J. Korean Soc. Food Nutr.
21 (4), 407 ~ 413 (1992)

넙치와 방어의 Carotenoid 색소성분

하봉석† · 강동수 · 조영숙* · 박미연**

경상대학교 식품영양학과
*순천대학교 식품영양학과
**통영수산전문대학 식품영양과

Carotenoid Pigments of Flounder and Yellowtail

Bong-Seuk Ha†, Dong-Soo Kang, Young-Sook Cho* and Mi-Yeon Park**

Dept. of Food and Nutrition, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea
**Dept. of Food and Nutrition, Sunchun National University, Sunchun 540-070, Korea*
***Dept. of Food and Nutrition, National Tong-Yeong Fisheries Technical College, Chungmu 650-160, Korea*

Abstract

Difference of carotenoid pigments in integuments of the wild and cultured flounder, *Paralichthys olivaceus* and yellowtail, *Seriola quinqueradiata* were studied. Total carotenoid contents in integuments of the wild and cultured flounder were 1.38mg% and 1.16mg%, respectively. The main carotenoids in integuments of the wild flonder were zeaxanthin (19.22%), β-carotene type triol (17.80%), tunaxanthin C (17.77%), lutein (16.44%) and tunaxanthin B (13.70%). In addition, tunaxanthin A (5.42%), α-cryptoxanthin (4.80%), astaxanthin (0.69%) and β-cryptoxanthin (0.24%) were also contained in small amounts. But in the cultured flounder, lutein (38.21%) and zeaxanthin (29.69%) were contained as main carotenoids. In addition, β-carotene type triol (7.80%), tunaxanthin C (7.05%), α-cryptoxanthin (4.34%), tunaxanthin B (4.21%), astaxanthin (2.40%) and β-cryptoxanthin (1.30%) were present in small amounts. Consequently, the wild flounder contained higher amounts of tunaxanthin and triol but contained lower amounts of lutein and zeaxanthin than the cultured flonder. The contents of carotenoids from integuments of wild and cultured yellowtail were 1.08mg% and 0.09mg%. Wild and cultured yellowtail have similar carotenoid patterns, consisting of tunaxanthin C (44.11%, 43.37%), tunaxanthin B (33.56%, 29.23%) and tunaxanthin A (18.22%, 21.68%), respectively.

Key words : flounder, yellowtail, carotenoid, zeaxanthin

서 론

연근해에서의 수산물의 어획량은 남획과 환경오염 때문에 감소하고 있는데 반하여, 수산물의 수요는 해마다 증가하고 있다. 이에 따라 최근에는 돔, 방어, 넙치, 우럭, 농어, 능성어, 그리고 보리새우 등의 고급어종의 양식업이 대규모화되고 그 생산량[1]은 1984년 331 ton에서 1989년 2,661 ton으로 증가하여 천연어종의 어획량을 능가하게 되었다. 그러나 양식어류는 체형, 표피 및 육색의 색택뿐만아니라 육질과 식미가 천연어에 비하여 열등하기때문에 상품가치가 심하게 떨어지는 형편이다.

†To whom all correspondence should be addressed

어류의 표피 및 지느러미에 존재하는 carotenoid의 대표적인것[2]은 다랑어, 방어, 꽁치 등의 해산어류에 널리 분포하는 tunaxanthin, 돔류 및 성대 등의 해산적색어류의 주성분으로 분포하는 astaxanthin, 멸치 및 가자미 등에 함유하는 zeaxanthin 그리고 잉어 및 황어 등의 담수어류에 분포하는 lutein 등으로 알려져, tunaxanthin은 해산어류에, lutein은 담수어류에 특유의 carotenoid라고 알려져 왔다. 그러나 Matsuno 등에 의하면 담수어인 꺽지[3]에는 tunaxanthin이, 은어[4]에는 zeaxanthin이, 그리고 잉어류[5]에는 cynthiaxanthin이 주성분으로 함유되며, 해산어인 전갱이 및 숭어[6]에는 zeaxanthin이, 복어[6]에는 tunaxanthin과 zeaxanthin이 주성분으로 함유되어, 서식환경 뿐만아니라 종에 의해서도 carotenoid의 구성성분이 다른것으로 보고되고 있다.

