

넙치의 백화현상 규명에 관한 연구*

I. 멜라닌 색소 생성에 미치는 효소와 기질의 영향

최영준 · 강석중 · 조창환 · 명정구* · 김종현**

통영수산전문대학 수산가공과

*한국해양연구소

**창원전문대학

Studies on Albinic Flat-Fish *Paralichthys olivaceus*

I. Effects of Enzyme Activities and Substrates on Melanin Formation

Yeung Joon Choi, Seok-Joong Kang, Chang-Hwan Cho, Jung-Goo Myoung*
and Jong-Hyun Kim**

Department of Fisheries Processing, National Tong-Yeong Fisheries
Technical College, Chungmu, 650-160, Korea

*Korea Ocean Research & Development Institute, Ansan 425-600, Korea

**Chang-Won Junior College, Changwon, 641-190, Korea

ABSTRACT

The albinic phenomenon of flat-fish (*Paralichthys olivaceus*) was investigated by measuring protein content, tyrosinase activity, amino acid composition, and contents of vitamin A and C. These materials in the flat-fish feed-stuff were also tested.

The amount of skin protein was higher than that of muscle in normal flat-fish. Catechol and L-dopa oxidase activity did not differ between normal and albinic flat-fish. The free amino acid of skin in normal flat-fish was 7.5 times that in albinic one. Sulfur-containing amino acid in normal flat-fish was also 6.3 times that in albinic ones. Vitamin A was not detected in both of flat-fish. The content of vitamin C in normal flat-fish was 7.8 times that in albinic one. The contents of protein, sulfur-containing amino acid and vitamin C in micro-encapsulated feed (one commercial feed in Japan) were the highest among the feed-stuff used in this experiment. The melanin formation of flat-fish skin was affected by substrates such as aromatic amino acid and cofactor such as sulfur amino acid.

서 론

넙치는 우리나라에서 수요가 많고, 경제성이 높아서 양식장은 해마다 증가하고 있는 실정이다. 그러나 대부분의 양식장에서는 넙치의 인공 종묘 생산에 성공하였으나, 백화라 불리워지는 체색 이상 개체가 발생하여 종묘의 질 뿐만 아니라 상품의 가치를 저하시킴으로서 넙치 양식의 큰 문제점으로 지적되고 있다.

※ 본 연구는 국립통영수산전문대학 부설 수산과학연구소의 학술연구조성비에 의해 연구되었음

백화 출현의 원인 규명을 위한 사육환경에 대한 연구로서는 사육수조내의 환수율에 관한 杉山 等(1985)과 자어 사육 수온에 관한 青海 等(1985)의 보고가 있다. 한편 초기 사료의 영향에 관하여는 Nakamura *et al.*(1986), Nakamura and Iida(1986), 日下部 等(1984) 및 松清 等(1985)이 비타민이 백화에 미치는 영향을 보고하였으며, 松清 等(1985)과 青海 等(1985)은 먹이생물 및 넙치의 지질 조성 및 미네랄 조성을 분석하여 보고하였다. 멜라닌 색소와 관련하여, 김(1988)은 멜라닌 색소는 수산 동물의 체 표피에 분포하고 있으며, 흑색, 회색 및 갈색을 나타낸다고 하였으며, Meister(1965)는 tyrosinase의 결핍은 동물과 사람의 백화 원인이 된다고 보고하였다. 그러나 넙치의 백화 현상을 멜라닌의 생합성 기작, 특히 관련 효소와 연관지워 연구한 보고는 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 넙치 백화 개체발생의 원인을 규명하기 위한 일련의 연구 중, 우선적으로 멜라닌 색소의 전구 물질과 관련 효소의 활성을 먹이생물, 백화 개체 및 자연 개체간에 비교, 분석함으로써 백화 개체 발생에 미치는 기질 및 효소의 영향을 검토하였다.

