

合成アスタキサンチンによるマダイの体色改善試験*

木 村 創

養殖マダイの体色改善には、現在小型のエビ類、アミエビ類、オキアミおよび市販の色揚げ用配合飼料が用いられている。このうち市販の色揚げ用配合飼料は生物から抽出したアスタキサンチンを利用しているものが多く、コスト的に問題がある。そこで当场では日本ロシュ株式会社から依頼を受けて、人工的に合成した低価格のアスタキサンチンを添加した配合飼料投与による養殖マダイの飼育試験を行い、色揚げに対する有効性ならびに適正投与量を検討した。

なお、本試験にあたり配合飼料の調整や飼料等の分析に際し、多大なるご協力を頂いた丸紅飼料株式会社技術センターの諸氏に感謝する。

材料および方法

供試魚：1983年に種苗生産され、その後ほとんどドライペレットにより飼育された平均体重800gの養殖マダイを使用した。

供試飼料の配合組成：

表1 飼料の配合組成

供試飼料の配合組成は表1に示すとおりであり、形状は粒径6mm、粒高6～7mmのドライペレットを使用した。ビタミン組成は表2に示すとおりであり、この組成は高知水試¹⁾がハマチに用いたものと同じである。配合飼料の一般成分については表3に示す。この配合飼料と、飼料1kg当り外割りで合成アスタキサンチン40mg添加したものの、飼料1kg当り400

成 分	組成 (%)
沿 岸 ミ ー ル	64.5
活 性 小 麦 ゲ ル テ ン	3
ト ル ラ 酵 母	3
小 麦 粉	22.95
α 一 澱 粉	1
ビ タ ミ ン 混 合 物	3
無 機 塩 混 合 物 * 1	2
微 量 元 素 混 合 物 * 2	0.5
エ ト キ シ キ ン	0.05
計	100

- ※1 KH_2PO_4 206 g/kg, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 309 g/kg, 乳酸カルシウム141 g/kg, クエン酸第二鉄116 g/kg, セルロース228 g/kg,
 ※2 $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 22.2 g/kg, MnSO_4 12.5 g/kg, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 4.0 g/kg, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.1 g/kg, KIO_3 0.3 g/kg, セルロース60.9 g/kg, デキストリン900 g/kg,

* マダイに対する体色改善費による。

mgを添加したものの3種類の配合飼料を作成した(表4)。これらのドライペレットには給餌直前に外割りで10%のフィードオイルを添加した。

測定項目ならびに方法：1ヶ月ごとに各区すべてのマダイを取り上げ、体重・尾叉長を測定し、肥満度を求めた。

血液性状については測定ごとに各区から5~6尾ずつを取り上げ、それぞれキューヴィエ氏管からヘパリンをコーティングした注射筒を用いて採血した。検査項目はヘマトクリット値(マイクロヘマトクリット法)、ヘモグロビン量(シアンメトヘモグロビン法)、赤血球数(中外製薬株式会社製ヘムメーターを使用)、血漿タンパク量(タンパク屈折計を使用)とした。なお、8月21日の調査については全数の中より任意に10尾を取り上げて検査を行い、これを各区の最初の検査結果とした。

各区魚体の体色は当场職員5~6名によって肉眼で外見の色調を比較した。

アスタキサンチンの含有量は、測定時ごとに各区から5尾ずつを取り上げ、各個体ごとに表皮と鱗について試料を採取し、畜産生物科学安全研究所に分析を依頼した。

試験期間：飼育試験は'86年8月21日から11月21日まで行ない、最終回の血液性状検査とアスタキサンチン含有量測定用のサンプリングは11月25日に実施した。

表2 ビタミン混合物の組成

成 分	mg/kg 飼料
チ ア ミ ン 硝 酸 塩	3.6
リ ボ フ ラ ミ ン	6.6
ピ リ ド キ シ ン 塩 酸 塩	3.6
ニ コ チ ン 酸	10.8
パ ン ト テ ン 酸 カ ル シ ウ ム	10.8
イ ノ シ ト ー ル	129.0
ビ オ チ ン	0.21
葉 酸	3.588
塩 化 コ リ ン	876.0
ア ス コ ル ビ ン 酸 カ ル シ ウ ム	267.0
シ ア ノ コ バ ラ ミ ン	0.048
酢 酸 -dl- α ト コ フ ェ ロ ー ル	88.0
メ ナ ジ オ ン 亜 硫 酸 水 素 ナ ト リ ウ ム	7.7
ビ タ ミ ン A D 7 5 0	1.2
ビ タ ミ ン A	1.5
計	1409.6

