

## タイ類の Carotenoids について-II.\*

マダイ *Chrysophrys major Temminck and Schlegel*.  
チダイ *Evynnis japonica Tanaka*, その他海産赤色  
魚の carotenoids と astaxanthin への代謝

片山輝久・宮原才郎・國崎陽子・  
田中淑人\*\*・今井貞彦\*\*\*

### Carotenoids in the sea bream, *Chrysophrys major* *Temminck and Schlegel* - II.\*

Carotenoids in the sea bream, *Chrysophrys major Temminck*  
and *Schlegel*, the red sea bream, *Evynnis japonica Tanaka*,  
marine red color fish, and the metabolism to astaxanthin

Teruhisa KATAYAMA, Toshiro MIYAHARA, Yoko KUNISAKI,  
Yoshito TANAKA\*\* and Sadahiko IMAI\*\*\*

#### Abstract

The carotenoids in the sea bream, *Chrysophrys major Temminck and Schlegel* and the red sea bream, *Evynnis japonica Tanaka*, have been separated by absorption chromatography, characterized by absorption spectra, co-chromatography with authentic samples and the behavior on the columns. The reactions for specific functional groups were also performed.

In the integuments of the sea bream, the existence of  $\alpha$ -carotene, lutein, zeaxanthin,  $\alpha$ -doradexanthin, 3, 3'-dihydroxy- $\epsilon$ -carotene and astaxanthin was confirmed. In the internal organs  $\beta$ -carotene, echinenone, lutein, zeaxanthin, 3, 3'-dihydroxy- $\epsilon$ -carotene and astaxanthin were found.

In the integuments of the red sea bream, the existence of  $\alpha$ -cryptoxanthin, 3, 3'-dihydroxy- $\epsilon$ -carotene, lutein (trace), zeaxanthin, 3-hydroxycanthaxanthin and astaxanthin were clarified. In the internal organs, canthaxanthin, lutein, astaxanthin and P<sub>E</sub>-518 were found.

The carotenoids in the sea bream and the red sea bream were compared, and the most conspicuous differences among them, the sea bream contains lutein besides astaxanthin in the integuments, on the contrary, the red sea bream contains the traces. It is very interesting that the bright red color of the sea bream comes from the mixture of astaxanthin (red color), lutein (yellow) and  $\alpha$ -doradexanthin (trace).

It was confirmed that the sea bream and the red sea bream could not convert  $\beta$ -carotene to astaxanthin by feeding  $\beta$ -carotene-15, 15'-<sup>3</sup>H<sub>2</sub>, but they could transfer astaxanthin in the diet to their body astaxanthin.

The carotenoids in Kinmedai, *Beryx splendens Lowe*, Amadai, *Branchiostegus japonicus*, and Akahana, *Cephalopholis aurantius*, were also extracted, isolated and the metabolic pathway from plant carotenoids to astaxanthin was proposed.

\* 前報—I. タイ類の Carotenoids について. 日本水産学会誌, 31, 947-952, 1965.

\*\* 鹿児島大学水産学部生物化学教室 (Laboratory of Biochemistry, Faculty of Fisheries, Kagoshima University).

\*\*\* 鹿児島大学水産学部水産動物学教室 (Laboratory of Zoology, Faculty of Fisheries, Kagoshima University).

When the results and those of previous studies are taken together, consistent patterns are seen. Thus aquatic animals are divided into three classes on the basis of where astaxanthin is biosynthesized as follows :

1. Prawn-Form, 2. Sea bream-Form, 3. Red carp-Form.

**Prawn-Form**—The aquatic animals, which belong to this group, can convert  $\beta$ -carotene to their body astaxanthin. Almost all crustacea which contain astaxanthin in their body belong to this group. Prawn, lobster and crab belong to this group.

**Sea bream-Form**—Can not convert  $\beta$ -carotene, lutein or zeaxanthin to astaxanthin, and can transfer astaxanthin in the diet to body astaxanthin. These animals are carnivorous, and half digested crustacea were found in their stomach. Sea bream (Madai), red sea bream (Chidai), Amadai, Kinmedai and Akahana belong to this group.

**Red carp-Form**—Can convert lutein or zeaxanthin to astaxanthin, but  $\beta$ -carotene is not the major precursor of astaxanthin. They can transfer astaxanthin in the diet to body astaxanthin. These animals contain  $\alpha$ -doradexanthin. Gold fish, red carp, fancy red carp, yellow-golden carp, and Benibuna belong to this group.