재료 및 방법

1. 재료

본 실험에 사용한 자연산 넙치(*Paralichthys olivaceus* : 체중 250~350g ; 체장 17.2~19.6cm)는 경남 통영군 산양면 근해에서 1989년 5월부터 10월 사이에 어획된 것을, 그리고 넙치 백화 개체(체중 0.9~1.1g ; 체장 4.0~4.3cm)는 경남 통영군 산양면 소재 육상 수조식 양식장에서 구입하여 시료로 하였다.

넙치의 자어용 미립자 사료는 일본의 H사 제품을 그대로 분석용 시료로 사용하였으며, 먹이생물인 *Artemia*는 샌프란시스코산을, *Rotifer*는 유지 효모로 배양한 후, 24시간 클로레라로 영양 강화한 것을 0.45 μ m membrane filter로 여과하여 분석용 시료로 사용하였다. 넙치는 구입 즉시 실험실로 운반하여 肉質과 表皮를 분리, 절취한 다음, 조효소의 추출에 사용하였다. 실험 중 조효소의 추출 용매를 포함하여 모든 시약은 특급을, 그리고 실험에 사용한 모든 물은 증류한 탈이온수를 사용하였다.

2. 방법

1) 粗효소의 추출

조효소의 추출은 Fig.1의 방법에 따라 추출하였다. 즉, 잘 마쇄한 肉質과 表皮에 2배량의 탈이온수를 가하여 Ultra-Turrax형 조직 분쇄기(Janke and kunkel Co. KG IKa-Werk 18/10 S7)로 3분간 균질화한 후, 원심 분리(20,000 \times g, 30min.)하여 상층액만을 여과하여 지방을 제거한 다음, 여액을 조효소로 하였다.

2) 효소활성의 측정

추출된 조효소를 사용한 catechol oxidase의 활성은 Flores and Crawford(1970)의 방법으로, L-dopa oxidase의 활성은 Ingebrigtsen *et al.*(1989)의 방법을 다소 개량한 Fig.1의 방법에 따라 측정하였다.

효소의 활성도는 25 $^{\circ}$ C에서의 분당 1흡광도 변화를 효소 활성 1단위로 표시하였다.

3) 아미노산 조성의 측정

감압 여과한 *Artemia*와 *Rotifer*는 acetone으로 충분히 탈수하였다. 탈수한 시료는 감압데시케이트 속에서 24시간 이상 건조시킨 후, 미립자 사료는 전 처리 조작없이 각각 아미노산 분석용 시료로 사용하였다. 시료는 정칭하여 6N 염산가수분해법에 따라 전 처리한 후, 아미노산 자동분석기(Hitachi 835형)로써 아미노산 조성을 분석하였다. 이때 threonine, tyrosine 및 serine은 Yates and Greaser

