나타내었다. 황색도를 나타내는 yellowness (b)값은 시간이 경과함에 따라 대체로 증가하는 경향을 나타내었으나 일정한 규칙성을 보이지 않았다. Total carotenoid (TC)값은 24℃ 미국산 실험구에서만 4주째 이후에 증가하였고 나머지 모든 실험구에서는 6주째 이후 증가하

였다.

금붕어에서 *Chlorella vulgaris*와 astaxanthin의 함량과 수온에 따른 착색 실험을 한 결과, *Chlorella vulgaris*가 L값과 b값을 높이는 경향을 보인 반면, astaxanthin은 TC 값을 높이는 데 효과적이며, 착색을 위한 최적 수온은 28℃인 것으로 보고되고 있다(Gouveia and Rema, 2005). 또한 다양한 착색제로 비단잉어와 금붕어의 착색효과를 실험한 결과, 비단잉어에서는 chlorella가 a값과 TC값을, 금붕어에서는 *Haematococcus pluvialis*가 a값을, chlorella가 TC값을 높이는 데 효과적이었다고 하였다(Gouveia et al., 2003).

비단잉어의 경우 Hancz et al. (2003)에 의하면 파프리카를 착색제로 사용하여 실험 한 결과, 실험 37일 후부터 62일 사이에 빨간색이 진해졌고 대조구는 변화가 없었으며, 금붕어의 경우 27일 후부터 빨간색이 진해졌고 대조구는 유의하게 값이 감소하였다고 하며, 건조 및 생 spirulina의 비교 실험에서는 생 spirulina가 성장 및 체색 개선에 더 효과적이었다고 한다(Peimin et al., 1999).

Gouveia and Rema (2005)에 의하면 금붕어의 5주간 chlorella 착색 실험 결과는 a값에서 유의차가 없었으며, L값과 b값에서 실험 종료시 증가하였고, 9주간의 astaxanthin 수온별 실험에서는 수온이 높아질수록 a값이 높아졌으나 수온 30℃에서는 오히려 감소하였으며 TC는 계속 증가하였다.

Spirulina를 이용한 본 실험 결과도 이와 유사한 결과를 나타내었는데 4주째와 6주째까지는 L값이 증가했고 그 이후부터는 감소하는 경향을 나타내었으나 최초 보다는 다소 높은 값을 보였고, b값은 대체로 증가하는 경향을 나타내었다. L값과 반대로 a값의 경우는 4주째 또는 6주째까지는 a값이 감소하다가 그 이후부터는 증가하는 경향을 나타내었는데, 이는 다른 실험 결과와 일치하였으며(Saito, 1969; Skrede, 1987; Storebakken, 1992), Gouveia et al. (2003)의 chlorella 착색 실험은 실험 기간이 5주로 짧아 유

의차를 보이지 않은 것으로 생각되며 astaxanthin의 9주 실험처럼 기간이 길어졌으면 L값은 감소하고 a값은 증가했을 것으로 판단된다.

비단잉어의 적색도에 관여하는 a값과 TC값을 보았을 때, 각각의 수온대에서 시간이 경과함에 따라 값이 감소하다가 spirulina가 공급 된 후 4주째 또는 6주째에서 값이 높아지는 것으로 보아 이 시기에 spirulina가 소화, 흡수되어 체표에 축적되어 체색이 강화되는 시점으로 판단된다. Hancz et al. (2003)에 의하면 비단잉어를 대상으로 파프리카를 첨가한 착색 실험에서 37일과 62일에 2번 조사한 실험은 측정 기간의 간격이 너무 길어서 62일에 적색도가 증가한 결과를 보여 본 연구와 약간의 차이를 보이는데 이는 착색제의 종류가 다르게 때문으로 생각되며, 일반적으로 spirulina를 공급하여 비단잉어를 사육하는 양식업자의 경험에 의하면(허, 2005) 대략 1개월이 경과하면 체색이 짙어진다는 결과와 일치하였다.

비단잉어의 적색도에 관여하는 a값과 TC값을 보았을 때, 27℃구에 4주째와 8주째 그리고 30℃구 2주째에서만 유의차를 보였고, 나머지 모든 실험구에서 spirulina의 제품차에 의한 유의차를 보이지 않았으며, TC값은 spirulina의 제품차에 의한 유의차를 보이지 않았다.