マダイの表皮と内臓の carotenoids は acetone にて抽出し石油 エーテルに転溶した。column chromatography により純化して、表皮に  $\alpha$ -carotene, 3, 3'-dihydroxy- $\epsilon$ -carotene, lutein, zeaxanthin,  $\alpha$ -doradexanthin ester<sup>1)</sup> (trace), astaxanthin の存在を確認した。内臓の carotenoids として  $\beta$ -carotene, zeaxanthin, lutein, astaxanthin の存在を明かにして報告した<sup>2), 3)</sup>。また天然マダイと養殖マダイの astaxanthin 含量を比較すると、養殖マダイの褪色したものは astaxanthin の含量が著るしくて少いことを明かにした<sup>2)</sup>。またマダイに  $\beta$ -carotene-15, 15'-<sup>3</sup>H<sub>2</sub> を大豆油に溶解して混入した改変人工餌料を3週間投与しても  $\beta$ -carotene は astaxanthin に代謝されないことを明かにした<sup>4)</sup>。然し astaxanthin-15, 15'-<sup>3</sup>H<sub>2</sub> を投与するとマダイの表皮の astaxanthin は label されることを明かにして報告した<sup>4)</sup>。このことは餌料に astaxanthin を含むものを与えると体色を改善することを明かにした。

チダイの表皮と内臓の carotenoids を別々に抽出して、column chromatography により純化し、内臓の carotenoids として canthaxanthin, lutein, astaxanthin, P<sub>E</sub> 518 の存在を確認し、表皮の carotenoids として  $\alpha$ -cryptoxanthin, 3, 3'-dihydroxy- $\epsilon$ -carotene, lutein (trace), zeaxanthin, 3-hydroxy-canthaxanthin (phoenicoxanthin)<sup>5)</sup>, astaxanthin の存在を確認して報告した<sup>6)</sup>。更にチダイに  $\beta$ -carotene-15, 15'-<sup>3</sup>H<sub>2</sub> を投与しても、マダイ同様に  $\beta$ -carotene を astaxanthin に代謝しないことを明かにした。更に astaxanthin-15, 15'-<sup>3</sup>H<sub>2</sub> を投与すると、チダイの表皮の astaxanthin は label されることより、チダイはマダイ同様に、餌料中の astaxanthin を表皮の astaxanthin に転移することを明かにして報告した<sup>6)</sup>。以上のことより、マダイ、チダイはクルマエビ<sup>7)</sup>、イセエビ<sup>8), 9)</sup>、ガザミ<sup>10), 11)</sup> 等の甲殻類と異り  $\beta$ -carotene を astaxanthin に代謝することが出来ないが、餌料中の astaxanthin を体内の astaxanthin に転移することが出来ることを明かにして報告した<sup>6), 7), 8), 10)</sup>。本報告はマダイ、チダイの色調特に養殖マダイ、養殖チダイの色上げと言う観点より、これまで得ている知見を基に報告すると共に、キンメダイ、アマダイ、アカハナ等の赤色魚の内臓、表皮の carotenoids を分離精製し、これら carotenoids 生化学的相関々係を明かにして、植物 carotenoids の astaxanthin への代謝過程をも推定したので報告する。

## 実験材料と実験方法

I. マダいの carotenoids の分離同定と餌料中の astaxanthin のマダイ表皮中の astaxanthin への転移：A. マダいの carotenoids の分離同定：新鮮な天然マダイを魚市場より購入した（体長約 30 cm）。内臓、表皮を集め別々に acetone にて抽出して、石油エーテルに転溶し、脱水後減圧下で濃縮した。得られた carotenoids は先づ Microcel-C column chromatography により分割し、各区分は別々に常法により鹼化し<sup>1)</sup>、alumina column, magnesium oxide column, Microcel-C column, sugar column により精製して、それぞれ純粋の carotenoids と co-chromatography, column 上の動き、吸収スペクトルの波長、及び特有の radical 反応等により、内臓の carotenoids として  $\beta$ -carotene, echinenone, 3,3'-dihydroxy- $\epsilon$ -carotene, lutein, zeaxanthin, astaxanthin を、表皮の carotenoids として、 $\alpha$ -carotene, 3,3' dihydroxy- $\epsilon$ -carotene, lutein, zeaxanthin,  $\alpha$ -doradexanthin<sup>1)</sup> (trace), astaxanthin の存在を明かにし、マダイの黄金色々素は astaxanthin の赤色々素と lutein の黄褐色々素が主成分であることを明かにした<sup>3), 12)</sup>。