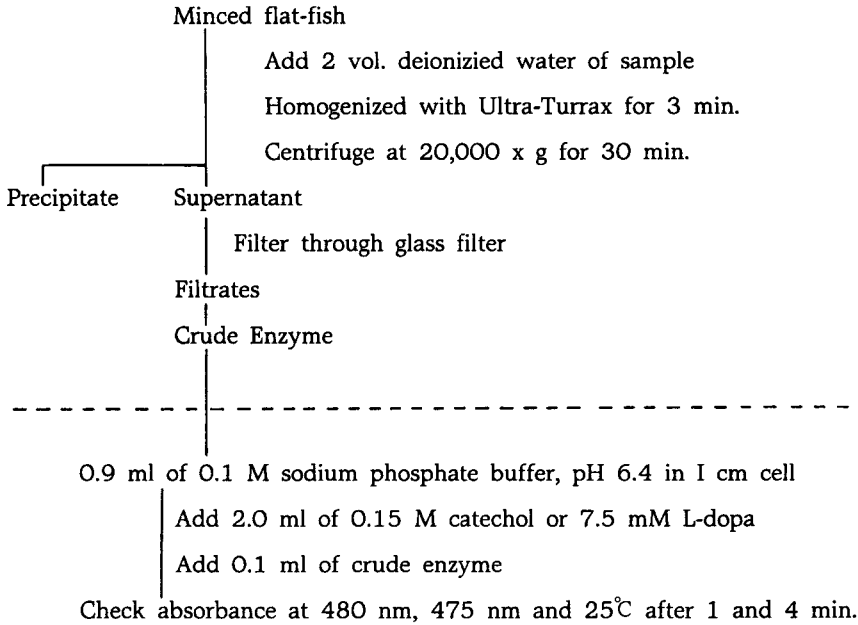


Fig. 1. Scheme for preparation of crude enzyme and determination of catechol oxidase and L-dopa oxidase activity.

(1983)가 보고한 회수율을 근거로 하여 측정치를 보정하여 계산하였다.

한편 tryptophane은 Species and Chamber(1948)의 방법에 따라서 비색 정량하였다. 그리고 유리 아미노산은 문(1988)의 방법에 따라 추출하여 전기의 아미노산 자동 분석기로 분석하였다.

4)비타민의 측정

비타민 A의 함량은 Bayfield and Cole(1980)의 방법에 따라 측정하였으며, 환원형 비타민 C와 산화형 비타민 C는 Omaye *et al.*(1979)의 방법에 따라 각각 2,6-dichlorophenolindophenol법과 2,4-dinitrophenylhydrazine법으로 측정하였다.

5) 단백질 함량과 농도의 측정

조단백질의 함량은 semi-micro Kjeldahl법으로, 조효소 단백질의 농도는 Biuret 법으로 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 粗단백질

자연산 넙치와 양식산 백화 넙치의 肉質과 表皮 그리고 사료의 조단백질 함량을 측정하여 Table 1에 나타내었다.

자연산인 정상 넙치와 양식산 백화 넙치의 肉蛋白質 함량은 백화 넙치가 정상 넙치에 비하여 다소

Table 1. Contents of crude protein of wild and albinic flat-fish and its feed-stuff

	(Unit : %)
Sample	Crude protein
Wild flat-fish	
Muscle	19.46± 0.12
Skin	23.48± 0.14
Albinic flat-fish	
Muscle	23.06± 0.16
Skin	22.53± 0.02
Feed-stuff	
C1 ^{*1}	52.82± 0.35
C2	46.38± 0.83
C3	47.74± 0.53
C4	42.70± 0.22
C5	47.69± 0.13
Artemia ^{*2}	15.18± 0.01
Rotifer ^{*3}	10.65± 0.29

*1 : Mixed feed-stuff for flat-fish(H. Co., Japan)

*2 : Sanfrancisco(America)

*3 : ω-yeast + *chlorella*, 24 hr

높은 반면, 表皮의 단백질 함량은 비슷하였다. 이와같이 양식산 백화 넙치 肉의 단백질 함량이 높은 것은 양식산이 高蛋白質의 사료를 섭취하기 때문으로 생각된다.

한편 넙치의 자치어기에 급이하는 미립자 사료의 단백질 함량은 입자의 크기가 가장 작은 C1이 가장 높아서 52.82± 0.35% 이었고, C2~C5사료의 단백질 함량은 47.74± 0.53~42.70± 0.22%의 범위로 거의 비슷한 수준임을 알수 있었다. 그리고 일령 5일째에 1회 3개체 가량 포식한 Rotifer는 10.65± 0.29%, 일령 15일부터 1회 12개체 가량 포식한 Artemia는 15.18± 0.01%의 단백질을 포함하고 있었다.

海洋研究所(1989)는 일령 12, 19일째인 넙치 자어는 1회에 각각 13 및 25개체의 Rotifer를 포식하며, Artemia는 일령 15일째부터 급이하였다고 보고하였다.

