

## 무지개 송어(*Oncorhynchus mykiss*)의 영양 성분에 대한 astaxanthin 첨가사료의 영향

최치송·엄성환<sup>1</sup>·이명숙·김영목<sup>1\*</sup>  
부경대학교 미생물학과, <sup>1</sup>부경대학교 식품공학과

### Effect of an Astaxanthin-supplemented Diet on the Nutritional Composition of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*)

Chi-Song Choi, Sung-Hwan Eom<sup>1</sup>, Myung-Suk Lee and  
Young-Mog Kim<sup>1\*</sup>

Department of Microbiology, Pukyong National University,  
Busan 608-737, Korea

<sup>1</sup>Department of Food Science and Technology, Pukyong National University,  
Busan 608-737, Korea

This study investigated the effects of astaxanthin, which is used to improve the muscle color of fish, on the nutritional composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). The trout were fed extruded pellets containing astaxanthin (pigmented rainbow trout) or without astaxanthin (non-pigmented rainbow trout). No significant differences in the contents of crude protein and crude ash between the two muscles of the two groups were observed. However, the crude fat composition of the muscle of pigmented rainbow trout was about two times higher than that of control muscle. In the muscle of pigmented rainbow trout, the contents of docosahexaenoic acid (DHA, 22:6n-3) and eicosapentaenoic acid (EPA, 20:5n-3), which are functional polyunsaturated fatty acids, were 1.6 fold higher than in non-pigmented muscle. In addition, the contents of minerals such as Zn and Fe, vitamins (B group, C, and E), free amino acids, carotenoids and astaxanthin were increased in the muscle of rainbow trout fed pellets supplemented with astaxanthin. Specifically, the content of the bioactive compound astaxanthin, was increased six times in the pigmented muscle, as compared to the control muscle. The results suggest that a diet supplemented with astaxanthin improves the nutritional composition of rainbow trout muscle as well as improving the muscle color.

Key words: Astaxanthin, Nutritional composition, Rainbow trout, Total carotenoids

#### 서 론

무지개 송어 (*Oncorhynchus mykiss*)는 연어목 (*Salmoniformes*) 연어과 (*Salmonidae*)에 속하는 냉수성 고급어종으로 북미의 멕시코 북부에서부터 알류산열도에 이르는 동부 태평양 연안과, 캄차카 반도 남부에서부터 시베리아 아무르 강에 이르는 서태평양 연안이 주요 서식지이다 (Behnke, 1992). 우리나라에서는 1965년에 소득증대와 식량 증산에 기여하고자 무지개 송어양식을 시작하였다. 무지개 송어 도입 당시 사료로 소, 돼지의 간을 주는 매우 빈약한 상황이었으나, 1970년대 중반 이후 국민경제의 활성화로 무지개 송어 소비가 점차 증가하면서 인공사료개발의 필요성이 대두되었다. 이에 따라, 1983년에는 인공사료를 국내에서도 최초로 개발되었다. 그 결과 무지개 송어 양식의 시설면적과 생산량이 급격히 증가하였으며 (The Korea Trout Culture Association, 2005), 이런 양상은 1970년에 송어 양식생산량이 3톤이던 것이 1980년 9톤, 1990년 1,529톤까지 생산량이 급증한 자료에서 볼 수 있다.

그러나, 송어육의 육색 자체가 소비자의 선호도를 충족시키기에는 미흡하여, 그 대안으로 사료에 carotenoid계 색소를 첨가하여 붉은색을 띄게 함으로써 연어류와 같은 육색 및 체색을 얻고자 연구를 하였다. 실제 다양한 종류의 미생물, 곰팡이, 조류 (algae), 식물체 등은 carotenoid계 색소를 스스로 생합성 할 수 있지만, 어류는 생합성할 수 없기 때문에 carotenoid계 색소의 섭취를 전적으로 사료에 의존해야 한다고 보고되고 있다 (Tolasa et al., 2005). 특히, 600여종 이상의 carotenoid계 색소 중에서 어류의 체색을 개선하는 데는 astaxanthin과 canthaxanthin이 효과적이며 (Ellis, 1979), 그 중 astaxanthin이 무지개 송어육을 착색시키는데 더 효과적이라는 연구 보고가 있다 (Henmi et al., 1989). 이는 astaxanthin이 canthaxanthin과는 다르게 hydroxy기와 keto기를 가지고 있어 송어육과의 결합이 용이하기 때문이다 (Henmi et al., 1989). 이 같은 연구결과로 송어육의 색을 개선시키기 위해 사료에 지용성색소인 astaxanthin을 첨가하게 되었다. 어육 내에서의 astaxanthin의 축적은 사료의 조성 및 색소의 함량 및 투여기간에 따라 달라진다 (Torrissen, 1986). 대개 체중이 증가함에