B. マダイに於ける餌料中の  $\beta$ -carotene-15,15'-<sup>3</sup>H<sub>2</sub> の astaxanthin への代謝と餌料中の astaxanthin 15,15'-<sup>3</sup>H<sub>2</sub> のマダイ体表の astaxanthin への転移： $\beta$ -carotene-15,15'-<sup>3</sup>H<sub>2</sub> (specific activity : 16 $\mu$  Ci/mg) 1 mg を大豆油に溶解し（大豆油：20 g）て改変人工餌料に混入し、約 15 cm のマダイ 1 尾につき約 4 g 宛約 3 週間毎日投与して、マダイの表皮の astaxanthin <sup>3</sup>H<sub>2</sub> activity を液体シンチレーションカウンターにて測定すると<sup>13)</sup>、マダイに於ては、 $\beta$ -carotene は astaxanthin には転換しないことを明かにした<sup>4)</sup>。次にクルマエビに  $\beta$ -carotene-15,15'-<sup>3</sup>H<sub>2</sub> を投与するとクルマエビの astaxanthin は label されることを明かにして既に報告した<sup>11)</sup>。この様にしてクルマエビに  $\beta$ -carotene-15,15'-<sup>3</sup>H<sub>2</sub> を投与してクルマエビの astaxanthin が label せられていることを確認した後、このクルマエビを体長約 14 cm のマダイ一尾につきクルマエビ 2 尾宛 3 週間投与して、マダイの体表の astaxanthin を単離、精製し脱水後液体シンチレーションカウンターにて <sup>3</sup>H activity を測定し<sup>13)</sup>、マダイ体表の astaxanthin は label されていることを明かにした<sup>4)</sup>。以上のことよりマダイは餌料中の  $\beta$ -carotene を astaxanthin に代謝するとは出来ないが、餌料中の astaxanthin をマダイ体表の astaxanthin に転移することが出来ることを明かにした。

II. チダいの carotenoids の分離同定と餌料中の astaxanthin のチダイ体表の astaxanthin への転移：A. チダいの carotenoids の分離同定：新鮮なチダイ（体長約 22 cm）を魚市場より購入して、体表、内臓の carotenoids を別々に acetone にて抽出し、石油エーテルに転溶後微量の acetone を除去するため蒸留水にて数回洗滌し、脱水後減圧下にて濃縮した。かくして得られた carotenoids は Microcel-C を充填剤として column chromatography により分割して各区分は別々に鹼化して alumina, magnesium oxide, Microcel-C, sugar を充填剤として column chromatography により純化し、純化した carotenoids は吸収スペクトルによる最大吸収波長、column 上の動き、反応基の反応及び純粋の標準 carotenoids と co-chromatography により、内臓の carotenoids として, canthaxanthin, lutein, astaxanthin と未知 carotenoid, P<sub>E</sub> 518 の存在を確認した。チダいの表皮の carotenoids として  $\alpha$ -cryptoxanthin, 3,3'-dihydroxy- $\epsilon$ -carotene, lutein, zeaxanthin, 3-hydroxy-canthaxanthin (phoenicoxanthin)<sup>14)</sup>, astaxanthin の存在を明かにした<sup>10)</sup>。

B. チダイに於ける餌料中の  $\beta$ -carotene-15,15'-<sup>3</sup>H<sub>2</sub> の astaxanthin への代謝と餌料中の astaxanthin 15,15'-<sup>3</sup>H<sub>2</sub> のチダイ体内の astaxanthin への転移：体長約 15 cm のチダイを養魚場より購

入した。β-carotene-15, 15'-<sup>3</sup>H<sub>2</sub> (specific activity : 16μCi/mg) 1mg を 200g の改変標準餌料<sup>4), 7)</sup> に混入して約3週間毎日1尾につき約4g 投与した後体表の astaxanthin を抽出純化して <sup>3</sup>H activity を液体シンチレーションカウンターを用いて測定した結果、餌料中の β-carotene はマダイに於けると同様チダイに於ても astaxanthin には代謝されないことを明かにした<sup>6)</sup>。更にマダイの場合と同様、クルマエビに β-carotene-15, 15'-<sup>3</sup>H<sub>2</sub> を投与してクルマエビの astaxanthin が label されていることを確認後、このクルマエビを毎日チダイ1尾につき3尾宛、約3週間投与した後チダイ表皮の astaxanthin を抽出、純化後液体シンチレーションカウンターにて <sup>3</sup>H activity を測定し、チダイ表皮の astaxanthin は label せられていることを明かにした。以上の結果よりチダイではマダイ同様餌料中の β-carotene は astaxanthin に代謝しないが、餌料中の astaxanthin はチダイ体内の astaxanthin に転移することを明かにした。

**III. キンメダイの carotenoids の分離同定：**新鮮なキンメダイ (体長約 35cm) を魚市場より購入した。表皮と内臓の carotenoids は別々に acetone にて抽出し、石油エーテルに転溶後蒸溜水にて水洗、脱水後減圧下で濃縮した。

**A. 内臓の carotenoids より astaxanthin の同定：**内臓の carotenoids は Microcel-C を充填剤とする column chromatography により唯一の band を得た。常法により<sup>1)</sup> 鹼化後 Microcel-C column, sugar column により精製し最大吸収波長 (474mμ, 石油エーテル中), column 上の動き、還元生成物の最大吸収波長 ( $\lambda_{max}$  427, 451, 478mμ) 並びに lobster より得た純 astacin<sup>9)</sup> と sugar column 上で co-chromatography により単一 band を得たので、astacin の存在を確認した。