Matsuno et al. (1979)은 spirulina의 zeaxanthin 성분이 astaxanthin으로 대사되어 비단잉어의 빨간색을 짙고 선명하게 해 준다고 하였고 Hancz et al. (2003)은 astaxanthin은 체내에 그대로 축적된다고 하였다. 본 실험에 사용된 중국산과 미국산 spirulina 첨가 사료의 TC값은 각각 36.9 mg/100 g 과 38.4 mg/100 g, zeaxanthin값은 6.1 mg/100 g과 12.7 mg/100 g, astaxanthin값은 각각 0.6 mg/100 g과 1.6 mg/100 g으로 TC값은 비슷했지만, zeaxanthin과 astaxanthin 함량에서는 중국산에 비해 미국산이 약 2배와 2.5배 정도 높았다. 그러나 비단잉어의 적색도에 관여하는 a값과 TC값에서 차이를 보이지 않았으므로 사료내 TC값 각각 36.9~38.4 mg/100

g, zeaxanthin 6.1~12.7 mg/100 g과 astaxanthin 0.64~1.56 mg/100 g의 범위에서는 비단잉어의 체색을 개선시키는 데 두 착색제 모두 효과가 있으나 두 제품간에는 비단잉어 홍백 치어의 빨간색을 짙게 하는 데 차이가 없었다.

중국산과 미국산 spirulina를 10%씩 첨가한 사료를 수온 21~30℃ 범위에서 사육하였을 때, 사료 공급 4~6주 사이에서 적색도에 관여하는 a값과 TC값이 증가 하였으므로 비단잉어의 빨간색이 짙어지는 시기로 판단된다.

Spirulina 제품별, 수온별 착색 실험 중 성장 효과

비단잉어 홍백의 성장률은 21℃, 24℃, 27℃ 및 30℃ 각각의 수온대에서 중국산과 미국산 spirulina를 10% 첨가하여 2주 간격으로 8주간 실험한 평균 결과, 수온에 따른 성장률은 21℃구 보다는 24℃, 27℃ 와 30℃구가 높은 결과를 나타내었으며, 각각의 수온대에서 spirulina의 제품차(중국산, 미국산 spirulina)에 의한 성장률 차이는 없는 것으로 나타났다.

어류의 대사와 성장에 영향을 미치는 중요한 요소(Herzig and Winkler, 1986; Iwata et al., 1994)인 수온의 경우 적정 수온 범위 내에서 수온이 높은 경우 어류의 대사율 증가와 함께 먹이 섭취가 촉진되어 성장이 향상된다(Seikai et al., 1986; Fonds, 1979). 이처럼 수온은 어류의 성장과 생존에 필요한 에너지 요구량의 변화, 먹이 공급률, 양성 기간에 영향을 미침으로써 생산성을 좌우하는 중요한 요소이다.

여러 가지 수온에서 일본산 잉어와 독일산 잉어를 성장 실험을 한 결과 두 어종 모두에서 수온 15~25℃에서 수온이 증가함에 따라 성장이 증가하였고 25℃와 30℃ 간에는 차이가 없었다고 보고하였으며(Suzuki et al., 1977), 잉어의 최적 수온대는 27.4~32.0℃ 라고 하였다(Coutant, 1977). Goolish and Adelman (1984)에 의하면 잉어 치어의 수온에 따른 성장 실험에서 최

대 성장은 27℃라고 하였으며, 24~30℃ 사이에서는 큰 차이가 없었다고 하였다. 반면 Toth (1982)에 따르면 수온 15~29℃에서의 성장 실험 결과 25℃에서 최대의 성장을 보였다고 보고하였다.

위의 논문들의 결과처럼 잉어의 최적 성장 적온은 25℃ 또는 27℃를 나타내었으나, Goolish and Adelman (1984)에 의하면 24~30℃에서 성장에 큰 차이를 보이지 않았다고 하였는데, 본 실험의 결과도 위의 결과와 일치하였다.

또한 21℃, 24℃, 27℃와 30℃ 각각의 수온대에서 중국산과 미국산 spirulina를 10% 첨가하여 2주 간격으로 8주간 실험한 평균 결과, spirulina의 제품차(중국산, 미국산 spirulina)에 의한 성장률 및 사료효율은 차이가 없는 것으로 나타났다.

Peimin et al. (1999)에 의하면 붕어 성장 및 체색 실험에서 건조 및 생 spirulina를 사용한 경우 생 spirulina가 성장 및 체색 개선에 더 효과적이었다고 하였다. 본 실험 결과는 중국산과 미국산의 건조 제품 간에는 성장률 및 사료효율에 영향을 미치지 않는 것으로 나타나 차이를 보이는데, 이는 종과 제품 차이에 의한 결과라 생각된다.

Spirulina 제품별, 수온별 착색 실험 중 경제성 분석 결과

경제성 분석 결과는 21℃, 24℃, 30℃에서 착색제를 사용할 때에는 중국산 spirulina를 사용하고, 27℃ 2주째와 4주째에서 미국산 spirulina 실험구의 a값이 중국산 실험구 보다 유의하게 높은 값을 나타내어 미국산 spirulina를 사용하는 것이 좋을 것으로 판단되지만, 다른 수온대에서는 중국산과 미국산 사이에 색깔의 차이가 없었고 경제적인 측면, 사용 편리성 및 일관성을 고려하여 중국산을 계속 사용하는 것이 경제적이고 효과적인 것으로 나타났다. 사료 1 kg을 기준으로 미국산 spirulina를 10% 첨가하면

착색비용이 5,000원(미국산 spirulina 50,000/kg)이 소요되나, 중국산 spirulina를 경제적으로 활용하면 500원까지 크게 절약할 수 있다.