이상의 보고에 근거하면, Artemia와 Rotifer를 위주로 한 초기 사료에는 생장에 따른 단백질의 섭취량이 부족할 것으로 생각되며, Artemia 및 Rotifer만을 단독으로 먹인 넙치는 생존율이 25% 미만으로 C1미립자 사료 혼합급이군에 비하여 23%가량 떨어진다는 점(松青 等, 1985)을 감안하면, 적정 시기부터 高蛋白質의 미립자 사료를 혼합하여 투여하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

2. 효소활성

30mM 인산완충액(pH 6.4), 기질농도 0.15M, 25°C의 반응조건에서 조효소의 농도를 달리하면서 측정된 효소활성의 변화는 Fig.2에 나타내었다.

본 실험의 조효소 단백질 농도 구간 (0.5 mg/ml~3.5mg/ml)에서 효소활성은 대체로 조효소 농도에 비례하여 직선식에 따라 증가함을 알 수 있었다.

Dixon and Webb(1979)는 효소 반응속도는 일정 농도 구간내에서 대체로 효소의 농도에 비례하여 증가한다고 하였으며, 大西 等(1978)은 남극새우의 tyrosinase활성은 조효소 단백질의 농도에 비례하여 직선식에 따라 증가한다고 보고하였다.

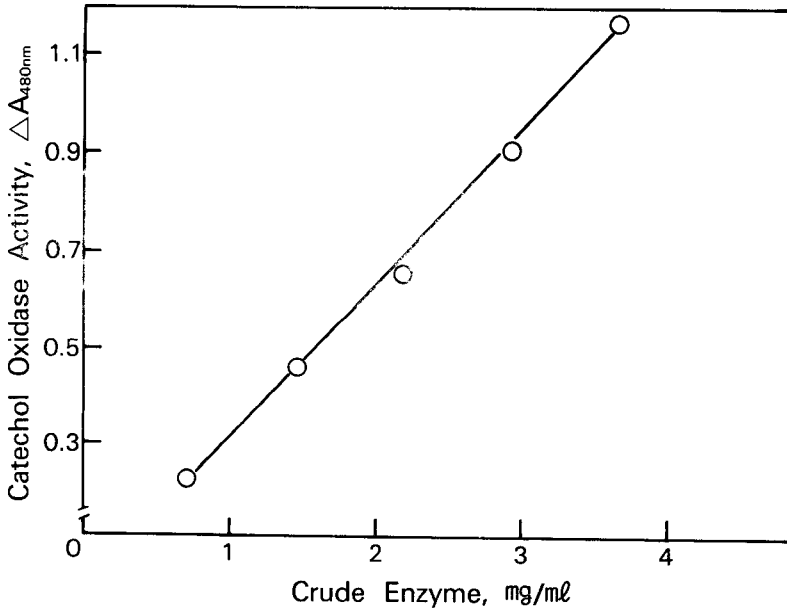


Fig. 2. Effect of enzyme concentration on the oxidation of catechol by the tissue extracts from the flat-fish.

기질농도 변화에 따른 효소활성의 변화는 Fig.3에 나타내었다.

기질로써 사용한 catechol의 실험농도구간(0.1~0.6M)에서 0.4M까지의 효소활성은 대체로 직선식에 따라 증가하였으며, 이후의 농도부터는 감소하는 경향을 나타내고 있었다.

본 실험의 결과는 大西 等(1978)이 남극새우의 tyrosinase활성은 기질농도 0.3M까지 직선식에 따라 증가하고, 이후의 농도부터는 오히려 감소한다고 보고한 것과 거의 일치함을 알 수 있었다.

자연산 정상넙치와 양식산 백화넙치의 catechol 및 L-dopa oxidase활성은 全肉과 表皮를 마쇄하여 Fig.1의 조건에 따라 각각 측정된 다음, 그 결과를 Table 2에 나타내었다.