따라서 양식어류의 육질의 개선 및 체색의 선명화에 대한 기초자료를 얻기 위하여 양식 넙치와 방어의 표피 carotenoid성분을 천연산과 비교 검토한 결과를 보고한다.

재료 및 방법

재 료

본 실험에 사용한 천연산 넙치(Flounder, *Paralichthys olivaceus*, 평균체장 25cm, 평균체중 180g)와 방어(Yellowtail, *Seriola quinqueradiata*, 평균체장 50cm, 평균체중 960g)는 경남 충무시 서호동 서호시장에서, 양식산 넙치(평균체장 23cm, 평균체중 170g)와 방어(평균체장 44cm, 평균체중 180g)는 경남 통영군 산양면 미남리 소재의 성지실업주식회사에서 해상 사육한 것을 각각 구입하여 실험실에 운반한 후, 표피만을 취하여 분석용 시료로 하였다.

Carotenoid의 추출

Carotenoid의 추출[7]은 탈피한 천연산 넙치표피 113g, 양식산 넙치표피 152g, 천연산 방어표피 95g, 양식산 방어표피 327g을 각각 실온에서 acetone으로 3회 추출하여 합한 추출액에 petroleum ether(p.e.)와 다량의 물로서 분리조작하여 carotenoid를 p.e.층으로 전용시킨후, p.e.층을 무수Na_2SO_4로서 탈수시키고, 40°C 이하의 N_2기류하에서 감압증류하여 총 carotenoid를 얻었다.

용매, 흡착제 및 측정기기

실험에 사용한 각종 용매는 증류 정제한것과 시판 특급시약이며, 특히 p.e.는 증류온도 범위 40~60°C의 것을 사용하였다. 그리고 가시부흡수 *spectrum*은 p.e. 용액으로써 Gilford Response UV-spectrophotometer에 의하여 측정하였다.

Carotenoid의 분리 및 정제

Thin-layer chromatography

Silica gel 60G (Merck사제)와 증류수 1 : 2의 비율로 혼합한 것을 20×20cm의 glass plate에 0.3mm의 두께로 도포하여 만든 plate를 110°C의 drying oven에서 2시간 활성화시킨후, carotenoid를 line-spotting하여 p.e. : acetone (90 : 10), p.e. : acetone (70 : 30) 그리고 p.e. : acetone (80 : 20), benzene : ethylacetate (65 : 35)의 전개용매로서 분리하였다.

Column chromatography

Carotenoid를 분리,정제하기위하여 MgO : celite 545 (1 : 1)를 흡착제로 하여 p.e.→acetone순으로 점차적으로 극성을 증가시키면서 column chromatography를 행하여 분리하였다.

Carotenoid의 정량

총 carotenoid 및 분리된 각 carotenoid의 정량은 p.e. 중에서의 가시부흡수 *spectrum*의 λ_{max}의 optical density에 의하여 McBeth의 방법[8]에 따라 흡광계 수 $E^{1\%}_{1cm}$ = 2,400으로 하여 계산하였다.

결과 및 고찰

넙치표피 carotenoid의 동정

넙치표피로부터 분리된 총 carotenoid를 column chromatography 한 결과, Fig. 1에서와 같이 3개의 획분(Fr. 1, Fr. 2 그리고 Fr. 3)으로 분리되었으며, 분리된 각 획분을 더욱 분리, 정제하기 위하여 TLC한 결과, Fig. 2에서 처럼, 획분 1은 1개의 획분으로 획분 2와 획분 3은 각각 3개의 획분(Fr.2-1, 2-2, 2-3 및 Fr.3-1, 3-2, 3-3)으로 분리되었다.