表3 配合飼料の一般成分

成 分	組 成 (%)
水 分	12.32
粗 タ ン パ ク 質	49.51
粗 脂 肪	7.16
粗 灰 分	10.63

表4 試験区の設定条件

項 目	1 区	2 区	3 区
開 始 時 の 尾 数 (尾)	101	103	105
開 始 時 の 平 均 体 重 (g)	845.0	904.7	666.0
アスタキサンチン添加量 (mg)*	0	40	400

*：飼料1kg当り添加量

結 果

環境：試験期間中の水温変化ならびに過去15年間の平均水温を図1に示す。本年の水温は平年と比

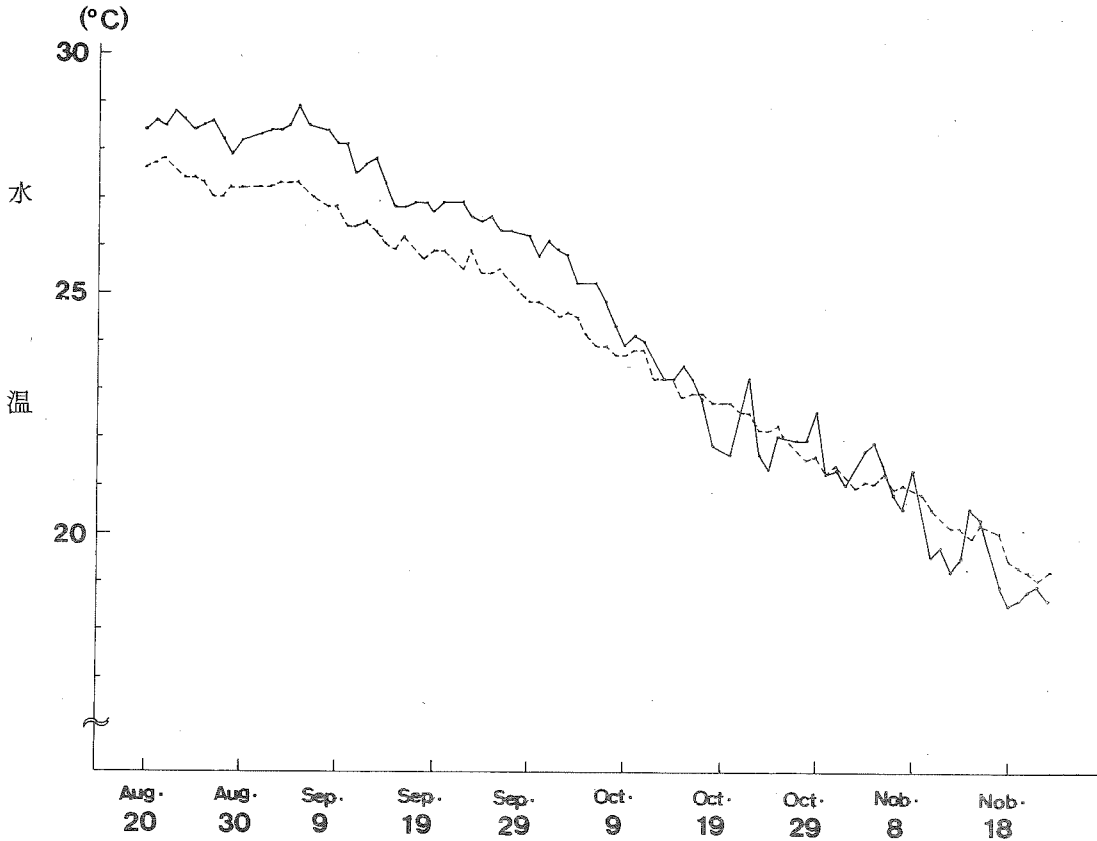


図1 飼育海面の水温変化 (水深3 m)

—— 昭和61年
 - - - - 平年

較すると、10月下旬までは1.0~1.5℃高めに推移しているが、それ以降は平年並みか、もしくは低めに移行している。また、この期間中赤潮や水潮、魚病による被害は認められなかった。

飼育試験結果：各月ごとの測定結果は表5に、飼育結果は表6に、平均体重の変化は図2に示す。

8月21日における各区の平均体重はアスタキサンチン無投与の対照区（以下1区）で845.0g、40mg/kg添加区（以下2区）で904.7g、400mg/kg添加区（以下3区）で666.0gであった。その後成長し、飼育試験終了時の11月21日の平均体重は1区995.1g、2区1088.6g、3区785.6gとなった。