\*Corresponding author: ymkim@pknu.ac.kr

따라 색소의 잔류효율도 상대적으로 증가하게 된다. 특히 치어의 증량 100~300 g부터, astaxanthin을 사료와 함께 첨가하여 6개월 동안 섭취시키면 육색이 매우 선명한 붉은색을 나타내게 된다. Astaxanthin은 carotenoid계 색소로서 퇴행성 질병을 지연하거나 예방하며, 불안정 산소를 안정화하거나 free radical을 제거하는 등의 기능이 매우 뛰어나며 (Krinsky, 1989), 또한 색상의 증진, 풍미 효과, 면역기능의 활성화는 물론 산소 라디칼 제거 (oxygen free radical scavenger)에 의한 항암작용 (Gomes, 2007) 및 노화억제 (El-Agameya et al., 2004) 등의 중요한 대사적 역할을 한다고 보고되고 있다. 이와 같은 다양한 생리활성을 가지고 있는 carotenoid계 색소 및 astaxanthin의 첨가에 의해 육성된 무지개 송어육의 경우 송어육의 채색에 미치는 영향에 대한 연구가 대부분이며 기능성에 영향을 미치는 성분들의 분석에 대한 연구는 미미한 편이다 (Buyukcapar et al., 2007; Ha et al., 1997). 이에 본 연구에서는 astaxanthin이 함유된 사료와 일반사료를 급여한 무지개 송어육에서 일반성분 및 생리활성 성분들의 차이점에 대해 비교하였다.

## 재료 및 방법

### 무지개 송어

연구에 사용된 무지개 송어는 경상북도 상주시 소재의 무지개 송어 양식장에서 양식된 무지개 송어를 사용하였다. Astaxanthin이 첨가된 배합사료로 양식된 무지개 송어는 착색육 (pigmented rainbow trout), 색소가 첨가 되어 있지 않은 사료로 양식된 무지개 송어는 비착색육 (non-pigmented rainbow trout)으로 각각 0.8 kg정도로 자란 사료를 표피제거 후, semi-dressed 처리하여 냉동고 (-80℃)에 보관하면서 실험에 사용하였다.

Table 1. Nutrient contents of extruded pellet for rainbow trout

| Nutrients contents | Percent (%) |
|--------------------|-------------|
| Crude protein      | 45.0        |
| Crude fat          | 5.0         |
| Crude fiber        | 4.0         |
| Crude ash          | 15.0        |
| Others             | 31.0        |

Table 2. Astaxanthin content in extruded pellet for rainbow trout

| Weight of rainbow trout (g) | Particle size (mm) | Astaxanthin content (mg/kg) |                         |
|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|-------------------------|
|                             |                    | Non-pigmented rainbow trout | Pigmented rainbow trout |
| 5 - 10                      | 1.6 - 1.7          | 0                           | 0                       |
| 10 - 20                     | 2.2 - 2.3          | 0                           | 0                       |
| 20 - 40                     | 3.3 - 3.5          | 0                           | 0                       |
| 40 - 100                    | 4.4 - 4.6          | 0                           | 0                       |
| 100 - 300                   | 5.5 - 5.8          | 0                           | 3                       |
| > 300 g                     | 6.5 - 6.9          | 0                           | 4 - 5                   |

무지개 송어 사육에 사용된 배합사료 (Table 1)에 치어의 체중 0.1 kg정도일 때부터 astaxanthin을 첨가한 사료를 급여하였다. 이 때 체중에 따라 astaxanthin의 함량이 달라지게 되는데, 함량의 차이는 Table 2에서 볼 수 있다.

### 송어육의 일반성분 분석

일반성분 분석은 A.O.A.C.법 (1995)에 의해 수분은 105℃ 상압가열건조법, 조지방은 soxhlet법, 조단백질은 semi-micro Kjeldahl법, 조회분은 건식회화법으로 분석하였다.

### 송어육의 유리아미노산 분석

유리아미노산은 시료 5 g에 5-sulfosalicylic acid 0.5 g을 첨가하여 체단백시킨 후 원심분리 (3,000×g, 15 min, 4℃)하였다. 상층액을 0.2 μm membrane filter로 여과한 다음 lithium citrate buffer (pH 2.2)로 일정량 희석하여 이것을 분석액으로 아미노산 자동분석기 (Hitach Amino acid Analyzer L-8900, Hitachi Ltd., Japan)를 이용하여 분석하였다.

### 무기질

무기질은 Cetin et al. (2007)에 따라서 질산으로 유기질을 습식 분해하여 시료를 조제한 다음 분석기기는 Optima 2100 DV ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer) (Perkin-Elmer Inc., USA)로 사용하였다.

### 지방산조성분석

지방산 조성의 분석을 위해 시료를 Bligh and Dyer (1959)에 따라 1.0 N 알코올성 KOH 용액으로 검화한 다음 14% BF<sub>3</sub>에 용해된 methanol (3 mL)을 가하고 환류 가열 (100℃, 10 min)하여 지방산 메틸에스테르화하여 조제하였으며, 이를 Supelco사의 SP<sup>TM</sup>-2560 (100 m × 0.25 mm ID, 0.20 μm)을 장착한 Agilent 6890 Series GC (Gas Chromatograph) (Agilent Technologies, USA; detector, FID)로 분석하였다. 분석조건은 injector 및 detector (FID) 온도를 각각 250℃로 하고, 컬럼온도는 240℃까지 승온시키고, 12분간 유지하였다. Carrier gas는 N<sub>2</sub> gas를 사용하였으며, split ratio는 20:1로 하였다. 지방산 조성은 peak area의 상대적인 비로 나타내었다.

### 비타민분석

비타민 E 함량 분석을 위해 Kwak et al. (2004)의 방법에 따라 전처리 한 후에 HPLC로 분석하였다. 분석컬럼은 Waters사의 X-bridge C<sub>18</sub> (4.6 × 150 mm, 5 μm)을 이용하여 Agilent 1200 Series HPLC (Agilent Technologies, USA)로 분석하였다. 형광검출기의 파장은 excitation wavelength는 290 nm, emission wavelength는 330 nm를 이용하였으며 이동상은 1.3%의 isopropanol을 함유한 n-hexane으로 유속은 1.0 mL/min이었으며 시료는 20 μL를 주입하였다.