Table 2에서 알 수 있듯이 자연산 정상넙치의 catechol oxidase와 L-dopa oxidase활성은 각각 0.220 ± 0.005와 39.81 ± 4.98이었으며, 양식산 백화넙치의 경우는 0.228 ± 0.003과 40.00 ± 5.02로서 정상개체와 백화개체간에 거의 차이를 보이지 않았다.

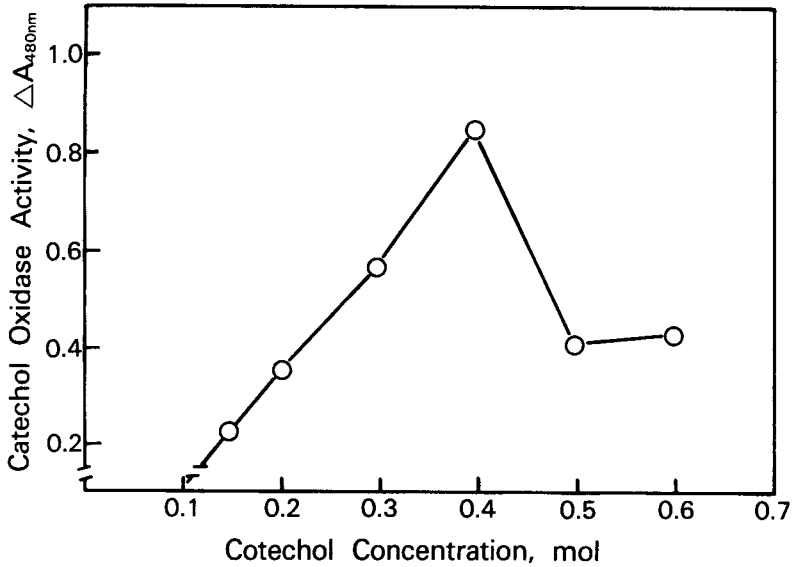


Fig. 3. Effect of substrate concentration on the oxidation of catechol by the tissue extracts from the flat-fish.

Table 2. Catechol and L-dopa oxidase activities of flat-fish

	Catechol oxidase (ΔA_{480nm})	L-dopa oxidase (ΔA_{480nm})
Wild	0.220 ± 0.005	39.81 ± 4.98
Albinism	0.228 ± 0.003	40.00 ± 5.02

Meister(1965)와 Hearing(1987)은 tyrosine을 전구체로 한 멜라닌 색소의 생합성 과정 중에서 tyrosinase는 dopa와 dopaquinone의 생성에 관여하는 것으로 보고하였다.

본 실험의 결과에 비추어 넙치의 백화현상은 멜라닌 색소형성에 기여하는 효소의 활성과는 무관한 것으로 추측된다.

3. 아미노산

멜라닌 색소의 전구물질인 tyrosine과 중합체의 형성을 가능케하는 합황물질로서의 아미노산 양을 알아보기 위하여 자연산 정상넙치와 양식산 백화넙치의 肉質 및 表皮의 유리아미노산을 측정하여

Table 3에 나타내었다.

정상넙치 表皮의 유리아미노산 총량은 肉에 비하여 약 2배에 달하는 1052.25mg/100g에 달한 반면, 백화개체의 表皮는 肉에 비하여 약 1/2에 상당하는 140.16mg/100g에 불과하였다. 그리고 정상넙치 表皮의 유리아미노산 총량은 백화넙치 表皮의 7.5배에 달하였다.

개별 유리아미노산 함량을 비교해 보면 자연산 정상 넙치육은 taurine, arginine, alanine, 및 lysine의 순으로 함량이 높아서 이들 아미노산이 전체 유리아미노산의 78%에 달하였다. 表皮는 肉質에 비하여 모든 아미노산의 함량이 높은 편이었고, 그중 taurine, glutamic acid, lysine, leucine, 및 proline이 특히 많아서 전체 유리아미노산의 61%를 차지하였다.