日間増重量は、8月から9月まで1区で0.09、2区0.10、3区0.13であったが、その後、9月から10月にかけては1区0.27、2区0.26、3区0.17となり、10月から11月にかけては1区0.19、2区0.27、3区0.24となった。各区の摂餌状況は観察した限りでは、3区が最も良く、2区、1区の順であった。全期間を通してみると、アスタキサンチン40mg/kg添加した2区の日間増重量が最もよく0.20となり、摂餌が良好であった3区は1区と同じ0.18となった。

表5 魚体測定結果

区	測定月日	測定尾数(尾)	平均尾叉長(cm)	平均体重(g)	平均肥満度
1	8.21	101	33.4	845.0	22.13
	9.22	99	33.8	870.1	22.02
	10.21	88	34.6	940.1	22.22
	11.21	76	35.2	995.1	22.36
2	8.21	103	34.1	904.7	22.44
	9.22	102	34.5	932.9	22.29
	10.21	91	35.3	1005.3	22.32
	11.21	79	36.2	1088.6	22.46
3	8.21	105	30.6	666.0	22.98
	9.22	103	31.2	694.9	22.59
	10.21	92	31.6	730.7	22.95
	11.21	80	32.3	785.6	22.90

表6 各区の飼育結果

項 目	1 区				2 区				3 区			
	8/22 ~9/22	9/23 ~10/21	10/22 ~11/20	8/22 ~11/20	8/22 ~9/22	9/23 ~10/21	10/22 ~11/20	8/22 ~11/20	8/22 ~9/22	9/23 ~10/21	10/22 ~11/20	8/22 ~11/20
開始時の平均体重(g)Wo	845.0	870.1	940.1	845.0	904.7	932.9	1005.3	904.7	666.0	694.9	730.7	666.0
終了時の平均体重(g)Wt	870.1	940.1	995.1	995.1	932.9	1005.3	1088.6	1088.6	694.9	730.7	785.6	785.6
開始時の尾数(尾)No	101	89	76	101	103	92	79	103	105	93	80	105
終了時の尾数(尾)Nt	99	88	76	76(22)	102	91	79	79(22)	103	92	80	80(22)
死亡率(%)	2.0	1.1	0		1.0	1.1	0		1.9	1.1	0	
総給飼量(g)F	28900	26900	20300	76100	29100	27800	23300	80200	29500	21500	21000	72000
乾燥総給飼量(g)Fd	25660	23890	18000	67550	25840	24680	20690	71210	26200	19100	18640	63940
総タンパク給飼量(g)P	13000	12100	9140	34240	13100	12500	10500	36100	13300	9660	9440	32400
増重量(g)	2535	6230	4180	15160	2900	6660	6580	18940	3030	3330	4390	12560
飼育日数(日)n	32	29	30	91	32	29	30	91	32	29	30	91
日間増重率	0.09	0.27	0.19	0.18	0.10	0.26	0.27	0.20	0.13	0.17	0.24	0.18
日間給飼率(乾物)	0.94	1.03	0.82	0.91	0.86	0.96	0.83	0.86	1.16	1.00	1.02	1.05
日間タンパク給飼率	0.47	0.52	0.41	0.46	0.43	0.49	0.42	0.44	0.59	0.51	0.52	0.53
飼料転換効率(乾物)	9.78	25.93	23.19	19.66	11.19	26.84	31.81	23.50	11.47	17.35	23.55	17.30
増肉係数(乾物)		10.22	3.86	4.31	5.09	8.94	3.73	3.14	4.26	8.72	5.77	4.25
タンパク質効率	0.19	0.51	0.46	0.44	0.22	0.53	0.63	0.52	0.23	0.34	0.46	0.39

$$\text{日間増重率} = \frac{Wt - Wo}{n \times \frac{Wo + Wt}{2}} \times 100 \quad \text{日間増重率} = \frac{Fd}{n \times \frac{Wo + Wt}{2} \times \frac{No + Nt}{2}} \times 100 \quad \text{日間タンパク給飼率} = \frac{P}{n \times \frac{Wo + Wt}{2} \times \frac{No + Nt}{2}} \times 100$$

$$\text{飼料転換効率} = \frac{\text{日間増重量}}{\text{日間給飼率}} \times 100 \quad \text{増肉係数} = \frac{\text{日間給飼率}}{\text{日間増重率}} \quad \text{タンパク質効率} = \frac{\text{増重量}}{\text{総タンパク給飼量}} \quad (22) = \text{サンプリング尾数}$$