착색제 종류별, 농도별 실험 중 착색 효과

중국산 spirulina, chlorella 및 astaxanthin 3가지 착색제 종류와 각각의 착색제별로 함량을 달리한 4가지 실험 사료로 2주 간격으로 8주간 실험 한 결과, L값은 모든 실험구의 실험 농도에서 4주째 또는 6주째까지는 시간이 경과함에 따라 증가하다가 이후 감소하는 경향을 나타내어 8주째에서는 최초보다 낮은 값을 나타내었다. a값은 대조구에서는 계속 감소하였고 spirulina와 chlorella구에서는 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.

Spirulina (TC 14.9~37 mg/100 g, astaxanthin 0.23~0.64 mg/100 g, zeaxanthin 2.57~6.12 mg/100 g), chlorella (TC 21.1~58.5 mg/100 g, astaxanthin 0.0035~0.011 mg/100 g, zeaxanthin 0.54~1.13 mg/100 g) 그리고 astaxanthin 첨가구(TC 43.0~106.5 mg/100 g, astaxanthin 45.4~101.7 mg/100 g, zeaxanthin 0.68~1.76 mg/100 g) 모두가 대조구(TC 2.70 mg/100 g, astaxanthin 불검출, zeaxanthin 불검출)에 비해 8주째에서 적색도가 유의하게 높았고 TC 함량도 유의차는 없었으나 높은 경향을 나타내어 비단잉어의 빨간색을 짙게 하는 데 효과적이었다.

Chlorella와 spirulina 각각 4~10%까지 첨가구에서 두 착색제 제품간 및 각 착색제 4~10% 함량간에 유의차가 없어 사료내 TC 14.9~58.5 mg/100 g, astaxanthin 0.0035~0.64 mg/100 g, zeaxanthin 0.54~6.12 mg/100 g 범

위에서는 비단잉어의 빨간색을 짙게 하는데 비슷한 효과를 나타내었다.

그러나 astaxanthin 첨가구(TC 43.0~106.5 mg/100 g, astaxanthin 45.4~101.7 mg/100 g, zeaxanthin 0.68~1.76 mg/100 g)가 chlorella와 spirulina 첨가구 보다 유의하게 높은 a값을 나타낸 것으로 보아 astaxanthin을 착색제로 사용하는 것이 적색도 a값을 높이는 데 가장 효과적인 착색제인 것으로 판단된다.

중국산 spirulina와 chlorella를 각각 4~10%씩 첨가한 사료를 공급하면 8주째에서 a값이 각각 11.1~12.6, 11.3~11.9로 대조구의 a값 7.3 보다 유의하게 높은 결과를 나타내 비단잉어의 빨간색이 짙어지는 결과를 나타내었다. 그러나 astaxanthin 40~100 ppm 첨가한 사료를 공급하면 2주째부터 시간이 경과함에 따라 계속 비단잉어의 빨간색이 짙어지는 결과를 나타내어 짧은 시간내에 체색을 개선할 수 있었다.

착색제 종류 및 함량에 따른 실험에서의 착색 결과는, 대조구의 a값과 TC값은 착색제를 첨가하지 않고 사료를 공급하였을 경우 Fig 9, 11에서 보듯이 시간이 경과함에 따라 a값과 TC값이 감소하는 것을 볼 수 있었는데, 이는 금붕어의 경우 대조구에서 적색도 값이 유의하게 감소하는 것으로 보아 본 실험결과와 같은 결과를 나타내었으며(Hancz et al, 2003), 그러나 비단잉어의 경우는 적색도 값에 변화가 없었는데 이는 실험어의 크기가 평균 69.1 g으로 크기가 큰 개체이기 때문으로 생각되며 본 실험의 비단잉어 실험어는 1.8 g과 Hancz 등의 금붕어 실험어는 크기가 2.1 g으로 비슷한 크기라서 비슷한 결과를 나타낸 것으로 치어기 때에는 성장하면서 a값과 TC값이 크게 감소하다가 어느 정도 성장하면 그 변화의 폭이 작아지는 것으로 판단된다.

Chlorella vulgaris, *Haematococcus pluvialis*, *Arthrospira maxima* 그리고 astaxanthin을 가지고 비단잉어 착색실험을 한 Gouveia et al. (2003)의 연

구 결과, a값은 대조구에 비해 전 실험구가 유의하게 높은 결과를 나타내었으며 *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.