Table 3. Physiological fluid profiles of wild and albinic flat-fish

Amino acid	(mg/100g wet-sample)			
	Wild		Albinic	
	Muscle	Skin	Muscle	Skin
Tau	259.06	214.77	103.39	36.12
Asp	6.78	27.86	ND	1.61
Thr	12.36	15.83	0.26	6.29
Ser	9.59	11.32	13.49	6.87
Glu	9.00	102.67	30.65	6.78
Gly	17.05	55.64	15.70	6.95
Ala	26.94	87.26	40.71	21.44
Val	7.07	56.67	3.80	4.62
1/2Cys	9.26	3.57	0.46	1.29
Met	8.04	23.98	0.50	0.78
Ile	6.76	45.42	2.15	3.42
Leu	8.07	81.54	3.70	5.89
Tyr	3.96	9.07	3.11	5.57
Phe	4.47	56.59	3.25	4.85
Lys	22.21	85.77	3.71	4.17
His	18.96	56.59	29.04	8.75
Arg	54.53	49.31	1.04	3.22
Pro	ND	72.05	14.19	5.45
Ammonia	5.02	49.31	5.89	6.09
Total	489.13	1052.25	275.04	140.16

백화넙치 肉質의 유리아미노산양은 taurine, alanine, glutamic acid, 및 histidine의 순으로 높았으며, 전체 유리아미노산의 64%를 점하고 있었다. 그리고 백화넙치 表皮는 taurine과 alanine이 전체 유리아미노산의 41%이었다. 자연산 정상넙치 肉質과 表皮 및 백화넙치 肉質의 taurine함량은 각각 백화넙치 表皮의 7.2배, 5.9배, 2.9배에 달하여 시료간에 가장 큰 차이를 나타내고 있는 유리아미노산이었다.

넙치의 초기사료에 해당하는 미립자 사료 중 C1과 생물먹이인 *Artemia*와 *Rotifer*의 구성아미노산을 분석하여 Table 4에 나타내었다. 미립자 사료의 필수아미노산 함량은 *Artemia*와 *Rotifer*에 비하여

Table 4. Amino acid composition of feed-stuff and live feed for cultured flat-fish

(A.A-g/100g-sample)

Amino acid	C ₁	Artemia	Rotifer
Essential amino acid			
Thr	2.31	0.89	0.60
Val	2.42	1.02	0.77
Ile	3.67	0.81	0.57
Leu	3.66	1.16	0.86
Met	1.24	0.26	0.19
Cys	0.04	0.05	0.04
Phe	2.08	1.02	0.75
Tyr	1.65	0.49	0.62
Lys	3.71	1.05	0.70
Trp	0.56	0.15	0.09
Nonessential amino acid			
Asp	3.60	1.02	0.73
Ser	2.34	0.86	0.59
Glu	9.93	2.20	1.92
Gly	3.24	0.73	0.51
Ala	2.86	0.93	0.65
His	1.06	0.44	0.26
Arg	3.16	1.48	0.89
Pro	1.57	0.81	0.49
NH ₃	0.51	0.11	0.08
Total	49.61	15.48	11.31
Protein contents of 100g-sample	52.82	15.18	10.56

월등히 높았으며, *Artemia*의 경우 tyrosine을 제외하고는 Rotifer에 비하여 약간 높은 편이었다. 이같은 결과는 시료 단백질 함량의 차이에 기인한 것으로 판단된다. 그러나 *Artemia* 및 Rotifer만을 먹인 경우, 앞서 지적한 바와 같이 필수아미노산의 부족에 따른 문제점들이 예상되므로 섭식초기부터 양질의 아미노산 조성을 가진 미립자 사료와의 혼용이 적절할 것으로 생각된다.

松青 等(1985)은 사료종류와 투여시기가 생존율과 백화 출현율에 미치는 영향을 조사한 결과, 미립자 사료-1을 넙치의 전장 8mm이전에 줄 경우, 생존율 48.5%, 정상개체발생율 96%로서 다른 단독 및 복합 사료군에 비하여 대단히 우수한 결과를 나타낸다고 보고하였다.