肥満度は1区22.02~22.36, 2区22.29~22.46, 3区22.59~22.98となり, 各区とも時期ごとによる肥満度の大きな変化は認められなかったが, 3区は他の区と比較すると高い傾向にあった。

飼料転換効率(%)は日間増重量と同じ傾向にあり, 8月から9月までは1区9.78, 2区11.19, 3区11.47と悪かったが, その後, 9月から10月にかけては1区25.93, 2区26.84, 3区17.35となり, 10月から11月にかけては1区23.19, 2区31.81, 3区23.55となった。全期間を通じてみると, 1区19.66, 2区23.55, 3区17.30となり, アスタキサンチンを40mg/kg添加した2区が最もよく, 400mg/kg添加した3区が最も悪い結果となった。

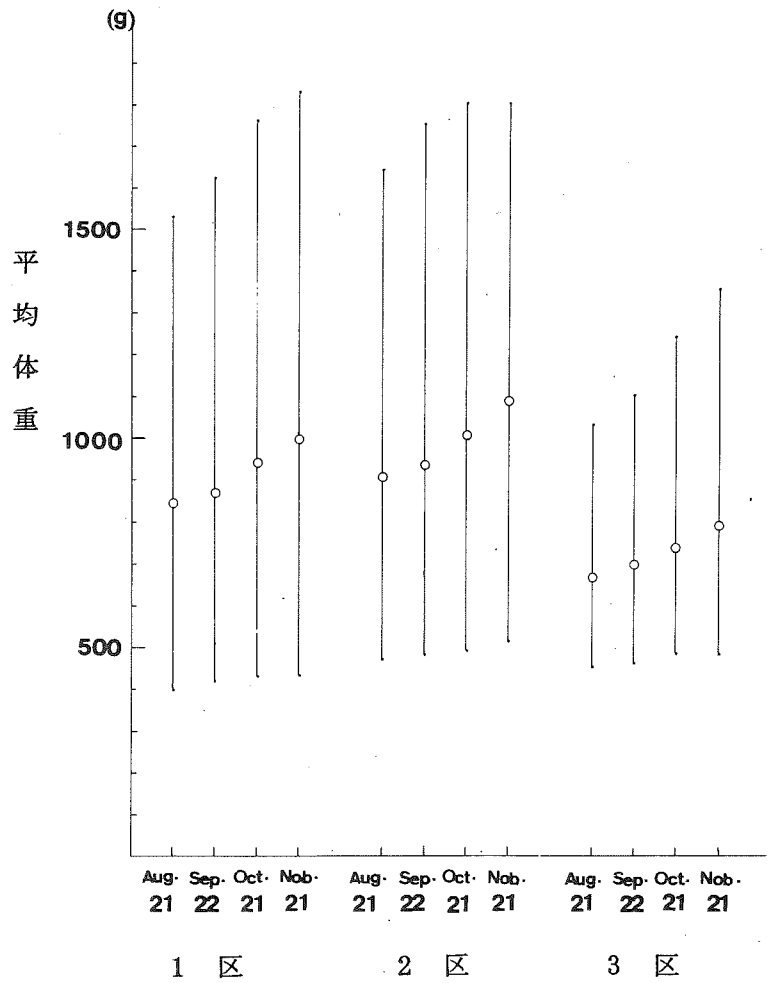


図2 測定時ごとの各区平均体重

表7 血液性状検査

区	測定月	測定日	測定尾数	ヘマトクリット値 (%)	ヘモグロビン量 (mg/dl)	赤血球数 ($\times 10^4$ 個/ mm^3)	血漿タンパク量 (mg/dl)
1	8	21	10	29.20 \pm 1.90*	6.23 \pm 0.52	277.4 \pm 30.8	4.76 \pm 0.62
	9	24	6	26.67 \pm 1.99	5.67 \pm 0.62	285.9 \pm 27.7	5.18 \pm 0.28
	10	22	6	24.83 \pm 2.73	5.43 \pm 0.64	263.4 \pm 29.9	4.61 \pm 0.32
	11	25	5	22.70 \pm 2.18	5.31 \pm 1.05	206.8 \pm 25.5	4.23 \pm 0.20
2	8	21	10	29.20 \pm 1.90	6.23 \pm 0.52	277.4 \pm 30.8	4.76 \pm 0.62
	9	24	6	26.33 \pm 3.14	5.67 \pm 0.58	248.8 \pm 18.9	4.76 \pm 0.45
	10	22	6	24.58 \pm 3.26	6.05 \pm 0.73	235.6 \pm 33.8	4.79 \pm 0.33
	11	25	6	24.90 \pm 2.08	6.21 \pm 0.28	240.6 \pm 28.2	4.60 \pm 0.28
3	8	21	10	29.20 \pm 1.90	6.23 \pm 0.52	277.4 \pm 30.8	4.76 \pm 0.62
	9	24	6	27.17 \pm 1.95	5.70 \pm 0.54	226.9 \pm 11.7	4.78 \pm 0.49
	10	22	6	24.42 \pm 2.54	6.14 \pm 0.70	216.8 \pm 26.8	4.48 \pm 0.30
	11	25	5	23.70 \pm 3.28	5.31 \pm 0.74	218.6 \pm 35.9	4.48 \pm 0.31