**B. キンメダイの表皮より 3,3'-dihydroxy-ε-carotene, astaxanthin の同定：**表皮より抽出した carotenoids の石油エーテル溶液は Microcel-C により分割し yellow の Band-I と red の Band-II に分けた。Band I の色素は常法により鹼化し<sup>1)</sup>、可視部最大吸収波長 (415, 438, 468mμ), column 上の動き、及びマダイより得た純 3,3'-dihydroxy-ε-carotene と Microcel-C column の co-chromatography により単一 band を得たので、3,3'-dihydroxy-ε-carotene の存在を確認した。Band-II の色素は鹼化後 Microcel-C column, sugar column により純化すると、その可視部最大吸収スペクトル ( $\lambda_{max}$  474mμ), 還元後の可視部吸収スペクトル ( $\lambda_{max}$  427, 451, 476mμ) を測定し astacin であることを明かにした。

## 論 議 と 結 果

水産動物に於ける carotenoids の代謝については、古くより報告がある。即ち NICOLA<sup>15), 16)</sup> がヒトデを用いて carotenoids を抽出しその代謝は β-carotene → cryptoxanthin → 3-hydroxy-4'-keto-β-carotene → 3,3'-dihydroxy-4-keto-β-carotene → astaxanthin であろうと推定して報告している。THOMMEN<sup>17)</sup> は Daphnia に於ては β-carotene → echinenone → canthaxanthin と代謝するであろうと推定している。NICOARA<sup>18)</sup> らは甲殻類 *Arctodiatomus silinus* (Dady) より新 carotenoids である crustaxanthin を単離して構造を決定して、β-carotene, hydroxy-echinenone, astaxanthin, crustaxanthin の間に生化学的相関々係のあることを推定している。CHICHESTER ら<sup>19)</sup> は Brine shrimp に初めて <sup>14</sup>C-β-carotene を投与して β-carotene から canthaxanthin への代謝は次の如くであることを明かにした。