황색의 획분 1은 TLC에서의 Rf 치와 모양으로 보아,

ester type으로 추정되어 이를 60% KOH수용액으로 검화[9]하고 불검화물을 p.e.층으로 전용 시킨후 감압증류하여 다시 TLC한 결과, Fig. 3에서처럼 3개의 획분(Fr. 1-1, 1-2, 1-3)으로 분리되었으며, 또한 획분 1-3은 TLC상의 모양으로 보아 여러가지 성분의 혼합물로 추정되어 다시 column chromatography를 행한 결과, Fig. 4에서처럼 4개의 획분(Fr.1-3-1, 1-3-2, 1-3-3, 1-3-4)으로 분리되었다.

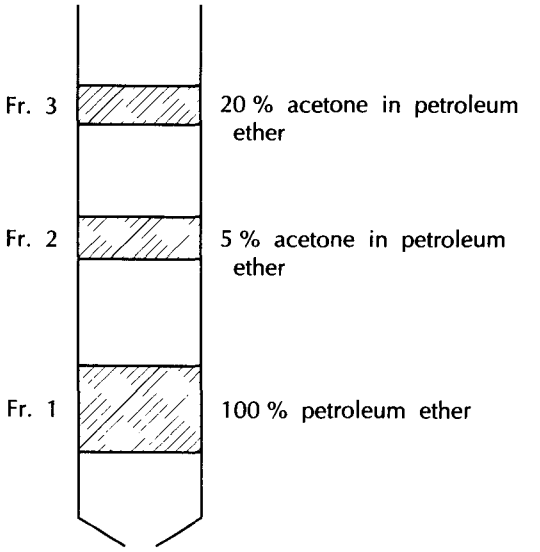

Fig. 1. Column chromatographic separation of carotenoids from the integuments of flounder on MgO : celite 545 (1 : 1).

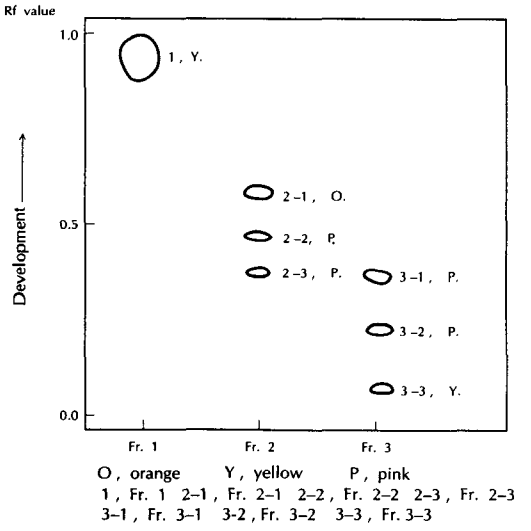

Fig. 2. Thin-layer chromatogram of each fraction isolated by the column chromatography for the carotenoids from integuments of flounder.
Absorbent ; Silica gel 60G
Solvent ; petroleum ether : acetone (90 : 10)

이상에서 분리정제한 각 획분의 carotenoid를 표품과의 가시부흡수 spectrum의 비교 및 co-TLC를 행하여 확인하였다.

획분 1-1, unidentified carotenoid; 황색의 획분 1-1은 가시부흡수 spectrum의 측정결과, 흡수극대치가 424.5, 446.5, 472.5 nm로서 β-carotene type의 흡수 spectrum을 나타냈으나 양의 제약때문에 더 이상의 동정이 불가능하였다.

획분 1-2, α-cryptoxanthin ; 황색의 획분 1-2는 가시부흡수 spectrum의 측정결과, 흡수극대치가 445.5, 472.0 nm로서 α-cryptoxanthin으로 예상되어, 옥수수로 부터 얻은 표품의 α-cryptoxanthin[10]과 직접 비교하여 α-cryptoxanthin으로 동정하였다.