*: 平均値 \pm S D

血液性状検査：各月ごとの検査結果は

表7に検査結果の推移は図3に示す。各検査項目とも8月21日の調査開始時と比較すると、減少傾向が認められる。しかし、2区は他の区に較べ減少傾向は顕著でなく、血漿タンパク量は4.7%とほぼ一定であった。ヘモグロビン量も9月24日に5.67 g/dlと低下するものの、11月25日の調査では6.21 g/dlまで増加した。赤血球数とヘマトクリット値は9月10月と少しずつ低下したが、その後大きな低下はみられず、11月25日の検査ではそれぞれ 240.6×10^4 個/mm³、24.9%となった。

アスタキサンチンの含有量：マダイの鰭および表皮中のアスタキサンチン含有量測定結果は表8に、測定結果の推移を図4、図5に示す。8月の測定では表皮、鰭ともにアスタキサンチンの含有量は低く0.1~0.4mg/kgの範囲であった。対照の1区はその後あまり増加せず11月の測定においても表皮で0.9~2.0mg/kg、鰭で0.6~1.0mg/kgの

範囲であった。2区の表皮では、9月に平均で3.9mg/kgの含有量となり、10月には平均で最高の8.7mg/kgの含有量を示した。しかし11月の測定時には平均で6.8mg/kgの含有量となり、前月より低下している。鰭におけるアスタキサンチンの含有量は徐々に増加し、11月の測定時には平均で6.8mg/kgの含有量となった。3区の表皮では、9月に平均で5.3mg/kgとなり、その後も順調に増加し、11月の測定時には平均で15.4mg/kgの含有量となった。鰭においてもアスタキサンチンの含有量は順調に増加し、11月の測定時には10.5mg/kgとなった。鰭と表皮を比較すると、表皮におけるアスタキサンチンの含有量の方が常に高い値を示した。

色揚げ状況：アスタキサンチン投与1ヶ月目には赤い色が出始め、遊泳中でも明らかに3段階の色を呈していた。しかし、延髄刺殺すると1区と他の区との差は判別できたが、2区と3区の区別はできなかった。2ヶ月目には遊泳状態でも即殺後でも、各区の差は明らかとなった。