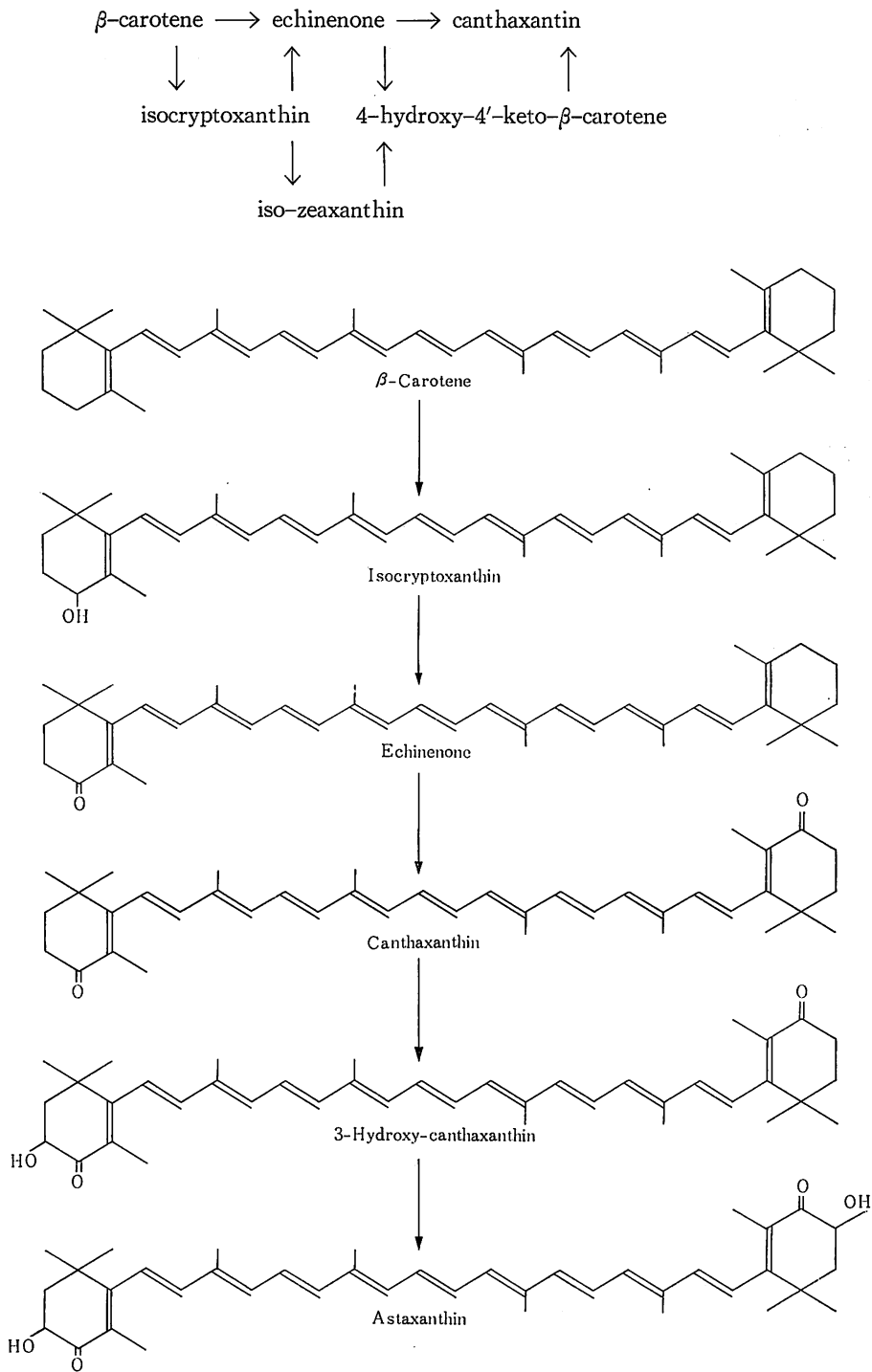


Fig. 1. The metabolic pathway from  $\beta$ -carotene to astaxanthin in Prawn-Form.

また最近 GILCHRIST ら<sup>20)</sup> は、藻類 *Ulva* の carotenoids を  $^{14}\text{C}$  で label して、カニ *Emerita analoga* (sand crab) に与えると keto-carotenoid に代謝することをみている。

一方魚類では WALKIE<sup>21)</sup> は赤色海産魚のカルホルニア産のタイに以た食用魚 *Pimelometopon pulchrum* を用い、表皮の astaxanthin ester の含量は 3,3'-dihydroxy- $\epsilon$ -carotene ester の含量に反比例し、astaxanthin ester の前駆物質は 3,3'-dihydroxy- $\epsilon$ -carotene であろうと推定している。

一方著者らは  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$  で label した carotenoids を水産動物に投与して得られた結果を整理して、水産動物を“Astaxanthin への生合成”と言ふ観点より分類すると次の如くである<sup>10)</sup>。

**I. クルマエビ型：** 内臓(主として肝臓)内で  $\beta$ -carotene を astaxanthin に次の如く代謝するものである (Fig. 1)。

クルマエビ<sup>7), 14)</sup>, イセエビ<sup>8)</sup>, ガザミ<sup>10), 11)</sup>, ウミウチワ<sup>22)</sup>, シヤコ<sup>22)</sup>, アミ<sup>22)</sup> はこの型に属す。

**II. タイ型：** 餌料中の  $\beta$ -carotene, lutein, zeaxanthin を astaxanthin に代謝することは出来ない<sup>4), 6)</sup> が、餌料中の astaxanthin を体表の astaxanthin に転移することが出来る (Fig. 2)。マダイ<sup>4)</sup>, チダイ<sup>6)</sup>, アマダイ, アカハナ, キンメダイ等の海産赤色魚はこの型に属す。

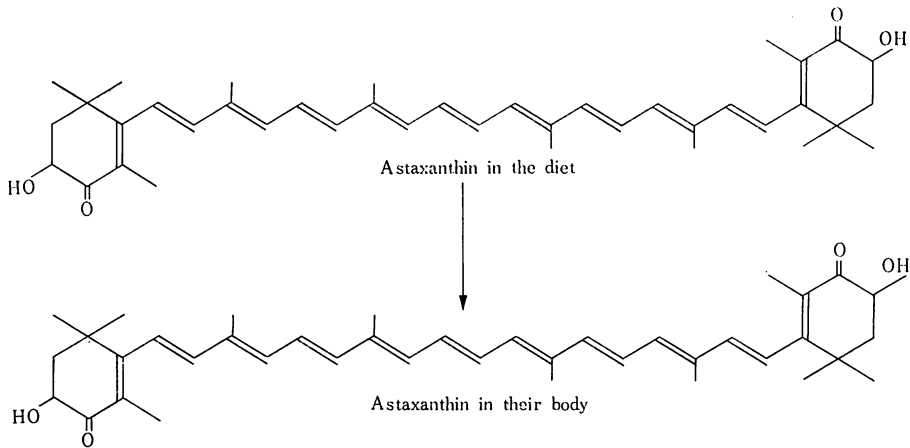


Fig. 2. The transformation of the astaxanthin from the diet to their body astaxanthin in Sea bream-Form.

**III. ヒゴイ型：** lutein を Fig. 3 の如く、 $\alpha$ -doradexanthin ester<sup>1)</sup> を経て astaxanthin ester に代謝する。この代謝過程は著者が初めて推定し<sup>1)</sup>, CHICHESTER ら<sup>23)</sup> が  $^{14}\text{C}$ -lutein を投与して確認し、著者ら<sup>24)</sup> も明かにした。この型に属する水産動物は  $\beta$ -carotene を astaxanthin に代謝することは出来ない<sup>25)</sup>。然しタイ型と同様に餌料中の astaxanthin を魚体の astaxanthin に転移することが出来る<sup>25)</sup>。ヒゴイ<sup>25)</sup>, キンギョ<sup>1), 23)</sup>, ニシキゴイ<sup>26), 27)</sup> 等はこの型に属す。秦ら<sup>28)</sup> は zeaxanthin が astaxanthin の前駆物質であると報告している。