비단잉어의 경우, 파프리카를 6.37% 첨가한 실험구에서 사료공급 후 37~62일 사이에서 빨간색이 진해졌고 대조구는 변화가 없었으며, 금붕어의 경우 27일 후부터 빨간색이 진해졌고 대조구는 유의하게 값이 감소하였다고 보고하였다(Hancz et al., 2003). 금붕어에서 착색제로 *Chlorella vulgaris*와 carophyll pink (astaxanthin)를 각각 45 ppm, 80 ppm 그리고 120 ppm 농도별로 실험한 결과 증중량 및 사료효율은 실험구간에 유의차가 없었으며, a값도 실험구간에 유의차가 없었으며, TC는 astaxanthin 80 ppm 과 120 ppm에서 유의하게 높게 나타났으며, L값은 *Chlorella vulgaris* 120 ppm에서 유의하게 높게 나타났다고 하여 *Chlorella vulgaris*가 L값을 높이는 데 효과가 있고 astaxanthin은 TC 값을 높이는 데 효과적이었다고 하였다(Gouveia and Rema, 2005).

Peimin et al. (1999)에 의하면, 금붕어에 대한 건조 및 생 spirulina의 비교 실험에서는 생 spirulina가 성장 및 체색 개선에 더 효과적이었다고 하였다.

Gouveia et al. (2003)의 비단잉어를 대상으로 한 착색 실험에서 a값은 대조구에 비해 전부 유의하게 높은 결과를 나타내어 본 실험의 결과와 같았다. 그러나 *Chlorella vulgaris*와 astaxanthin 실험구가 spirulina 실험구보다 유의하게 높게 나타났다는 점에서 본 연구와 차이를 보이는데 spirulina 실험구가 chlorella 실험구보다 a값이 약간 높은 경향을 나타낸 것은 *Chlorella vulgaris* 첨가량이 6%로 spirulina의 첨가량 4% 보다 많이 첨

가 하였고 또한 착색제의 종류 및 성분차 때문으로 생각되며, astaxanthin 3‰ 첨가구와 *Chlorella vulgaris* 6% 첨가구가 비슷한 결과를 나타낸 것은 본 실험 결과와 많은 차이를 보이는데 이는 사육 수온이 14℃의 저수온이었던 점과 astaxanthin을 완전히 녹여서 첨가하였는지 첨가 방법에서 차이가 있지 않았나 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 첨가하였기 때문으로 생각된다. 본 실험에서는 carophyll pink (astaxanthin)의 함량이 증가함에 따라 a값이 빨리 높아졌으며 실험초기에는 함량차에 의한 차이가 많이 났으나 시간이 경과함에 따라 그 격차는 줄어드는 경향을 나타내었는데, 이는 무지개 송어의 경우 사료내 착색제의 함량이 높을 경우 단 시일내에 carotenoid 가 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 zeaxanthin 함량이 astaxanthin 실험구보다 3.4배 높았으나 astaxanthin으로 산화, 축적되는데 시간이 소요되므로 착색 효과가 6주 이후로 늦게 나타났고 착색 효과도 낮았던 것으로 판단되며, astaxanthin 실험구는 중국산 spirulina 보다 astaxanthin 함량이 150배 높았기 때문에 착색 효과가 2주째부터 바로 나타났고 착색 효과도 높았던 것으로 판단된다.

착색제 종류별, 농도별 실험 중 성장 효과

중국산 spirulina, chlorella와 astaxanthin의 착색제 종류 및 4가지의 농도별 실험에서 성장률 및 사료효율에서 차이가 없었다.

Mustafa et al. (1994a)에 의하면 참돔의 spirulina 5% 첨가 실험에서 성장 증대에 유의한 영향을 끼쳤으며, 모이스트펠렛 사료에 spirulina 3% 첨가하면 어류의 성장과 이용성을 증대시킨다고 하였다(Mustafa, 1994b).

이와는 반대로 Attack and Matty (1979)는 spirulina를 무지개송어의 단백질원 대체원으로 실험한 결과에서 성장이 좋지 않은 결과를 얻었다. 이처럼 spirulina를 사용한 경우에 결과가 다르게 나오는 것은 spirulina에는 여러 종류(*Spirulina maxima*, *Spirulina platensis*, *Spirulina pacifica*)가 있으며 어류에 있어서의 효과는 spirulina의 종에 따라 다를 수 있다고 한 것과 관계가 있을 것으로 추정된다(Nandeesh et al., 1998).

각시붕어의 체색 개선을 위한 astaxanthin의 첨가 실험 결과, 대조구에 비해 astaxanthin의 첨가 실험구가 유의하게 높은 성장을 보였으며(김 등, 1999b), 연어에 대한 astaxanthin의 0 ppm, 36ppm, 190ppm 첨가에 따른 성장 실험에서 astaxanthin을 첨가하지 않은 대조구에 비해 두 첨가 실험구에서 유의하게 높은 성장을 보였지만, 36 ppm과 190 ppm 첨가 실험구간에서는 유의차가 없었다(Christiansen and Torrissen, 1996). 보리새우(Petit et al., 1997)와 연어(Christiansen et al., 1994)에서도 astaxanthin 첨가구가 성장을 향상시켰다고 보고하였다.