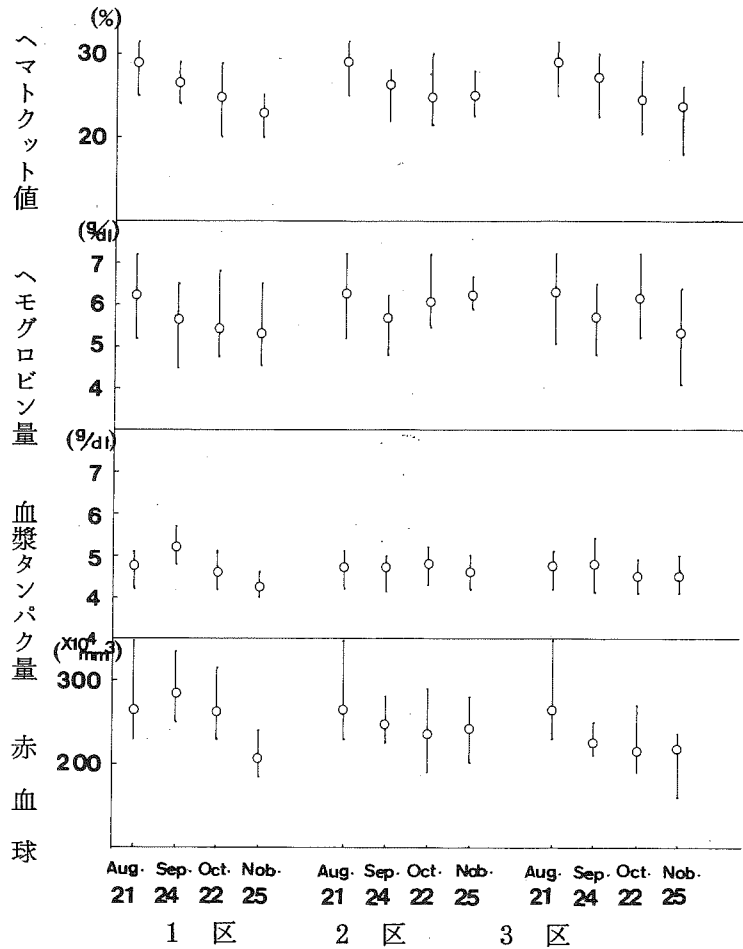


図3 各区血液性状検査結果の推移

木村：合成アスタキサンチンによるマダイの体色改善試験

表8 鱈および表皮中のアスタキサンチン分析結果

測定サンプル 月日 NO	1区(対照)		2区		3区								
	表皮	鱈	表皮	鱈	表皮	鱈							
8.21	1	0.1* ¹	0.1										
	2	0.3	0.3										
	3	0.2	0.3±0.1* ²	0.1	0.3±0.1								
	4	0.3	0.3										
	5	0.4	0.2										
9.23	1	0.3	0.3	3.3	3.2	1.1	0.7						
	2	0.2	0.1	4.2	2.7	2.2	2.2						
	3	0.4	0.4±0.1	0.1	0.3±0.3	2.6	3.9±1.3	2.9	2.9±0.7	7.2	5.3±3.6	3.6	3.6±2.9
	4	0.4	0.6	3.3	2.0	9.8	8.3						
	5	0.6	0.6	5.9	3.9	6.4	3.0						
10.22	1	0.7	0.2	6.0	4.7	16.7	7.7						
	2	0.3	0.4	10.5	6.1	5.6	2.5						
	3	0.6	0.6±0.2	0.5	0.3±0.1	5.6	8.7±2.9	2.1	5.5±2.3	4.2	9.6±5.0	3.0	5.0±2.2
	4	0.5	0.2	12.3	8.4	11.9	6.2						
	5	0.7	0.3	9.3	6.1	9.8	5.5						
11.25	1	1.1	0.7	7.6	6.7	10.9	7.6						
	2	0.9	0.6	4.8	5.4	18.2	17.4						
	3	1.1	1.2±0.4	0.6	0.7±0.2	8.4	6.8±2.5	10.4	6.8±2.8	14.3	15.4±3.0	10.7	10.5±4.2
	4	1.0	0.6	9.6	8.3	16.0	9.7						
	5	2.0	1.0	3.5	3.1	17.8	6.9						