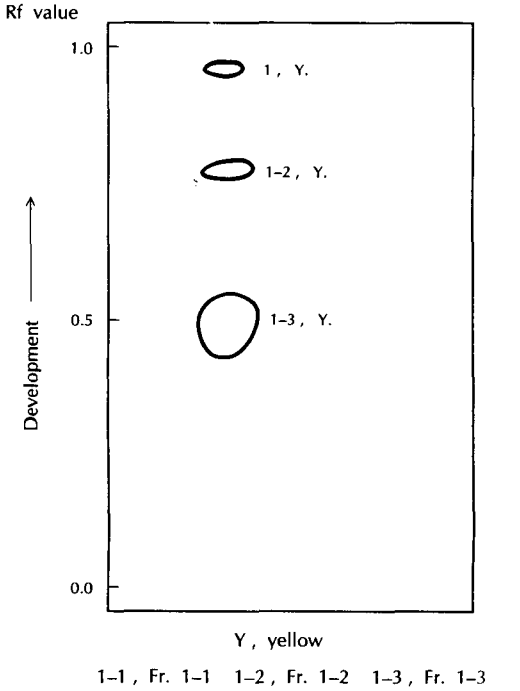

Fig. 3. Thin-layer chromatogram of saponified Fr. 1 isolated by thin-layer chromatography for the carotenoids from integuments of flounder.
Absorbent ; Silica gel 60G
Solvent ; petroleum ether : acetone (70 : 30)

획분 1-3-1, tunaxanthin ; Fig.4에서처럼, 15% acetone /p.e.로 용출된 획분 1-3-1은 가시부흡수 spectrum의 측정결과, 흡수극대치가 413.0, 436.5, 467.0nm로 나타났으며, 방어표피에서의 Fig. 6과 같이 tunaxanthin의 세가지 이성체의 혼합물로 동정하였다.

획분 1-3-2, lutein ; 25% acetone/p.e.로 용출된 획분 1-3-2는 가시부흡수 spectrum의 측정결과, 흡수극대치가 419.5, 442.0, 471.0 nm로서 lutein으로 예상되어, 난황으로 부터 얻은 표품의 lutein[11]과 직접 비교하여 lutein으로 동정하였다.

획분 1-3-3, zeaxanthin ; 30% acetone/p.e.로 용출된 획분 1-3-3은 가시부흡수 spectrum의 측정결과, 흡수 극대치가 447.5, 474.5 nm로서 zeaxanthin으로 예상되어, 소철의 열매로 부터 얻은 표품의 zeaxanthin[12]과 직접 비교하여 zeaxanthin으로 동정하였다.

획분 1-3-4, β-carotene type triol ; 100% acetone으로 용출된 획분 1-3-4는 가시부흡수 spectrum의 측정결과, 흡수극대치가 427.5, 449.0, 475.5nm로서 β-carotene과 유사한 흡수 spectrum을 나타내어 β-carotene type의 triol로 동정되었다.

획분 2-1, β-cryptoxanthin ; orange색의 획분 2-1은 가시부흡수 spectrum의 측정결과, 흡수극대치가 448.0, 476.5nm로서 β-cryptoxanthin으로 예상되어, 밀감의 껍질로 부터 얻은 표품의 β-cryptoxanthin[13]과 직접 비교하여 β-cryptoxanthin으로 동정하였다.

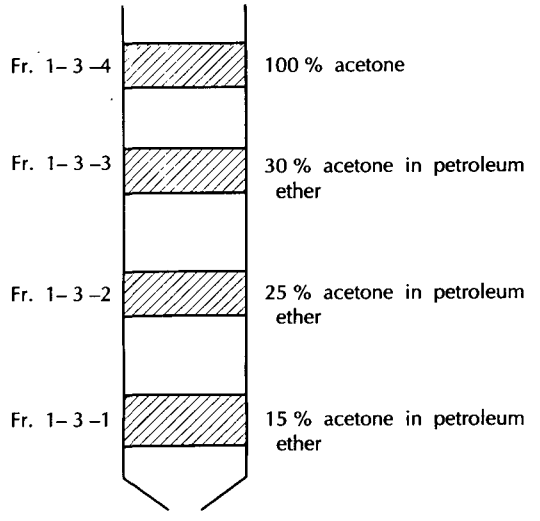

Fig. 4. Column chromatographic separation of Fr. 1-3 isolated by the thin-layer chromatography for the carotenoids from integuments of flounder on MgO : celite 545 (1 : 1).