그러나, Gouveia et al. (2003)에 의하면 비단잉어를 대상으로 한 실험에서는 chlorella 6%와 astaxanthin 3 ppm 첨가 실험이 성장차를 보이지 않았다고 하였으며, 금붕어를 대상으로 한 실험 chlorella와 astaxanthin 각각 45 ppm, 80 ppm 및 120 ppm의 첨가 실험에서도 성장차를 보이지 않았다고 하였다(Gouveia and Rema, 2005).

따라서 chlorella, spirulina 그리고 astaxanthin 등의 착색제는 대상어종 및 착색함량에 따라 성장에 영향을 미치는 것으로 판단되지만, Gouveia et al. (2003)과 Gouveia and Rema (2005)의 결과처럼 비단잉어 및 금붕어를 대상으로 한 실험 결과에서는 성장에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며, 본 실험 결과도 착색제 종류 및 함량에 따른 차이가 없어 위의 결과와 일치하였다.

착색제 종류별, 농도별 실험 중 경제성 분석

경제성 분석은 Table 18에 나타난 것과 같이 중국산 spirulina와 chlorella의 경우 두 종류 모두 10% 첨가구와 4% 첨가구 사이에서 유의차가 없었으므로 10% 첨가 대신 4%만 첨가하는 것이 경제성 면에서 좋다고 사료된다. 그리고 본 실험의 결과 비단잉어 홍백의 빨간색을 선명하게 하기 위한 가장 좋은 착색제는 astaxanthin이며, 고농도 첨가구일수록 빠른 착색 효과를 보였고, 8주째에서 40 ppm, 60 ppm, 80 ppm 및 100 ppm 첨가구 간에는 착색 효과 차이가 없었다.

중국산 spirulina 10% 첨가를 기준으로 보았을 때, 중국산 spirulina 4% 첨가하면 착색 비용을 62% 절감할 수 있으며, chlorella 4% 첨가하면 착색 비용을 58% 절감할 수 있으나, 두 착색제 보다 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 소요되나, astaxanthin (300,000원/100 g)을 40 ppm을 첨가하면 120원이 소요되어 착색 효과도 훨씬 높고 비용도 많이 절감할 수 있을 것으로 생각된다.

V. 요약

비단잉어 양식어가들은 빨간색을 더욱 선명하게 하기 위해서 천연 카로티노이드 착색제인 spirulina를 많이 사용하고 있으나, spirulina는 고가의 수입 제품으로 사육 경비에서 많은 부분을 차지하고 있어 한국산 비단잉어의 국제 경쟁력을 향상시키기 위해서는 착색 경비의 절감이 필요하다.

따라서 우선 값이 싼 중국산과 값이 비싼 미국산 spirulina의 착색 효과를 비교하고 착색 효과에 대한 사육수온 영향도 조사하였다.

또한 중국산 spirulina, chlorella 및 astaxanthin 계통의 색소인 carophyll pink의 착색효과를 비교하고 경제성을 검증하였다.

수온 21℃, 24℃, 27℃와 30℃ 수온에서 중국산과 미국산 spirulina를 각각 10% 첨가한 실험에서 2주 간격으로 8주간 실험한 결과, 비단잉어 홍백치어의 성장률은 24℃, 27℃와 30℃ 실험구가 21℃ 실험구보다 높았으나 수온에 따른 사료효율은 차이가 없었다. 성장률 및 사료효율에서는 중국산과 미국산 spirulina 사이에는 차이가 없었다.

백색도 L값의 경우 두 제품 모두 4주째 또는 6주째까지는 시간이 경과함에 따라 증가하다가 이후 감소하는 경향을 나타내었고, 적색도 a값과 총 카로티노이드(TC)값은 이와는 반대로 4주째 또는 6주째까지는 시간이 경과함에 따라 감소하다가 이후 증가하는 경향을 나타내었으며, 황색도 b값은 대체로 시간이 경과함에 따라 증가하는 경향을 나타내었으나 일정한 규칙성을 보이지 않았다.

중국산과 미국산 spirulina를 사용할 경우 a값과 TC값의 시간에 따른 변화로 보았을 때, spirulina를 사료에 10% 첨가하여 공급하면 4주째 또는 6주째 이후에 비단잉어 치어의 빨간색이 유의성있게 개선되었다.

a값과 TC값의 결과로 보아 27℃에서는 4주째와 8주째에서만 미국산구의 a값이 중국산구 보다 유의하게 높은 값을 나타내었을 뿐, 21℃, 24℃ 및 30℃에서 중국산과 미국산이 a값과 TC값 차이가 없었기 때문에 경제적인 측면, 사용 편리성을 고려하면 중국산을 사용하는 것이 경제적이고 효과적이다.