マダイ, チダイその他の海産赤色魚の内臓に於ける carotenoids の組成並びに含量は摂取する餌料中の carotenoids の組成, 含量により変動がみられる。従ってこれら天然のマダイ, チダイその他の海産赤色魚類の内臓の carotenoids は、生棲場所, 捕獲時期により異なる。天然マダイの表皮の carotenoids として astaxanthin, 3,3'-dihydroxy- $\epsilon$ -carotene<sup>26)</sup> (tunaxanthin<sup>29)</sup>) の他多量の lutein を

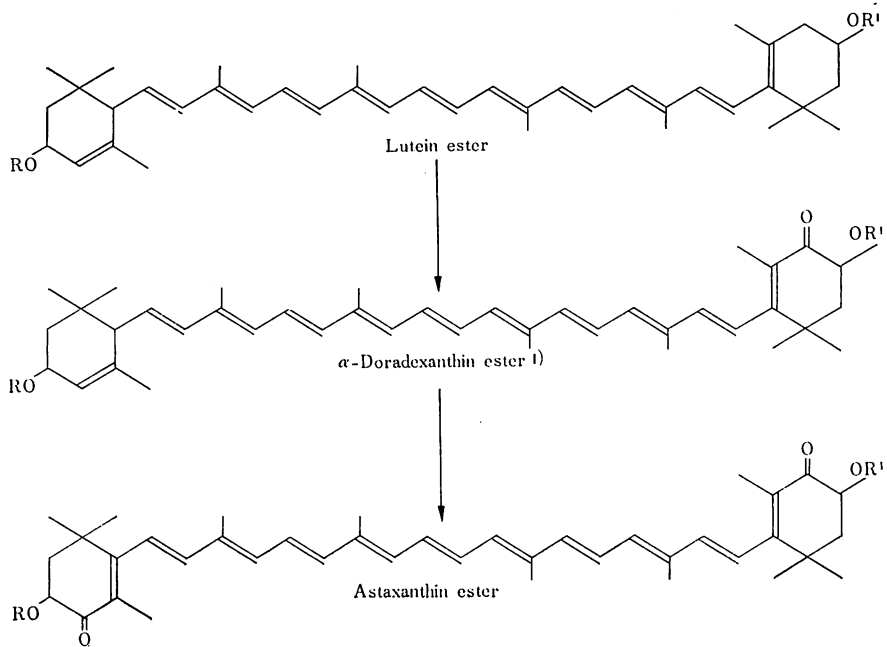


Fig. 3. The metabolic pathway from lutein ester to astaxanthin ester in Red carp - Form.

含み黄金色を呈しているが、天然のチダイその他の海産赤色魚の表皮の carotenoids には lutein は存在しないで、astaxanthin の含量もマダイ表皮の astaxanthin 量より多く (Table. 1), 色も黄金色を呈さず、赤色を呈している。従ってマダイ餌料に astaxanthin を含むアミの如きものを混入して投与すると共に、lutein を含む陸上の緑葉植物、或いは藻類 (主として緑藻) を添加することが必要であると思われる。このことはキングイ<sup>1)</sup>, ヒゴイ<sup>25)</sup>, ニシキゴイ<sup>26), 27)</sup>, ベニブナ<sup>30)</sup> の様に黄金色をしている魚類に於ても lutein は極めて重要な役割をしている。

天然マダイの表皮の carotenoids の組成と、天然チダイその他海産赤色魚の表皮の carotenoids の組成の相異は、種の特徴によるものであろう。

**Table 1.** Spectral characteristics and relative abundances of the carotenoids of the internal organs and the integuments in sea bream (Madai), red sea bream (Chidai), Kimmudai, Amadai, and Akahana.

Pigments	Spectral characteristics			Relative abundances (%)				
	$\lambda$ max (m $\mu$ ) in Petroleum ether	$\lambda$ max (m $\mu$ ) after reduction	$\lambda$ max (m $\mu$ ) in Chloroform	Sea bream	Red sea bream	Kimmudai	Amadai	Akahana
$\alpha$ -Carotene	422, 444, 473	—	—, 455, 484	4	—	—	—	—
$\alpha$ -Cryptoxanthin	415, 444, 473	—	428, 453, 481	—	1	—	—	—
3, 3'-Dihydroxy- $\epsilon$ -carotene	414, 438, 468	—	424, 449, 479	20	7	37	9	4
Lutein	422, 446, 476	—	430, 458, 487	10	trace	—	—	—
Zeaxanthin	425, 451, 481	—	432, 462, 492	5	1	—	0.5	—
$\alpha$ -Doradecin	454, 471	424, 446, 476	—	trace	—	—	—	—
3-Keto-canthaxanthin	468	426, 451, 479	—	—	2	—	—	—
Astacin	474	427, 450, 476	—	60	88	62	90	95
<b>Internal organs</b>								
$\beta$ -Carotene	—, 451, 477	—	—, 462, 485	10	—	—	trace	—
Echinonone	456	428, 451, 479	—	20	—	—	—	—
Canthaxanthin	468	427, 451, 478	—	—	8	—	—	—
3, 3'-Dihydroxy- $\epsilon$ -carotene	415, 438, 468	—	424, 449, 479	10	—	—	—	—
Lutein	423, 448, 475	—	423, 459, 487	5	2	—	—	—
Zeaxanthin	427, 451, 480	—	433, 462, 492	4	—	—	2	—
Astacin	474	426, 451, 472	—	50	50	100	98	99
Pe-518	487, 518, 550	—, 461, 490	—	—	40	—	—	—