획분 2-2, unidentified carotenoid; pink색의 획분 2-2는 가시부흡수 spectrum의 측정결과, 흡수극대치가 453.0nm로서 keto carotenoid 특유의 single band로 나타났으나 양의 제약때문에 더 이상의 동정이 불가능하였다.

획분 2-3, unidentified carotenoid ; pink색의 획분 2-3은 가시부흡수 spectrum의 측정결과, 흡수극대치가 420.5, 442.5, 471.5nm로서 β-carotene type의 흡수 spectrum을 나타냈으나 양의 제약때문에 더 이상의 동정이 불가능하였다.

획분 3-1, astaxanthin ; pink색의 획분 3-1은 가시부흡수 spectrum의 측정결과, 흡수극대치가 468.5nm로서 keto carotenoid 특유의 single band로 나타나 astaxanthin으로 예상되어, krill로 부터 얻은 표품의 astaxanthin[14]과 직접 비교하여 astaxanthin으로 동정하였다.

획분 3-2, unidentified carotenoid ; pink색의 획분 3-2는 가시부흡수 spectrum의 측정 결과, 흡수극대치가 427.5, 447.5nm로서 keto carotenoid type의 흡수 spectrum을 나타냈으나 양의 제약때문에 더 이상의 동정이 불가능하였다.

획분 3-3, unidentified carotenoid ; 황색의 획분 3-3은 가시부흡수 spectrum의 측정결과, 흡수극대치가 442.0, 470.5nm로서 β-carotene type의 흡수 spectrum을 나타냈으나 양의 제약때문에 더 이상의 동정이 불가능하였다.

이상에서와 같이, 넙치표피의 carotenoids는 Fig. 3의 column chromatography에서 얻어진 획분 1에서 분리된 ester type과 획분 2 및 획분 3에서 분리되는 free type의 혼합물로 존재하여 특이하였다.

넙치표피 carotenoid의 조성

천연산 및 양식산 넙치표피의 총 carotenoid 함량과 분리, 확인된 carotenoid의 조성비는 Table 1과 같다. 넙치표피의 총 carotenoid 함량은 양식산 1.16mg%로서 천연산 1.38mg%보다 낮은 함량치를 보였다. Carotenoid조성은 천연산에서 zeaxanthin 19.22%, β-carotene type의 triol 17.80%, tunaxanthin C 17.77%, lutein 16.44% 그리고 tunaxanthin B 13.70%로서 주성분을 이루며, 그외 tunaxanthin A 5.42%, α-cryptoxanthin 4.80%, astaxanthin 0.69% 및 β-cryptoxanthin 0.24%의 순으로 함유하고, 양식산에서는 lutein 38.21

Table 1. Amount and percentage composition of individual carotenoids in integuments of wild and cultured flounder

(% in total carotenoid)

Total carotenoids / Composition	Wild 1.38mg%	Cultured 1.16mg%
α-Cryptoxanthin	4.80	4.34
β-Cryptoxanthin	0.24	1.30
Tunaxanthin A	5.42	-
Tunaxanthin B	13.70	4.21
Tunaxanthin C	17.77	7.05
Lutein	16.44	38.21
Zeaxanthin	19.22	29.69
Astaxanthin	0.69	2.40
Triol (β-carotene type)	17.80	7.80
Unidentified carotenoids	4.71	4.40

%, zeaxanthin 29.69%로서 주성분을 이루며, 그외 β-carotene type의 triol 7.80%, tunaxanthin C 7.05%, α-cryptoxanthin 4.34%, tunaxanthin B 4.21%, astaxanthin 2.40% 그리고 β-cryptoxanthin 1.30%의 순으로 함유하여, 천연산은 양식산에 비하여 tunaxanthin 및 triol의 함량이 높은반면, lutein및 zeaxanthin의 함량이 훨씬 낮은 경향을 보여 서로 차이를 보였다.