비타민 C, 나이아신, 비타민B<sub>1</sub>, 비타민B<sub>2</sub>, 비타민B<sub>6</sub> 함량은 Kim et al. (2002)의 방법에 따라 시료를 전처리 하고 ChromaNix사의 Sunrise C<sub>18</sub> (4.6 × 250 mm, 5 μm)를 장착한 Agilent 1200 Series HPLC (Agilent Technologies, USA)로 분석하였다.

**Carotenoid계 화합물의 추출**

송어육 50 mg을 100 mL 메스플라스크에 취하여 30 mL의 acetone으로 완전히 용해시킨 후 100 mL로 정용하고 이 용액을 acetone으로 10배 희석하였다. 희석액 3 mL을 10 mL 원심분리관에 취한 후 cholesterol esterase 용액 3 mL을 첨가, 혼합하여 37°C의 수욕상에서 5~10분 마다 흔들어주면서 45분간 반응시켰다. 효소 분해 후 sodium sulfate decahydrate 1 g과 petroleum ether 2 mL을 첨가하여 30초간 혼합 후 3,000 rpm에서 3분간 원심분리하여 petroleum ether층을 취하였다. 진처리된 petroleum ether층을 sodium sulfate anhydrous 1 g이 첨가된 10 mL 원심분리관에 넣어 탈수시키고 petroleum ether층을 감압농축하여 건조 후 acetone 3 mL 첨가하여 초음파처리한 용액을 시료용액으로 하여 추후 분석에 사용하였다.

**Astaxanthin 함량 분석**

앞에서 추출한 carotenoids 농축물을 Kim et al. (2008), Damoko et al. (2000)에 따라 Agilent 1200 Series HPLC (Agilent Technologies, USA)을 이용하여 astaxanthin 함량 분석을 실시하였다. 이때 사용한 분석컬럼은 C<sub>30</sub> YMC Carotenoid column (YMC, Wilmington, NC, 4.6 × 250 mm, 5 μm)이고, 검출기는 UV/visible 검출기 (474 nm)를 사용하여 유속 1 mL/min로 하고 컬럼온도 온도는 25°C에서, 이동상으로는 메탄올, t-butylmethylether, 1% 인산용액을 gradient를 주어 분석하였다. 내부표준물질로 trans-β-apo-8'-carotenal (Sigma, MO, USA)을 사용하였다.

**결과 및 고찰**

**송어육의 일반성분 변화**

무지개 송어육의 일반성분 분석결과는 Table 3에 나타난 바와 같이 수분, 조단백질 및 조회분은 비착색육 (77.70%; 18.50% 및 1.54%)과 착색육 (73.29 %, 20.49% 및 1.35%)에서 별다른 차이를 보이지 않았다. 그러나 조지방의 경우 착색되지 않은 무지개 송어는 3.01%, 착색된 무지개 송어는 7.52%로 착색육의 경우는 비착색육에 비해서 지질함량이 2배 이상 높은 것으로 나타났는데 이는 사료에 첨가된 astaxanthin 색소가 무지개 송어육에 축적된 결과로 사료된다. 본 연구의 결과는 Park and Kim (1996)이 보고한 착색된 무지개 송어육의 일반성분 분석 결과와 비교하였을 때 단백질 (19.40%)과 회분 (1.26%)의 경우는 큰 차이가 없었지만 수분 (69.02%)과 조지방 (9.59%)에서는 다소 간의 차이가 나타났다. 이러한 이유는 두 시료간의 사육방법의 차이에 따른 결과로 사료된다.

**송어육의 유리아미노산 성분 변화**

Astaxanthin 첨가에 의한 송어육의 유리아미노산 조성 변화를 분석한 결과 분석된 24종의 유리아미노산의 총량은 착색육이 112.02 mg으로 비착색육 (93.33 mg)에 비해 20%이상 증가하였다 (Table 4). 비착색육에서는 anserine, glycine, histidine, taurine, hydroxyproline 등의 함량이 높았고 착색된 송어육에서는 anserine, histidine, glycine, alanine, taurine 등의 함량이

높은 것으로 분석 되었다. 특히, 착색육의 경우 비착색육에 비해 anserine의 함량이 2배 높았다. Lukton and Olcott (1958)에 의하며 연어류의 어육은 anserine이 풍부한 것으로 보고된 바 있으며, 본 연구의 결과에서도 착색된 송어육에서 anserine의 함량이 높게 나타났다. Anserine은 연어 이외에도 다랑어류, 상어류, 고래류에도 많이 분포하는 것으로 알려져 있다 (Suyama et al., 1970). 또한, anserine은 일반적으로 회유성 어류의 특징인 이동성과 관련 있는 것으로 알려져 있으며 (Marit et al., 1995; Suyama et al., 1986; Abe et al., 1991), 근육의 운동시 생성된 젖산을 효과적으로 중화시키는 완충능력을 나타냈다고 보고하고 있어 근육의 피로 회복에 유용한 성분으로 작용할 것으로 기대되는 성분이다 (Harris et al., 1990).