## 文 献

- 1) KATAYAMA T., YOKOYAMA H., and CHICHESTER C. O. (1970) : The Biosynthesis of Astaxanthin—I. The structure of  $\alpha$ -doradexanthin and  $\beta$ -doradexanthin. *Int. J. Biochem.* **1**, 438-444.
- 2) 片山輝久, 池田伸義, 原田喜代子. (1965) : マダイ, *Chrysophrys major Temminck* and *Schlegel* の Carotenoids について—I. 日水誌. **31**, 947-952 (和文).
- 3) KATAYAMA T., SHINTANI K., and CHICHESTER C. O. (1972) : The Biosynthesis of Astaxanthin—VII. The carotenoids in sea bream, *Chrysophrys major Temminck* and *Schlegel*. *Comp. Biochem. Physiol.* **44B**, 253-257.
- 4) 片山輝久, 新谷寛治, 島谷周, 今井真彦, CHICHESTER C. O. (1972) : The Biosynthesis of Astaxanthin—IX. The transformation of labelled astaxanthin from the diet of sea bream, *Chrysophrys major Temminck* and *Schlegel*, to their body astaxanthin. 日水誌. **38**, 1399-1403 (英文).
- 5) FOX D. L., and HOPKINS T. S. (1966) : Comparative metabolic fractionation of carotenoids in three flamingo species. *Comp. Biochem. Physiol.* **17**, 841-856.
- 6) 片山輝久, 宮原才郎, 島谷周, SIMPSON K. L., CHICHESTER C. O. (1973) : The Biosynthesis of Astaxanthin—XV. The carotenoids in the Chidai, red sea bream, *Evmymis japonica Tanaka* and the transformation of labelled astaxanthin from the diet to their body astaxanthin. 日水誌. 印刷中 (英文).
- 7) 片山輝久, 釜田忠, 島谷周, 弟子丸修, CHICHESTER C. O. (1972) : The Biosynthesis of Astaxanthin—VIII. The conversion of labelled  $\beta$ -carotene-15, 15'- $^3\text{H}_2$  into astaxanthin in prawn, *Penaeus japonicus Bate*. 同誌. **38**, 1171-1175 (英文).
- 8) KATAYAMA T., SHIMAYA M., SAMESHIMA M., and CHICHESTER C. O. (1973) : The conversion of labelled  $\beta$ -carotene-15, 15'- $^3\text{H}_2$  into their body astaxanthin in the lobster, *Panulirus japonicus*. *Int. J. Biochem.* **4**, 223-226.
- 9) 片山輝久, 島谷周, 鮫島宗雄, CHICHESTER C. O. (1973) : The Biosynthesis of Astaxanthin—XI. The carotenoids in the lobster, *Panulirus japonicus*. 日水誌. **39**, 215-220 (英文).
- 10) KATAYAMA T., KUNISAKI Y., SHIMAYA M., SIMPSON K. L., and Chichester C. O. (1973) : The Biosynthesis of Astaxanthin—XIV. The conversion of labelled  $\beta$ -carotene-15, 15'- $^3\text{H}_2$  into astaxanthin in the crab, *Portunus trituberculatus*. *Comp. Biochem. Physiol.* **46B**, 269-272.
- 11) 片山輝久, 国崎陽子, 島谷周, 鮫島宗雄, CHICHESTER C. O. (1973) : The Biosynthesis of Astaxanthin—XIII. The carotenoids in the crab, *Portunus trituberculatus*. 日水誌, **39**, 283-287 (英文).
- 12) 片山輝久, (1969) : Mechanism of the interconversion of plant carotenoids into fish carotenoids—I. carotenoids in sea bream. *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.* **18**, 79-86 (英文).
- 13) KATAYAMA T., NAKAYAMA T. O. M., LEE., T. H., and CHICHESTER C. O. (1971) : Carotenoids transformations in ripening apricots and peaches. *J. Food Sci.* **36**, 804-806.
- 14) KATAYAMA T., KAMATA T., and CHICHESTER C. O. (1972) : The Biosynthesis of Astaxanthin—VI. The carotenoids in the prawn, *Penaeus japonicus Bate*. *Int. J. Biochem.* **3**, 363-368.
- 15) NICOLA M. D., and GOODWIN T. W. (1954) : Carotenoids in the developing eggs of the sea urchin, *Paracentrous lividus*. *Experimental Cell Research.* **7**, 23-31.
- 16) NICOLA M. D. (1956) : Astaxanthin in Asteroid echinoderms, *Asterina panceri*: *Experimental Cell Research.* **10**, 441-446.
- 17) THOMMEN Hans. (1964) : Zum Vorkommen von Keto-Carotinoiden in Crustaceen: *Naturwissenschaften:* **4**, 87-88.
- 18) BODEA C., NICOARA E., ILLYES G., and SERBAN M. (1965) : The carotenoids of *Arctodiaptomus salinus*. *Rev. Roum. Biochim.* **2**, 205-211.
- 19) WAN-JEAN Hsu and CHICHESTER C. O. (1970) : The metabolism of  $\beta$ -carotene and other carotenoids in the brine shrimp, *Artemia salina* L. *Comp. Biochem. Physiol.* **32**, 69-79.
- 20) GILCHRIST B. M. and LEE W. L. (1972) : Carotenoid pigments and their possible role in reproduction in the sand crab, *Emerita unaloga*. *Comp. Biochem. Physiol.* **42B**, 263-294.
- 21) CROZIER G. F. (1969) : Effects of Controlled diet on the morphological Color change of a marine Teleost. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **4**, 1-8,