이러한 결과를 平尾[2]가 가자미류는 대부분 anchovyxanthin이 주성분이며, 그외 lutein과 astaxanthin를 함유한다는 보고와 비교하면 다소의 차이가 있었다. 또한, Matsuno 등[6]이 전갱이에는 tunaxanthin이 주성분이며, 그외 lutein, zeaxanthin이 함유하고, 복어에는 tunaxanthin과 zeaxanthin이 주성분이며, 그외 cryptoxanthin, cynthiaxanthin, diatoxanthin, lutein, α-doradecin, α-cryptoxanthin 및 astacene이 존재한다고 한 보고와도 상당한 차이가 있었다.

방어표피 carotenoid의 동정

방어표피로부터 분리된 총 carotenoid를 prep.-TLC 한 결과, Fig. 5에서와 같이 1개의 획분으로 나타나, 방어표피의 carotenoid는 ester type으로 존재함을 알 수 있었고, 넙치의 획분 1에서와 같이 검화후 다시 prep.-TLC한 결과 3개의 획분(Fr.1, Fr. 2, 그리고 Fr. 3)으로 분리되었다.

획분 1, unidentified carotenoid ; 황색의 획분 1은 가시부흡수 spectrum의 측정결과, 흡수극대치가 419.0, 442.0, 470.0 nm로서 β-carotene type의 흡수 spectrum을 나타냈으나 양의 제약때문에 더 이상의 동정이 불가능하였다.

획분 2, unidentified carotenoid ; 황색의 획분 2는 가시부흡수 spectrum의 측정결과, 흡수극대치가 416.0, 440.0, 469.0 nm로서 ε-carotene type의 흡수 spectrum을 나타냈으나 양의 제약때문에 더 이상의 동정이 불가능하였다.

획분 3, tunaxanthin ; 황색의 획분 3은 가시부흡수 spectrum의 측정결과, 흡수극대치가 413.5, 437.5, 467.0 nm로서 tunaxanthin으로 예상되었고, Fig. 5의 TLC상의 모양으로 보아 여러가지 성분의 혼합물로 추정되어 다시 Fig. 6에서처럼 benzene : ethylacetate (65 :35)의 전개용매로서 TLC한 결과, 3개의 획분으로 분리되었으며, tunaxanthin 이성체의 혼합물로 추정하였다.

과 직접 비교하여 획분 3-1은 tunaxanthin C, 획분 3-2는 tunaxanthin B, 획분 3-3은 tunaxanthin A로 각각 동정하였다.

방어표피 carotenoid의 조성

천연산 및 양식산 방어표피의 총 carotenoid함량과

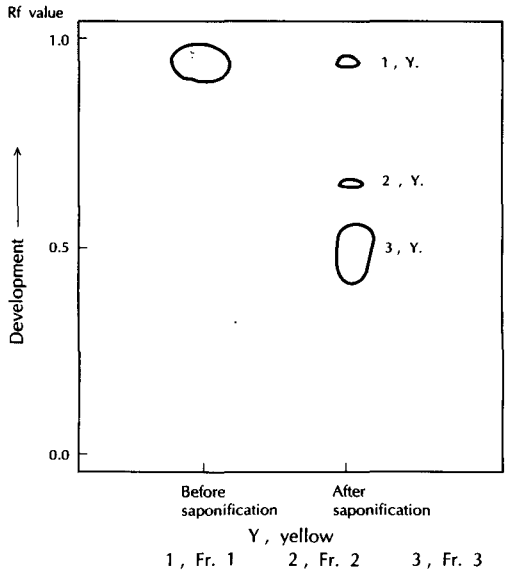

Fig. 5. Preparative thin-layer chromatogram of carotenoids in the integuments of yellowtail.
Absorbont ; Silica gel 60G
Solvent ; petroleum ehter : acetone (80 : 20)