Table 3. Proximate composition of pigmented and non-pigmented rainbow trout meat (Unit : %)

| Component     | Non-pigmented rainbow trout | Pigmented rainbow trout |
|---------------|-----------------------------|-------------------------|
| Moisture      | 77.70 ± 0.45                | 73.29 ± 0.43            |
| Crude protein | 18.50 ± 0.33                | 20.49 ± 0.58            |
| Crude fat     | 3.01 ± 0.69                 | 7.52 ± 1.37             |
| Ash           | 1.54 ± 0.08                 | 1.35 ± 0.23             |

\* Values are means±S.E.(n=3).

Table 4. Amino acid contents in pigmented and non-pigmented rainbow trout meat

| Kinds of amino acids   | Non-pigmented rainbow trout |               | Pigmented rainbow trout |               |
|------------------------|-----------------------------|---------------|-------------------------|---------------|
|                        | mg/100 g                    | %             | mg/100 g                | %             |
| Phosphoserine          | 0.05                        | 0.05          | 0.04                    | 0.04          |
| Taurine                | 7.12                        | 7.63          | 3.77                    | 3.37          |
| Phosphoethanolamine    | 0.07                        | 0.07          | 0.06                    | 0.06          |
| Aspartic acid          | 0.41                        | 0.44          | 0.24                    | 0.21          |
| Hydroxyproline         | 1.60                        | 1.71          | 0.41                    | 0.37          |
| Threonine              | 0.81                        | 0.87          | 0.69                    | 0.61          |
| Proline                | 0.64                        | 0.69          | 0.32                    | 0.28          |
| Glycine                | 17.37                       | 18.61         | 5.18                    | 4.62          |
| Alanine                | 0.00                        | 0.00          | 4.08                    | 3.64          |
| Citrulline             | 0.00                        | 0.00          | 0.07                    | 0.06          |
| α-Aminoisobutyric acid | 0.11                        | 0.12          | 0.12                    | 0.11          |
| Valine                 | 0.04                        | 0.05          | 1.01                    | 0.90          |
| Cysteine               | 0.00                        | 0.00          | 0.22                    | 0.20          |
| Methionine             | 0.38                        | 0.41          | 0.28                    | 0.25          |
| Cystathionine          | 0.24                        | 0.26          | 0.28                    | 0.25          |
| Isoleucine             | 0.37                        | 0.40          | 0.43                    | 0.38          |
| Leucine                | 0.96                        | 1.02          | 1.04                    | 0.93          |
| Tyrosine               | 0.72                        | 0.77          | 0.76                    | 0.68          |
| β-Alanine              | 1.01                        | 1.08          | 0.53                    | 0.47          |
| Phenylalanin           | 1.02                        | 1.10          | 0.94                    | 0.84          |
| γ-Aminoisobutyric acid | 0.03                        | 0.03          | 0.00                    | 0.00          |
| Ornithine              | 0.08                        | 0.08          | 0.09                    | 0.08          |
| 1-Methylhistidine      | 1.51                        | 1.61          | 0.00                    | 0.00          |
| Histidine              | 15.56                       | 16.67         | 10.82                   | 9.66          |
| Anserine               | 42.73                       | 45.78         | 80.12                   | 71.52         |
| Arginine               | 0.51                        | 0.55          | 0.53                    | 0.47          |
| <b>Total</b>           | <b>93.33</b>                | <b>100.00</b> | <b>112.02</b>           | <b>100.00</b> |

송어육의 무기질 조성

착색육 및 비착색육의 무기질 함량 분석 결과, Fe와 Zn은 착색된 무지개 송어육 (7.21 mg/100 g; 14.31 mg/100 g)이 비착색육 (2.67 mg/100 g; 2.16 mg/100 g)에 비해 각각 3배 및 7배 많았지만 K, Ca와 Mg의 경우에는 비착색육 (1516.27 mg/100 g; 551.21 mg/100 g; 153.40 mg/100 g)이 착색육 (876.56 mg/100 g; 149.09 mg/100 g; 101.92 mg/100 g) 보다 다소 함유량이 높은 것으로 분석 되었다.

Fe과 Zn의 경우 인체의 신진 대사에 관여하는 중요한 미량 무기질로 한국 성인 1일 섭취량은 각각 12 mg 으로 보고되고 있다 (한국인 영양 권장량, 2000). 따라서 착색된 송어육 100 g에는 Fe와 Zn의 일일 권장량의 각각 60.1% 와 119.3%를 섭취하는 효과가 있어 송어 착색육은 무기질 공급원으로서 우수한 식소재라고 할 수 있다.

Table 5. Mineral contents in pigmented and non-pigmented rainbow trout meat

| (Unit : mg/100 g) |                             |                         |
|-------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Component         | Non-pigmented rainbow trout | Pigmented rainbow trout |
| K                 | 1516.27 ± 0.37              | 876.56 ± 0.22           |
| Ca                | 551.21 ± 0.16               | 149.09 ± 0.24           |
| Mg                | 153.40 ± 0.33               | 101.92 ± 0.23           |
| Fe                | 2.67 ± 0.47                 | 7.21 ± 0.38             |
| Zn                | 2.16 ± 0.19                 | 14.31 ± 0.17            |

\* Values are means±S.E. (n=3).