Table 3,4의 결과에서 Hearing (1987)이 멜라닌 색소의 생합성 과정에 관여하는 것으로 보고한 tyrosine과 합황아미노산으로서 taurine, cysteine 및 methionine의 함량을 시료간에 비교하여 Table 5에 나타내었다.

Table 5. Phenolic and sulfuric amino acids content of wild, abinic flat-fish and its feed-stuff (A.A mg/100g-sample)

Sample	Phenolic amino acid		Sulfur containing amino acid						
	Physiological fluid		Total		Physiological fluid		Total		
	Tyr	Phe	Tyr	phe	Tau	Cys	Met	Cys	Met
Wild									
Muscle	3.96	4.47			259.06	9.26	8.04		
Skin	9.07	56.59			214.77	3.57	23.98		
Albinic									
Muscle	3.11	3.25			103.79	0.46	0.50		
Skin	5.57	4.85			36.12	1.29	0.78		
Feed-stuff									
C1			1650	2080				40	1240
Artemia			490	1020				50	260
Rotifer			620	750				40	190

색소 생성에 기질로 작용하는 tyrosine의 함량은 자연산 정상넙치 表皮가 양식산 백화넙치 表皮에 비하여 1.6배 높았으며, 먹이생물인 Rotifer 와 *Artemia*에 비하여 1.3배 가량 높았다. 그리고 합황 아미노산인 taurine, cysteine 및 methionine의 함량은 정상넙치가 백화넙치에 비하여 대단히 높음을 확인하였다. 그러나 급이사료인 경우는 C1, *Artemia*, 그리고 Rotifer의 순으로 cysteine과 methionine의 함량이 낮았다.

4. 비타민

자연산 정상넙치와 양식산 백화넙치의 肉質과 表皮 및 사료군에 함유된 비타민 A와C를 측정하여 Table 6에 나타내었다.

Table 6. Vitamin A and C content of wild, albinic flat-fish and its feed-stuff

Vitamin	Wild		Albinic		Artemia ^{*1}	Rotifer ^{*1}	C1
	Muscle	Skin	Muscle	Skin			
A(I.U)	ND* ²	ND	ND	ND			
C(mg/100g)	2.95	5.60	5.60	0.72	60.91	21.07	100.83

*1. Moisture content of Artemia and Rotifer were 15.9% and 15.0%, respectively.

*2. ND was nondetected.

비타민A는 정상넙치와 백화넙치의 肉質과 表皮에서 확인되지 않았다. 그리고 비타민C의 함량은 肉質에서는 정상넙치가 높게 나타났으나, 表皮의 경우는 정상넙치가 5.6mg/100g에 달하여 肉質과는 반대의 결과를 보였다.

靑海 等(1985)은 넙치 자치어의 비타민A양과 백화개체의 출현간에는 상관이 없는 것으로 보고 하였으며, Machlin(1980)은 L-tyrosine의 대사는 L-ascorbic acid의 존재에 의존하는 산화효소와 밀접한 상관이 있음을 보고하였다.

사료군의 비타민 C 함량은 미립자 사료에서 100.8mg/100g으로 가장 높게 나타났다.

이같이 양식산 백화넙치 肉質의 비타민C의 함량이 높은 것은 비타민C가 강화된 사료의 급이효과에 기인하는 것으로 추측되나, 정상넙치 表皮의 비타민 C 함량이 높은 것은 특이하여 앞으로 재검토가 필요할 것으로 생각되었다.

요 약

멜라닌 색소의 생합성 과정에 관여하는 것으로 알려져 있는 효소 및 관련 인자와의 상관성을 검토하기 위하여 자연산 정상넙치와 양식산 백화넙치의 肉質과 表皮, 미립자 사료와 생물먹이인 *Artemia* 및 *Rotifer*에 대하여 단백질의 함량, 멜라닌 색소생성에 관여하는 효소의 활성, 아미노산 조성 및 비타민A와 C의 함량을 비교하였다.