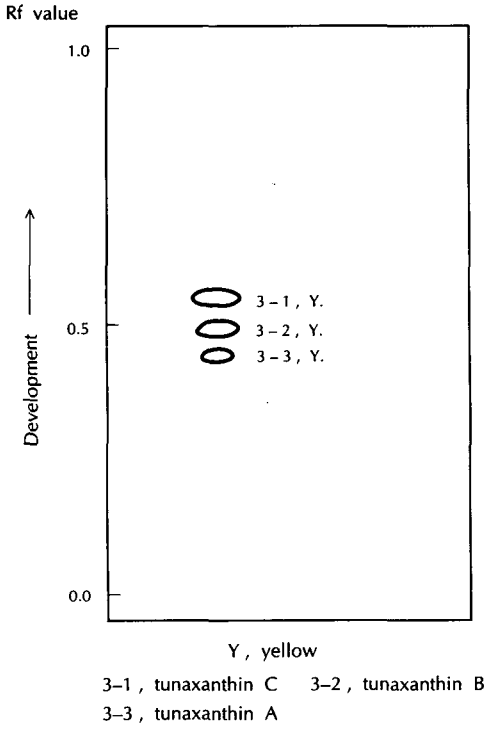

Fig. 6. Thin-layer chromatogram of isolated tunaxanthin fraction (Fr. 3) from the integuments of yellowtail.
Absorbent ; Silica gel 60G
Solvent ; benzene : ethylacetate (65 : 35)

분리, 확인된 carotenoid의 조성비는 Table 2와 같다. 방어표피의 총 carotenoid함량은 양식산 0.09mg%로서 천연산 1.08mg%보다 훨씬 낮은 함량치를 보였다. Carotenoid 조성은 천연산에서 tunaxanthin C 44.11%, tunaxanthin B 33.56% 그리고 tunaxanthin A 18.22%로 함유하며, 양식산에서는 tunaxanthin C 43.37%, tunaxanthin B 29.23% 그리고 tunaxanthin A 21.68%로 함유하여, 천연산 및 양식산에서 모두 tunaxanthin 획분이 총 carotenoid의 약 95%로 대부분을 차지하여 서로 유사하였으나, tunaxanthin A와 tunaxanthin B 의 함량에서 다소의 차이를 보였다.

Table 2. Amount and percentage composition of individual carotenoids in integumemts of wild and cultured yellowtail

(% in total carotenoid)

Total carotenoids / Composition	Wild	Cultured
	1.08mg%	0.09mg%
Tunaxanthin A	18.22	21.68
Tunaxanthin B	33.56	29.23
Tunaxanthin C	44.11	43.37
Unidentified carotenoid	4.11	5.72

이러한 결과를 平尾[2]가 방어의 주 carotenoid 성분은 tunaxanthin이라고 한 보고와 비교하여 유사하였으며, 또한 Matsuno 등[15]이 방어에서의 tunaxanthin 이성체의 함량은 tunaxanthin C, tunaxanthin B, tunaxanthin A의 순으로 높다고 한 보고와도 유사하다. 그러나, Fujita 등[16]이 krill oil을 사료에 첨가하여 양식한 방어의 carotenoid성분은 tunaxanthin이 46~56%로서 주성분이며, 그외 3'-epilutein, zeaxanthin, diatoxanthin 및 β-carotene triol의 순으로 함유되어 있다고 한 보고와는 차이가 있다.

따라서 어류의 총 carotenoid함량과 carotenoid의 구성성분은 어종 뿐만아니라 먹이와 생육조건등의 서식환경에 의해서도 상당한 차이가 있는것으로 나타났다.

요 약

천연산 및 양식산 넙치와 방어의 표피 carotenoid를 TLC, column chromatography, UV-visible spectrophotometer 및 co-TLC로 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 넙치의 총 carotenoid함량은 양식산 1.16mg%로서 천연산 1.38mg%보다 낮은 함량치를 보였고, carotenoid조성은 양식산이 lutein, zeaxanthin, tunaxanthin, triol 및 α-cryptoxanthin의 순으로 함유하였고, 천연산은 tunaxanthin, zeaxanthin, triol, lutein 및 α-cryptoxanthin의 순으로 함유하며, 천연산은 양식산에 비하여 tunaxanthin, triol의 함량이 높은 반면, lutein, zeaxanthin의 함량에서 훨씬 낮은 함량치를 보여 차이가 있었다. 방어의 총 carotenoid함량은 양식산 0.09 mg%로서 천연산 1.08mg%보다 훨씬 낮은 함량치를 보였고, carotenoid조성은 양식산, 천연산 모두 tunaxanthin의 획분이 총 carotenoid의 약 95%로 대부분을 차지하며, tunaxanthin은 tunaxanthin A, tunaxanthin B 및 tunaxanthin C의 세가지 혼합물로 확인되어 서로 유사하였으나, tunaxanthin A와 tunaxanthin B의 함량에서 다소의 차이를 보였다. 따라서 어류의 총 carotenoid 함량과 carotenoid의 구성성분은 어종뿐만아니라 먹이와 생육조건 등의 서식환경에 의해서도 상당힌 차이가 있는것으로 나타났다.