송어육의 지방산 조성 변화

착색육과 비착색육에서 각각 21종의 지방산이 분석 되었으며 그 성분의 차이는 거의 없었다 (Table 6). 착색육은 포화지방 30.3%, 모노엔 32.1%, 폴리엔 37.6%의 지방산 조성을 나타내었고, 비착색육은 포화지방 31.1%, 모노엔 28.1%, 폴리엔 40.8%이었다. 포화지방의 경우 비착색육과 착색육에서 각각 8종 동정되었으며 두 시료에서 C16:0 (Palmitic acid)이 19.7%로 가장 높은 비율을 차지하였다. 모노엔에서는 비착색육에서 6종, 착색육에서 5종이 동정되었고, C18:1 (Oleic acid)가 각각 19.4%, 25.3%로 차지하는 비율이 높았다. 폴리엔의 경우 비착색육에서 7종, 착색육에서 8종이 동정되었고, 비착색육에서는 C22:6n-3 (EPA)가 19.7%, 착색육에서는 C18:2 (Linoleic acid)가 18.1%로 차지하는 비율이 높았다. Park and Kim (1996)이 보고한 착색된 양식산 무지개 송어의 지방산 조성 결과 (포화지방 30.7%, 모노엔 40.4%, 폴리엔 23.4%)와 비교하였을 때 불포화지방산의 조성에서 다소간의 차이가 나타는데 이는 두 시료간의 사육방법의 차이에 따른 결과로 사료된다.

본 연구에서 분석에 사용된 착색 육의 경우 건강기능성 지방산으로 인기가 있는 DHA (22:6n-3)와 EPA (20:5n-3)의

함량을 전체 지방 함량에 대한 지방산 조성의 합으로 비교해 본 결과 착색된 무지개 송어 (1.632 mg/g lipid)이 비착색육 (1.003 mg/g lipid)에 비해 60% 정도 높아 착색육이 비착색육에 비해 EPA와 DHA와 같은 불포화지방산의 작용에 의한 기능성이 뛰어날 것으로 기대된다 (Mehta et al., 1987).

Table 6. Fatty acid composition in pigmented and non-pigmented rainbow trout meat

| Fatty acid       | Non-pigmented rainbow trout |            | Pigmented rainbow trout |            |
|------------------|-----------------------------|------------|-------------------------|------------|
|                  | % in total fatty acids      | mg/g lipid | % in total fatty acids  | mg/g lipid |
| C4:0             | 0.1                         | 0.004      | 0.0                     | 0.000      |
| C12:0            | 0.1                         | 0.004      | 0.1                     | 0.010      |
| C14:0            | 4.9                         | 0.185      | 3.8                     | 0.374      |
| C15:0            | 0.5                         | 0.019      | 0.3                     | 0.029      |
| C16:0            | 19.7                        | 0.746      | 19.7                    | 1.937      |
| C17:0            | 0.5                         | 0.019      | 0.4                     | 0.039      |
| C18:0            | 5.0                         | 0.189      | 5.6                     | 0.551      |
| C20:0            | 0.3                         | 0.011      | 0.3                     | 0.029      |
| C24:0            | 0.0                         | 0.000      | 0.1                     | 0.010      |
| <b>Saturates</b> | <b>31.1</b>                 | <b>-</b>   | <b>30.3</b>             | <b>-</b>   |
| C16:1            | 6.2                         | 0.235      | 5.9                     | 0.580      |
| C17:1            | 0.2                         | 0.008      | 0.4                     | 0.039      |
| C18:1            | 19.4                        | 0.734      | 25.3                    | 2.488      |
| C20:1, n-9       | 1.6                         | 0.061      | 0.0                     | 0.000      |
| C22:1, n-9       | 0.2                         | 0.008      | 0.2                     | 0.020      |
| C24:1            | 0.5                         | 0.019      | 0.3                     | 0.029      |
| <b>Monoenes</b>  | <b>28.1</b>                 | <b>-</b>   | <b>32.1</b>             | <b>-</b>   |
| C18:2            | 11.4                        | 0.431      | 18.1                    | 1.780      |
| C18:3            | 0.0                         | 0.000      | 0.2                     | 0.020      |
| C20:2            | 1.1                         | 0.042      | 1.3                     | 0.128      |
| C20:3, n-6       | 0.6                         | 0.023      | 0.5                     | 0.049      |
| C20:4, n-6       | 1.1                         | 0.042      | 0.8                     | 0.079      |
| C20:5, n-3       | 6.8                         | 0.257      | 4.5                     | 0.442      |
| C22:2            | 0.1                         | 0.004      | 0.1                     | 0.010      |
| C22:6, n-3       | 19.7                        | 0.746      | 12.1                    | 1.190      |
| <b>Polynes</b>   | <b>40.8</b>                 | <b>-</b>   | <b>37.6</b>             | <b>-</b>   |

송어육의 비타민 함량 및 성분

착색육과 비착색육의 비타민 조성 결과는 Table 7에 나타나 있다. 면역능에 깊은 관련이 있는 것으로 알려진 비타민 B<sub>6</sub>의 경우는 착색육 (0.16 mg/100 g)에서는 검출되었지만 비착색육에서는 검출되지 않았다. 천연항산화제 알려진 비타민 E 및 C의 함량은 비착색육 (89.67 mg/100 g 및 불검출)에 비해 착색육 (156.62 mg/100 g 및 3.46 mg/100 g)이 월등히 높은 것으로 분석되어 astaxanthin 첨가에 의해 송어육의 기능성이 향상된 것으로 평가된다.