중국산과 미국산 spirulina 첨가 사료의 TC값은 각각 36.9 mg/100 g과 38.4 mg/100 g이고, zeaxanthin값은 각각 6.1 mg/100 g과 12.7 mg/100 g이며, astaxanthin값은 각각 0.6 mg/100 g과 1.6 mg/100 g으로 TC 값은 유사하였으나, zeaxanthin과 astaxanthin 함량은 중국산에 비해 미국산이 높았다. 그러나 비단잉어의 적색도에 관여하는 a값과 TC값에서 차이를 보이지 않았으므로 사료내 TC값 36.9~38.4 mg/100 g, zeaxanthin 6.1~12.7 mg/100 g과 astaxanthin 0.6~1.6 mg/100 g의 범위에서는 비단잉어의 체색을 개선시키는데 두 착색제 모두 효과가 있으나 두 제품간에는 빨간색을 짙게 하는데 차이가 없었다.

위의 실험 결과를 바탕으로 중국산 spirulina, chlorella 및 astaxanthin을 각각 4가지 농도로 8주간 실험한 결과, 비단잉어 홍백 치어의 성장률과 사료효율에는 영향이 없었다.

또한 L값은 일정한 규칙성을 보이지 않았다. a값은 대조구에서는 계속 감소하였고 spirulina와 chlorella구에서는 6주째까지 감소하다가 이후 증가하였으며, astaxanthin구에서는 2주째부터 지속적으로 증가하는 경향을 나타내었으며, b값은 일정한 경향을 나타내지 않았다. TC값은 2주째까지는 증가했다가 이후부터 감소하는 경향을 나타내었다.

적색도의 정도를 나타내는 a값을 시간에 따른 변화로 보았을 때, 중국산 spirulina (TC 14.9~36.9 mg/100 g, astaxanthin 0.23~0.64 mg/100 g, zeaxanthin 2.57~6.12 mg/100 g)와 chlorella (TC 21.1~58.5 mg/100 g,

astaxanthin 0.0035~0.011 mg/100 g, zeaxanthin 0.54~1.13 mg/100 g)를 각각 4~10% 첨가하여 공급하면 6주 이후에 비단잉어의 빨간색이 짙어지며, astaxanthin (TC 43.0~106.5 mg/100 g, astaxanthin 45.4~101.7 mg/100 g, zeaxanthin 0.68~1.76 mg/100 g)을 40~100 ppm 첨가하여 공급하면 2주내에 비단잉어의 빨간색이 짙어진다.

a값의 결과로 보았을 때, 중국산 spirulina와 chlorella도 모두 대조구에 비해 실험 8주째에서 높은 결과를 나타내어 효과가 있었지만, astaxanthin이 훨씬 좋은 결과를 보여 착색 효과가 가장 우수하였다. 따라서 적색도 a값과 경제성을 고려하면, astaxanthin 40 ppm이 적당한 것으로 나타났다. 그러나 6주내에 적색도를 빨리 높이려면 astaxanthin 100 ppm을 첨가하고, 6주 이후로 적색도를 천천히 높이려면 astaxanthin 40 ppm을 첨가해야 할 것으로 사료된다.

스피룰리나 종류별, 수온별 실험을 통해 사료 1 kg을 기준으로 미국산 spirulina를 10% 첨가하면 착색 비용이 5,000원(미국산 spirulina 50,000/kg)이 소요되나, 중국산 spirulina를 경제적으로 활용하면 500원까지 크게 절감할 수 있었다. 그리고 착색제 종류별, 농도별 실험을 통해 사료 1 kg 기준으로 중국산 spirulina (5,000원/1 kg) 4%를 첨가하면 200원이 소요되나, astaxanthin (300,000원/100 g)을 40 ppm을 첨가하면 120원이 소요되어 착색효과도 훨씬 높고 비용도 많이 절감할 수 있을 것으로 사료된다.

Ⅵ. 감 사 의 글

모교를 떠난지 10년 만에 배우고자 하는 용기만 가지고 박사과정에 입문하여 학문의 글에 들어선 지 3년이라는 시간이 지나 어느덧 종착역에 이른 듯 합니다. 그 때는 힘들고 어려웠지만 지금 돌이켜 보니 좋은 추억으로 남아 있는 듯 합니다. 언제나 부족한 저에게 관심과 격려를 보내주시고 충고와 조언을 해 주신 모든 분들께 이 자리를 빌어 진심으로 감사를 드립니다.

학위과정 중이나 논문을 쓰는 동안 부족한 저를 끝까지 지도해 주시고 세심한 배려를 해 주신 조재운 교수님께 깊은 감사의 마음을 전하며, 논문 심사를 맡아 자상한 가르침으로 많은 것을 배우고 깨닫게 해 주신 장영진 교수님, 김창훈 교수님, 이상민 교수님, 오승용 박사님께 감사의 뜻을 전합니다.

학위 중에도 많은 지도와 격려를 보내주신 허성범 교수님, 김동수 교수님, 배승철 교수님, 김종명 교수님, 남윤권 교수님, 박흠기 교수님, 조성환 교수님과 상준, 호준, 디키와 릴릭에게도 감사의 마음을 전합니다.

여러모로 어려운 여건과 바쁜 업무 중에도 많은 관심과 배려를 아끼지 않으신 유장열 소장님과 연구소 전직원에게 무한한 감사를 드리고, 함께 배움의 길에 들어서 고생과 즐거움을 함께 나누고 물심양심 도움을 주신 황규덕 주사님께 감사를 드립니다.