문 헌

1. 농림수산부 : 농림수산통계연보. p.277(1990)
2. 平尾秀一 : 魚類のカロチノイド色素. *Bull. Japan Soc. Sci. Fish.*, **33**, 866(1967)
3. Matsuno, T., Katsuyama, M. and Ishida, T. : Comparative biochemical studies of carotenoids in fishes-*X*. Carotenoids of Japanese perch. *Bull. Japan Soc. Sci. Fish.*, **42**, 651(1976)
4. Matsuno, T., Nagata, S., Iwasaki, N. and Katsuyama, M. : Carotenoid pigments in sweet fish. *Bull. Japan Soc. Sci. Fish.*, **40**, 73(1974)
5. Matsuno, T. and Matsutaka, H. : Carotenoids of four species of crucian carp and two varieties of goldfish. *Bull. Japan Soc. Sci. Fish.*, **47**, 85(1981)
6. Matsuno, T., Nagata, S., Sato, Y. and Watanabe, T. : Comparative biochemical studies of carotenoids of horse mackerel, swellfishes, porcupine fishes and striped mullet. *Bull. Japan Soc. Sci. Fish.*, **40**, 579 (1974)
7. 하봉석, 강동수, 김용관, 김귀식 : 서식환경요인에 따른 피조개육의 carotenoid색소와 지질성분의 변화. 한국영양식량학회지, **18**, 71(1989)
8. McBeth, J. W. : Carotenoid from nudibranchs. *Com. Biochem. Physiol.*, **41B**, 55(1972)
9. Tanaka, T. : Comparative biochemical studies on carotenoids in aquatic animals. *Mem. Fac. Fish., Kagoshima Univ.*, **27**, 355(1978)
10. Petzold, E. N. and Quackenbush, F. W. : Zeinoxanthin, a crystalline carotenol from corn gluten. *Arch. Biochem. Biophys.*, **86**, 163(1960)
11. Kuhn, R., Winterstein, A. und Lederer, E. : Zur kenntnis der xanthophylle. *Z. Physiol. Chem.*, **197**, 141 (1931)
12. 山口 勝 :「そてつ」の果實のかロチノイド色素. 九大理(化學), **2**, 31(1954)
13. Umeda, K. and Kawashima, K. : Studies on citrus carotenoids. Part 1. Systematic separation of carotenoid groups by thin layer chromatography. 日本食品工業學會誌, **18**, 147(1971)
14. Yamaguchi, K., Miki, W., Toriu, N., Kondo, Y., Murakami, M., Konosu, S., Satake, M. and Fujita, T : The composition of carotenoid pigments in the antarctic kril, *Euphausia superba*. *Bull. Japan Soc. Sci. Fish.*, **49**, 1411(1983)
15. Matsuno, T., Matsutaka, H., Katsuyama, M. and Nagata, S. : Isolation of three stereoisomers, tunaxanthin A, tunaxanthin B and tunaxanthin C from tunaxanthin fraction in the integuments of fishes. *Bull. Japan Soc. Sci. Fish.*, **46**, 333(1980)
16. Fujita, T., Satake, M., Hikichi, S., Takeda, M., Shimeno, S., Kuwabara, H., Miki, W., Yamaguchi, K. and Konosu, S. : Pigmentation of cultured yellowtail with krill oil. *Bull. Japan Soc. Sci. Fish.*, **49**, 1595(1983)

(1992년 4월 16일 접수)