Table 7. Vitamin contents in pigmented and non-pigmented rainbow trout meat (Unit : mg/100 g)

| Component          | Non-pigmented rainbow trout | Pigmented rainbow trout |
|--------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Niacin             | 0.07 ± 0.11                 | 1.73 ± 0.40             |
| Vit B <sub>1</sub> | 0.37 ± 0.26                 | 0.45 ± 0.04             |
| Vit B <sub>2</sub> | 0.17 ± 0.16                 | 0.13 ± 0.06             |
| Vit B <sub>6</sub> | ND*                         | 0.16 ± 0.02             |
| Vit C              | ND*                         | 3.46 ± 0.15             |
| Vit E              | 89.67 ± 0.14                | 156.62 ± 0.49           |

\* ND : not detected.

\* Values are means±S.E. (n=3).

총 carotenoid계 화합물 및 astaxanthin 함량 조사

일반적으로 carotenoid계 색소는 항암, 항산화 등의 다양한 생리기능성을 가지고 있는 물질로 알려져 있으며 그 중 astaxanthin은 활성산소를 안정화하거나 free radical을 제거하는 등의 기능이 매우 뛰어나고 (Krinsky, 1989), 항암작용 (Gomes, 2007) 및 노화억제 (El-Agameya et al., 2004) 등의 다양한 생리활성 기능을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 이런 다양한 기능성은 astaxanthin중에서도 all-trans 이성질체 형태로 알려져 있다. 그러나, 자연에 존재하는 all-trans 이성질체 형태는 cis-trans형으로 쉽게 이성질체화 되기 쉬우며, 그중에서도 입체적인 이유로 9-cis나 13-cis로 이성질체화 되는 것으로 알려져 있다 (Yun et al., 1999). 이에 따라 HPLC로 trans-astaxanthin, 9-cis-astaxanthin, 13-cis-astaxanthin를 standard로 하여 분석하였다.

총 carotenoid계 화합물은 착색육이 어육 100 g 당 12.818 mg로 비착색육의 5.309 mg 보다 2배 이상 높은 것으로 분석되었다 (Fig. 1). 이는 astaxanthin 사료에 의해 송어육의 지질함량이 증가할 뿐만 아니라 육에 축적되는 carotenoids의 함량도 증가한다는 연구결과 (Gouveia et al., 1998)와도 일치한다. Astaxanthin 함량의 경우에는 착색육이 100 g 당 0.0724 mg으로 비착색육에 비해 6 배 이상 함량이 월등히 높았는데 이는 착색제로 사료에 첨가한 astaxanthin이 근육에 많이 축적되기

때문이다 (Fig. 2; Table 8). 체내의 astaxanthin 함량 증가는 체내 지방량의 증가와 깊은 관련이 있으며 (Torrissen et al., 1990), astaxanthin과 더불어 canthaxanthin도 증가하는 것으로 알려져 있다 (Gouveia et al., 1998). 이와는 상반되게 비착색육에서 검출된 carotenoids 및 astaxanthin은 사료에서 기인하는 것으로 생각된다.

이상의 결과를 종합하여보면, 송어 등의 어류 양식에서 육색의 개선을 위하여 사용되어져 왔던 astaxanthin의 경우, 어육의 육색 개선뿐만 아니라 EPA와 DHA와 같은 다가불포화 지방산, Fe 및 Zn과 같은 미량 무기질, 비타민 (B군, C 및 E), 그리고 astaxanthin 등과 같은 carotenoid계 화합물의 함유량 증가 등의 식품학적 품질 개선의 효과도 초래하는 것으로 분석되었다. 특히, astaxanthin은 항산화 (Krinsky, 1989) 및 항암효과 (Gomes, 2007)를 가지고 있는 기능성 성분으로 알려져 있어 추후, astaxanthin이 첨가된 사료를 가지고 양식한 송어육의 항산화 및 항암 효과에 대한 연구를 진행할 예정이다.

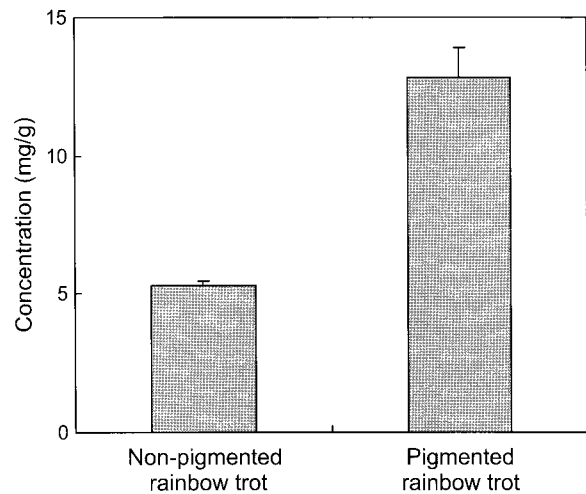


Fig. 1. Contents of total carotenoids in pigmented and non-pigmented rainbow trout meat.

Table 8. Contents of astaxanthin and its trans isomer in pigmented and non-pigmented rainbow trout meat (mg/100 g)

|                    | Non-pigmented rainbow trout | Pigmented rainbow trout |
|--------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 9-cis-astaxanthin  | 0.0016 ± 0.0001             | 0.0009 ± 0.0001         |
| 13-cis-astaxanthin | 0.0009 ± 0.0001             | 0.0011 ± 0.0003         |
| trans-astaxanthin  | 0.0091 ± 0.0004             | 0.0703 ± 0.0007         |
| Total              | 0.0116 ± 0.0048             | 0.0724 ± 0.0367         |
| I.S. (standard)    | 1                           | 1                       |

I.S. = trans-β-apo-8'-Carotenal

\* Values are means±S.E. (n=3).