학업과 직장일을 핑계로 가장으로서 함께 하지 못한 시간들이 너무 많아 가족에게 미안하지만, 건강하고 귀엽게 잘 자라고 있는 강현이 그리고 학위를 무사히 마칠수 있도록 지극정성으로 뒷바라지 해 준 사랑하는 아내 봉희에게 이 논문이 조금한 위안과 보답이 되기를 기대합니다.

우리 부부를 낳아서 잘 길러주신 고마운 부모님, 장모님 그리고 믿음과 관심을 주신 형제, 자매 모든 분께 감사합니다.

끝으로 내년에 있을 강현이 돌과 부모님 환갑잔치 선물로 논문을 드리고자 했던 약속을 지킬 수 있어 기쁘고, 이 기쁨을 여러분과 함께 하고자 합니다.



VII. 참 고 문 헌

- Atack, T. H. and A. J. Matty, 1979. The evaluation of single cell protein in the diet of rainbow trout. II. The determination of net protein utilization, biological values and true digestibility. *Finfish Nutrition and Fishfeed Technology*, pp. 261-273.
- 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.
- Chapman, F., S. Fitzcoy, E. Thunberg and C. Adams, 1997. United States of American trade in ornamental fish. *Journal of the World Aquaculture Society*, 28, 1-10.
- Chen, H. M., S. P. Meyers, R. W. Hardy, S. L. Biede, 1982. Color stability of astaxanthin pigmented rainbow trout under various packaging conditions. *Journal of Food Science*, 49, 1337.
- Christiansen, R. and O. J. Torrissen, 1996. Growth and survival of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. fed different dietary levels of astaxanthin. *Aquaculture Nutrition*, 2, 55-62.
- Christiansen, R., O. Lie and O. Torrissen, 1994. Effect of astaxanthin and vitamin A on growth and survival during first feeding of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture and Fisheries Management*, 25, 903-914.

- Coutant, C. C., 1977. Compilation of temperature preference data. Journal of Fisheries Board Canada, 739-745.
- Duncan, D. B., 1955. Multiple-range and multiple F tests. Biometrics, 11, 1-42.
- Fonds, M., 1979. Laboratory observation on the influence of temperature and salinity on development of the eggs and growth of the larvae of *Solea solea*. Marine Ecology Progress Series, 1, 91-99.
- Goolish, E. M. and I. R. Adelman, 1984. Effects of ration size and temperature on the growth of juvenile common carp (*Cyprinus carpio* L.). Aquaculture, 36, 27-35.
- 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. Aquaculture International, 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 Technology, 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. Aquaculture Research, 33, 1-7.
- Gouveia, L., P. Rema, O. Pereira and J. Empis, 2003. Colouring ornamental fish (*Cyprinus carpio* and *Carassius auratus*) with microalgal biomass. Aquaculture Nutrition, 9, 123-129.
- Gouveia, L. and P. Rema, 2005. Effect of microalgal concentration and

- temperature on ornamental goldfish (*Carassius auratus*) skin pigmentation. *Aquaculture Nutrition*, 11, 19-23.
- 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. *Fisheries Science*, 69, 1158-1161.
- Hata, M. and M. Hata., 1975. Carotenoid metabolism in fancy red carp, *Cyprinus carpio*- I. Administration of carotenoids. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 41, 653-655.
- Hata, M. and M. Hata., 1976. Carotenoid metabolism in fancy red carp, *Cyprinus carpio*- II. Metabolism of ^{14}C -zeaxanthin. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 42, 203-205.
- Herzig, A. and H. Winkler, 1986. The influence of temperature on the embryonic development of three cyprinid fishes *Abramys brama*, *Chalcalburnus chalcoides mento* and *Vimba vimba*. *Journal of Fish Biology*, 28, 171-181.
- Hoff, F., 1993. Marine ornamental fish culture. *Proceedings of the International Conference, World Aquaculture 1993*, Torremolinos, Spain, 298-299.
- Iwata, N., K. Kikuchi, H. Honda, M. Kiyono and M. Kurokurg, 1994. Effects of temperature on the growth of Japanese flounder. *Fisheries Science*, 60, 527-531.
- Katayama, T., K. Shintani, CO. Chichester, 1973. The biosynthesis of astaxanthin. *Comparative Biochemical Physiology*, 448, 253-257.
- Macbeth, J. W., 1972. Carotenoids from Nudibranchs. *Comparative*