- 22) KATAYAMA T., KUNISAKI Y., SAMESHIMA M., SIMPSON K. L., and CHICHESTER C. O. (1973) : The Biosynthesis of Astaxanthin—XVI. 日水誌, 投稿中 (英文).
- 23) WAN-JEAN HSU, RODRIGUEZ D. B., and CHICHESTER C. O. (1972) : The Biosynthesis of Astaxanthin—VI. The conversion of  $^{14}\text{C}$ -lutein and  $^{14}\text{C}$ - $\beta$ -carotene in gold fish. *Int. J. Biochem.* **3**, 333-338.
- 24) 片山輝久, 島谷周, 鮫島宗雄, CHICHESTER C. O. (1973) : The Biosynthesis of Astaxanthin—XVI. The conversion of  $^{14}\text{C}$ -lutein and zeaxanthin to astaxanthin in the gold fish and the red carp. 日本水産学会年会 昭和48年4月2日東京に於て発表した.
- 25) KATAYAMA T., MIYAHARA T., SHIMAYA M., and CHICHESTER C. O. (1972) : The Biosynthesis of Astaxanthin—X. The carotenoids in the red carp, *Cyprinus carpio* Linne and the interconversion of  $\beta$ -carotene-15, 15'- $^3\text{H}_2$  into their body astaxanthin. *Int. J. Biochem.* **3**, 569-572.
- 26) KATAYAMA T., TSUCHIYA H., and CHICHESTER C. O. (1971) : Mechanism of the interconversion of plant carotenoids into fish carotenoids. *Proc. 7th Int. Seaweed Symp.* 580-583.
- 27) KATAYAMA T., TSUCHIYA H., and CHICHESTER C. O. (1971) : The Biosynthesis of Astaxanthin—V. Interconversion of the algal carotenoids, *Stigeoclonium* sp. into fish carotenoids, fancy red carp. *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.* **20**, 173-184 (英文).
- 28) HATA M., and HATA M. (1972) : Carotenoid pigments in gold fish—IV. Carotenoid metabolism. 日水誌, **38**, 331-338 (英文).
- 29) 平尾秀一, 山田光阿弥, 菊地嶺 (1957) : 魚類色素に関する研究 淡水魚, 海産魚にみられる黄色カロチノドの分布の差異について. 東海区水研報告. **16**, 53-58.
- 30) KATAYAMA T., YOKOYAMA H., and CHICHESTER C. O. (1970) : The Biosynthesis of Astaxanthin—II. The carotenoids in Benibuna, *Carassius auratus*, especially the existence of new keto carotenoids,  $\alpha$ -doradecin and  $\alpha$ -doradexanthin. 日水誌. **36**, 702-708 (英文).

附 記 : 本論文を投稿後アメリカザリガニの甲殻に含有するカロチノイド色素を添加した飼料をマダイに投与すると, マダイの体色を改善し得ると言う報文が出た.

鹿山光・中川平介・山田久・村上豊 : 養殖マダイの体色改善に関する研究—1. 広島大水産紀要, **12**, 49—59, 1973 (和文).

然し著者らは甲殻類の astaxanthin を  $^3\text{H}$  で label してマダイに投与すると, マダイの体表の astaxanthin は label されることを確認し, 甲殻類を投与するとマダイの体色を改善し得ることを明かにして既に報告している.

T. KATAYAMA, K. SHINTANI, M. SHIMAYA, S. IMAI, and C. O. CHICHESTER : The Biosynthesis of Astaxanthin—IX. The transformation of labelled astaxanthin from the diet of sea bream, *Crysopteryx major* Temminck and Schlegel, to their body astaxanthin, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **38**, 1399—1403, 1972 (英文).