*1:mg/kg *2:平均値±SD

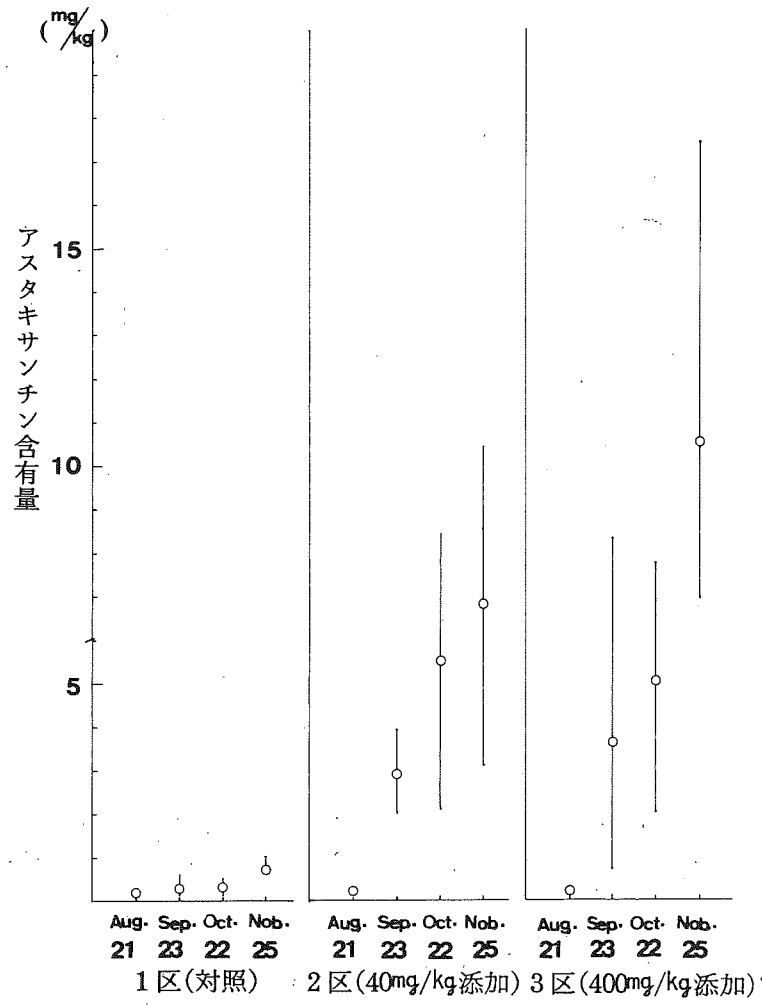


図4 表皮におけるアスタキサンチン含有量の推移

木村：合成アスタキサンチンによるマダイの体色改善試験

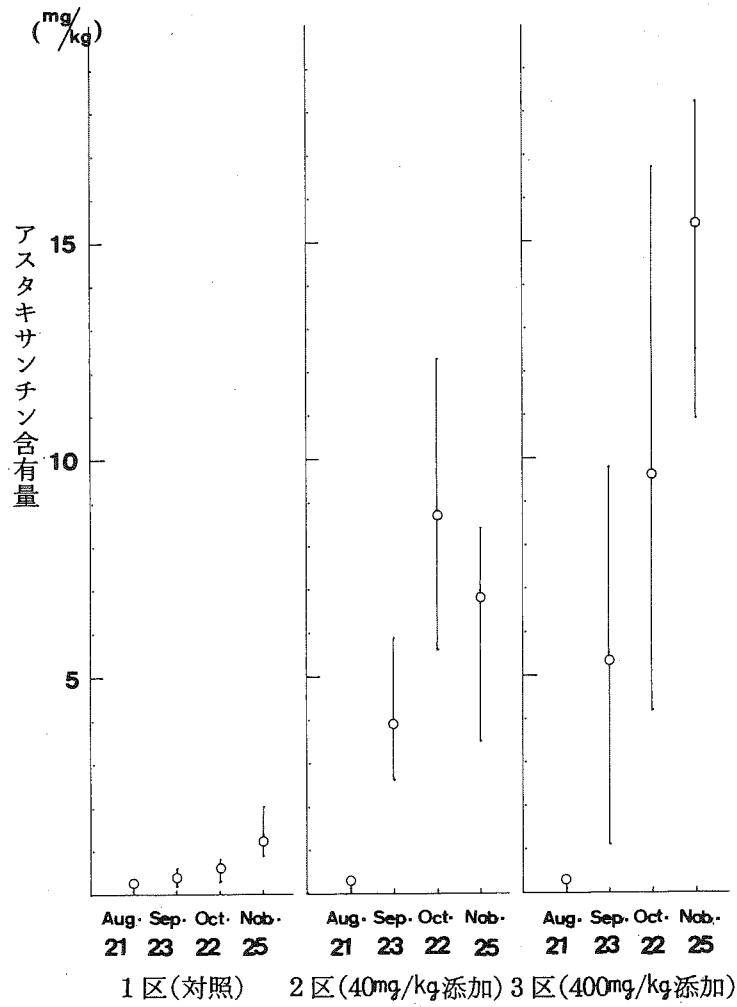


図5 鱗におけるアスタキサンチン含有量の推移

考 察

現在養殖マダイやハマチの体色改善に、オキアミ抽出油を飼料に添加する試みがなされている。北田ら^{2) 3)}は飼料にオキアミ抽出油を43mg/kg添加することで、マダイの体色改善が可能であると示し、山口⁴⁾らは配合飼料にオキアミ色素油を1~2%添加することによって2ヶ月で色揚げの効果が認められることを明らかにしている。また高知県水産試験場⁵⁾では飼料にアスタキサンチンにして40mg/kgの精製オキアミ抽出油を添加することによってハマチの体色改善が可能であるとしている。合成アスタキサンチンについては、Schmidtら⁶⁾がサケ・マス類で、飼料に450mg/kg添加して7週間飼育し、筋肉の色彩がよくなったという結果を得ており、我が国でも伊藤ら⁷⁾がマダイを用いて体色改善試験を行い、有効性を示しているものの、マダイに対する至適投与量は明らかになっていない。