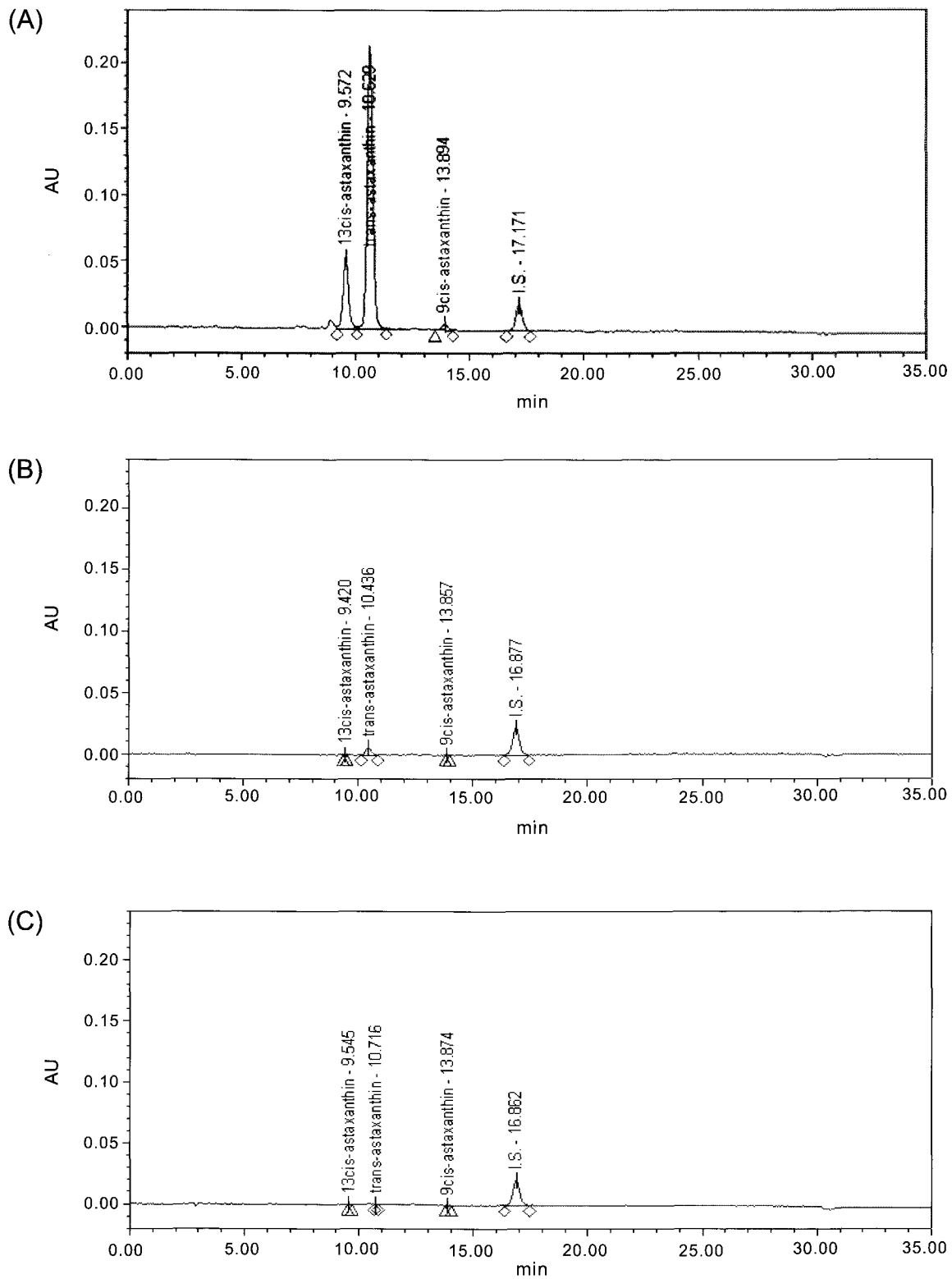


Fig. 2. HPLC profiles of astaxanthin and its all-*trans* isomers. (A), standard mixture; (B), pigmented rainbow trout of astaxanthin from hydrolysate; (C), non-pigmented rainbow trout of astaxanthin from hydrolysate. IS, Internal standard (*trans*- $\beta$ -apo-8'-carotenal). The concentration of standard was 5 mg/mL.