- Biochemistry and Physiology, 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*. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries 45, 627-632.
- Mustafa, M. G., T. Takeda, T. Umino, S. Wakamatsu and H. Nakagawa, 1994a. Effects of *Ascorphyllum* and *Spirulina* meal as feed additives on growth and feed utilization of red sea bream, *Pagrus major*. Journal of Faculty of Applied Biological Sciences of Hiroshima University 33, 125-132.
- Mustafa, M. G., T. Umino and H. Nakagawa, 1994b. The effect of *spirulina* feeding on muscle protein deposition in red sea bream, *Pagrus major*. Journal of Applied Ichthyology 10, 141-145.
- Nandeesh, M. C., B. Gangadhara, J. K. Manissery 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 Technology 80, 117-120.
- Nandeesh, M. C., B. Gangadhara, T. J. Varghese and P. Keshavanath, 1998. Effect of feeding *Spirulina platensis* on the growth, proximate composition and organoleptic quality of common carp, *Cyprinus carpio* L. Aquaculture Research, 29, 305-312.
- No, H. K. and T. Storebakken, 1991. Pigmentation of rainbow trout with astaxanthin at different water temperatures. Aquaculture, 97, 203-216.

- Paripatananont, T., J. Tangtrongpaioj, A. Sailasuta and N. Chansuc, 1999. Effect of astaxanthin on the colouring of goldfish *Carassius auratus*. Journal of the World Aquaculture Society, 30, 454-460.
- Peimin, H., Z. Yinjiang and H. Wenhui, 1999. Effect of the spirulina feed on the growth and body color of Crucian carp. Journal of Fisheries China/Shuichan Xuebao, 23, 162-168.
- Petti, H., G. N. Sadargues, R. Castillo and J. P. Trilles, 1997. The effects of dietary astaxanthin on growth and moulting cycle of postlarval stages of the prawn, *Penaeus japonicus*. Comparative Biochemical Physiology, 117A, 539-544.
- Saito, A., 1969. Color in raw and cooked Atlantic salmon (*Salmon salar*). Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 26, 2234-2236.
- Seikai, M., J. B. Tanangonan and M. Tanaka, 1986. Temperature influence on larval growth and meta morphosis of the Japanese flounder *Palalichthys olivaceus* in the laboratory. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 52, 977-982.
- Skrede, G., 1987. Rapid analysis in food processing and food Control. Proceedings of the Fourth European Confererce on Food Chemistry, pp. 1-4.
- SPSS Inc., 1997. SPSS Base 7.5 for Window, SPSS Inc., 444N. Michigan Avenue, Chicago, IL, 60611.
- Storebakken, T. and H. No, 1992. Pigmentation of rainbow trout. Aquaculture, 100, 209-229.

- Suzuki, R., M. Yamaguchi and K. Ishikawa, 1977. Differences in growth rate in two races of the common carp at various water temperature. Bull. Freshwater Fish. Res. Lab., 27, 21-26.
- 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.
- Torrissen, O., R. Hardy and K. Shearer, 1989. Pigmentation of salmonids -carotenoid deposition and metabolism. Review Aquaculture Science, 1, 209-225.
- Toth, E. O., P. Gulyas and J. Olah, 1982. Effect of temperature on growth, food conversion, and survival of sheatfish (*Silurus glanis* L.) and common carp (*Cyprinus carpio* L.) at sublethal ammonia concentration. Aquacultura Hungarica Szarvas, 3, 51-56.
- 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. Comparative Biochemical Physiology, 139, 281-288.
- 김동식, 2004. 관상어 양식. 충북내수면연구소 양식기술지, pp. 1-2.
- 김성삼, German Bueno Galaz, 이경준, 이영돈, 2006a. 저수온기 넙치 치어에 있어서 스피룰리나와 아스타잔틴의 사료 내 첨가효과. 한국양식

- 학회지, 9, 57-63.
- 김숙리, 이충열, 이상민. 2006b. 사료내 paprika 및 *spirulina* 첨가가 쉬리 (*Coreoleuciscus splendidus*) 표피 색택에 미치는 영향. 한국양식학회지, 19, 261-266.
- 김화선, 김윤희, 조재윤, 윤길하, 하봉석. 1999a. 천연산 각시붕어 (*Rhodeus uyekii*) 혼인색의 색소조성. 한국수산학회지, 12, 520-524.
- 김화선, 김윤희, 조성환, 조재윤. 1999b. Carotinoid 첨가사료가 각시붕어 (*Rhodeus uyekii*)의 체색에 미치는 영향. 한국수산학회지, 32, 276-279.
- 박규석, 2006. 수산연감. 한국수산회, pp. 298.
- 하봉석, 강동수, 김종현, 최옥수, 유선영. 1993. 양식 넙치, 참돔의 사료 carotenoids 대사와 체색개선에 미치는 영향. 한국수산학회지, 26, 91-101.
- 허하영, 2005. 진천관상어 영어조합법인 대표, 개인면담
- 홍득호, 2006. 비단잉어. 경상남도수산자원연구소 내수면지소 내수면어업 발전을 위한 세미나, pp. 104.
- 홍상필, 구재근, 조길석, 김동수. 1997. 김 추출물의 이화학적 특성. 한국 식품영양과학회지, 26, 10-16.
- 차광수, 1999. 비단잉어. 내외출판사, pp. 250.