ここでは40mg/kg添加区、400mg/kg添加区および対照区で試験を実施したが、各区とも8月22日から9月22日までの飼育成績はよくなかった。これは飼料が変わったことと、水温が平年より1℃高かったことが原因で、給飼した量だけマダイが摂餌していなかったものと考えられる。このため1ヶ月後の体色も即殺すると判断しにくい状況にあったのであろう。その後飼料にもなれて飼育成績もよくなり成長も色揚げの状況もよくなった。とくに40mg区は対照区と比較すると、摂餌も良好であり、飼育成績もよかった。

伊奈ら⁸⁾はマダイがスルメイカ内臓及びコマセアミの脂溶性成分に含まれるアスタキサンチン類縁化合物に強く誘引されるとしているが、本試験でも対照区よりもアスタキサンチン添加区の方が摂餌がよかった。これはアスタキサンチンに摂餌誘引作用があるためと考えられるが、400mg区の飼育成績がよくなかったことから判断するとアスタキサンチンの投与量に関係するようである。

血液性状からみたマダイの健康度は、天然のマダイと比較するといずれの項目も低めの値が出ている。対照区でも同じ傾向にあるので、アスタキサンチンの影響とは考えられない。この試験でも、2区は他の区と比較すると、どの検査項目をみても安定した値を示している。

天然マダイの表皮や鱗におけるアスタキサンチンの含有量は北島ら⁹⁾によって生息海域によってかなり異なるものの、23.52~8.31mg/kgの範囲にあることが報告されている。また伊藤ら⁷⁾は合成アスタキサンチンならびに合成アスタキサンチンジパルミテートを用いて、マダイの体色改善試験を行っている。その結果、試験開始時には表皮において平均で3.18mg/kgのアスタキサンチン含有量であったものが、飼料中に100ppmになるようにアスタキサンチンを添加することにより、表皮のアスタキサンチン含有量は試験開始後1ヶ月で9.7mg/kg、2ヶ月で13.23mg/kgとなったことを報告している。本試験においては飼料中に40mg/kgすなわち40ppmのアスタキサンチンを添加することにより、2ヶ月で表皮中に8.7mg/kgのアスタキサンチンを蓄積することが認められた。この8.7mg/kgのアスタキサンチン含有量を天然マダイの含有量と比較すると、値は低いものの天然魚で検出された量とはほぼ同じである。また、伊藤ら⁷⁾の報告との比較ではアスタキサンチンジパルミテート添加区ほど蓄積しなかったものの、アスタキサンチン単独の添加では良好な結果となった。

以上のことから、合成アスタキサンチンを飼料1kg当り40mg添加することにより、2ヶ月でマダ

木村：合成アスタキサンチンによるマダイの体色改善試験

イの色揚げが可能と考えられる。また、400mgの添加は飼育成績からも明らかなようにあまりよいとはいえず、他の研究結果や経済性等を考え合わせると、飼料1kg当りの添加量は40mg程度が適量であろう。

文 献

- 1) 高知県水産試験場, 1982: 魚類養殖環境自家汚染防除技術開発研究(配合飼料)年度報告書, 昭和56年度研究開発促進事業
- 2) 北田哲夫・吉田範秋, 1984: オキアミ抽出油によるマダイの体色改善(上), 養殖, 9, 97-101.
- 3) 北田哲夫・吉田範秋, 1984: オキアミ抽出油によるマダイの体色改善(下), 養殖, 10, 98-102.
- 4) 山口勝巳, 1985: 効果的なマダイの色揚げ法について, 養殖, 1, 50-53.
- 5) 高知県水産試験場, 1983: ハマチ配合飼料の開発に関する研究, 昭和57年度指定調査研究報告書
- 6) P.J.Schmidt・E.G.Baker, 1986: Indirect Pigmentation of Salmon and Trout Flesh with Canthaxanthin, *Journal Fisheries Research Board of Canada*, 26(2), 357-360.
- 7) 伊藤良仁・釜田忠・田中淑人・飯島宗夫, 1986: アスタキサンチンとアスタキサンチンジパルミテートによるマダイの体色改善試験, 水産増殖, 34(2), 77-80.
- 8) 伊奈和夫・領木快一・東久美, 1979: マダイ(*Chrysophrys major*)の色に対する反応性, 日水誌, 45(1), 1-6.
- 9) 北島力・吉田範秋・北田哲夫, 1985: アスタキサンチン含有飼料がマダイ体色に与える影響, 昭和52-58年度水産振興費, 水産物加工利用技術開発総合増結書, 349-372.