## 사 사

본 연구는 송어자조금관리위원회의 연구비 지원과 수산과학에 대한 깊은 관심과 영감을 주셨던 고 강용환 선생님을 기념하기 위하여 미국 워싱턴주 린우드시 소재 SKS Trading Co.의 연구비 지원에 의해서 수행되었습니다. 이에 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- Abe H and Okuma E. 1991. Effect of temperature on the buffering capacities of histidine-related compounds and fish skeletal muscle. *J Jap Fish Soc* 57, 2101-2107.
- AOAC. 1995. *Official Methods of Analysis*. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C., U.S.A., 49-59.
- Behnke RJ. 1992. Native Trout of Western North America. American Fisheries Society Monograph 6. Bethesda, Maryland, U.S.A., 275.
- Bligh EG and Dyer WJ. 1959. A rapid method of lipid extraction and purification. *Can J Physio Pharmacol* 37, 911-917.
- Buyukacapar HM, Yanar M and Yanar Y. 2007. Pigmentation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) with carotenoids from marigold flower (*Tagetes erecta*) and red pepper (*Capsicum annum*). *Turk J Vet Anim Sci* 31, 7-12.
- Cetin B, Yatkin S, Bayram A and Odabasi M. 2007. Ambient concentrations and source apportionment of PCBs and trace elements around an industrial area in Izmir, Turkey. *Chemosphere* 69, 1267-1277.
- Darnoko D, Cheryan M, Moros E, Jerrel J and Perkins EG. 2000. Simultaneous HPLC Analysis Of Palm Carotenoids and Tocopherols Using a C-30 Column and photodiode array detectors. *J Liq Chromatogr Related Technol* 23, 1873-1885.
- El-Agameya A, Lowe GM, McGarvey DJ, Mortensen A, Phillip DM, Truscotta TG and Young AJ. 2004. Carotenoid radical chemistry and antioxidant/pro-oxidant properties. *Arch Biochem Biophys* 430, 37-48.
- Ellis JN. 1979. The use of natural and synthetic carotenoids in the diet to color the flesh of salmonid. *Proc. World Symp. on Finfish Nutrition and Fish Feed Technology*, Hamburg, Heeneman, Berlin, Germany, 353-364.
- Gomes FDS. 2007. Carotenoids: A possible protection against cancer development. *Rev Nutr Campinas* 20, 537-548.
- Gouveia L, Choubert G, Gomes E, Rema P and Empis J. 1998. Use of *Chlorolla vulgaris* as a carotenoid source for rainbow trout: effect of dietary lipid content on pigmentation, digestibility and retentin in the muscle tissue. *Aquaculture* 6, 269-279.
- Ha BS, Kweon MJ, Park MY, Baek SH, Kim SY, Baek IO and Kang SJ. 1997. Comparison of dietary carotenoids metabolism and effects to improve the body color of cultured fresh-water fishes and marine fishes. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 26, 270-284.
- Harris RC, Marlin DJ, Dunnett M, Snow DH and Hultman E. 1990. Muscle buffering capacity and dipeptide content in the thoroughbred horse, greyhound dog and man. *Comp Biochem Physiol* 97A, 249-251.
- Henmi H, Hata M and Hata M. 1989. Astaxanthin and/or canthaxanthin-actomyosin complex in salmon muscle. *Nippon Suisan Gakkai Shi* 55, 1583-1589.
- Kim HS, Jang DK, Woo DK and Woo KL. 2002. Comparison of preparation methods for water soluble vitamin analysis in foods by reversed-phase high performance liquid chromatography. *Korean J Food Sci Technol* 34, 141-150.
- Kim SY, Cho EA, Yoo JM, In MJ and Chae HJ. 2008. Extraction and analysis of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* using sonication. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37, 1363-1368.
- Krinsky NI. 1989. Antioxidant functions of carotenoids. *Free Radical Biol Med* 7, 617-635.
- Kwak BM, Lee KW, Ahn JH and Kong UY. 2004. Simultaneous determination of vitamin A and E in infant formula by rapid extraction and HPLC with photodiode array detection. *Korean J Food Sci Technol* 36, 189-195.
- Liu X and Osawa T. 2007. *Cis* astaxanthin and especially 9-*cis* astaxanthin exhibits a higher antioxidant activity *in vitro* compared to the all-*trans* isomer. *Biochem Biophys Res Commun* 357, 187-193.
- Lukton A and Olcott HS. 1958. Content of free imidazole compounds in the muscle tissue of aquatic animals. *Food Res* 23, 611-618.
- Marit A, Lief J and Hans G. 1995. Quantitative high resolution <sup>13</sup>C nuclear magnetic resonance of anserine and lactate in withe muscle of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Comp Biochem Physiol* 112B, 315-321.
- Mehta J, Lopez LM and Wargovich T. 1987. Eicosapentaenoic acid: Its relevance in atherosclerosis and coronary artery disease. *Am J Cardiol* 59, 155-159.
- Park SY and Kim HR. 1996. Changes of food com-

- ponents and lipid peroxides in rainbow trout with growth. J Korean Soc Food Sci Nutr 25, 928-931.
- Suyama M, Hinaro T and Suzuki T. 1986. Buffering capacity of free histidine and its related dipeptides in white and dark muscle of yellowfin tuna. Bull Japan Soc Sci Fish 52, 2171-2175.
- Suyama M, Suzuki T, Maruyama M and Saito K. 1970. Determination of carnosine, anserine and balenine in the muscle of animal. Nippon Suisan Gakkai Shi 36, 1048-1053.
- The Korean Nutrition Society. 2000. Recommended dietary allowances for Koreans. 7th ed. Chungang Publishing Co., Seoul. Korea, 157-166, 340-380.
- The Korea Trout Culture Association. 2005. The 40th anniversary collection of articles on trout culture in Korea. The Korea Fisheries Times Co. Ltd., Seoul, Korea, 54-59.
- Tolasa S, Cakli S and Ostermeyer U. 2005. Determination of astaxanthin and canthaxanthin in salmonid. Eur Food Res Technol 221, 787-791.
- Torrissen O, Hardy RW, Shearer KD, Scott TM and Stone FE. 1990. Effects of dietary canthaxanthin level and lipid level on apparent digestibility coefficients for canthaxanthin in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 88, 351-362.
- Torrissen OJ. 1986. Pigmentation of salmonids- a comparison of astaxanthin and canthaxanthin as pigment sources for rainbow trout. Aquaculture 53, 271-278.

---

2010년 1월 13일 접수  
 2010년 3월 9일 수정  
 2010년 4월 13일 수리