정상넙치 表皮는 肉質에 비하여 단백질의 함량이 높았으나, 백화넙치인 경우는 대체로 비슷한 값이었다. 사료중의 단백질 함량은 미립자 사료 중 C1이 가장 높았다. catechal oxidase의 활성은 기질과 조효소 농도의 증가와 더불어 증가하였으며, 백화 유무에 관계없이 거의 유사한 값으로 나타났다. 그리고 L-dopa oxidase활성도 동일한 결과였다.

정상넙치의 유리아미노산 함량은 백화개체에 비하여 높았으며, 表皮의 경우는 정상넙치가 백화넙치에 비하여 7.5배 가량 높은 값을 나타내었다. 필수아미노산의 조성으로 비교했을 때, 미립자 사료는 *Artemia*와 *Rotifer*보다 우수한 단백질원이었다. 그리고 정상넙치의 함황아미노산의 함유량은 백화넙치의 6.3배에 달하였다.

비타민A는 정상 및 백화넙치의 肉質과 表皮에서 검출되지 않았으나 비타민C는 정상인 넙치 表皮가 백화넙치 表皮에 비해 약 7.8배였으며, 미립자 사료는 100.83mg/100g으로서 사료 중 가장 높았다.

따라서 넙치 表皮의 멜라닌색소의 생성에는 기질인 방향족 아미노산과 함황아미노산이 큰 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

- 青海忠久, 池脇義弘, 渡辺武, 下崎眞澄. 1985. 異体類白色化個体出現に関する栄養學的研究. 京都大學農學部附屬水産實驗所, 東京水産大學.
- Bayfield, R. F. and E. R. Cole. 1980. Colorimetric estimation of vitamine A with trichloroacetic acid. In : Methods in Enzymology. vol. 67. P. 189-195. D. B. McCormick and S. D. Wright(Eds.), Academic Press, New York.
- Dixon, M. and E. C. Webb. 1979. Enzymes. P. 47-206. Academic Press, New York.
- Flores, S. C. and D. L. Crawford. 1973. Postmortem quality changes in iced Pacific shrimp (*Pandalus jordani*). J. Food Sci., 36 : 575-579.
- 海洋研究所. 1989. 高級魚種의 大量種苗生産 企業化 研究 (II). BSPG 00071-236-3. 서울 P. 245.
- Hearing, V. J.. 1987. Mammalian, monophenol monooxygenase(tyrosinase) : Purification, properties, and reactions catalyzed. In : Methods in Enzymology, vol, 142. P.154-169. S. Kaufman(Eds.), Academic press, New Youk.
- 日下部重朗, 松清恵一, 北島力, 吉田範秋, 塚島康生, 荒川敏久, 渡辺武. 1984. ヒラメの白化防除に関する研究. 長崎水産試験場.
- Ingebrigtsen, J., B. Kang and W. H. Flurkey. 1989. Tyrosinase activity and isoenzymes in developing mushrooms. J. Food Sci., 54 : 128-131.
- 김우준. 1988. 최신수산화학. pp162, 세진사. 서울.
- Machlin, L. J.. 1980. Handbook of Vitamines. P.199-244. Marcel Dekker, New York.
- Meister, A.. 1965. Biochemistry of the Amino Acids. vol, II. P. 919-928. Academic press, New York.
- 松清恵一, 玉河道徳, 吉田範化, 荒川敏久, 北島力, 林田豪介, 渡辺武. 1985. ヒラメの白化防除に関する研究. 長崎水産試験場.
- 문수경. 1988. 가열온도에 따른 천연산 잉어 어육 엑스분 중의 아미노산 및 그 관련화합물의 변화, 통영수산전문대학 논문집, 23 : 9-14.
- Nakamura, K., H. Iida and H. Nakano. 1986. Riboflavin in the skin of albinic flatfish *Liopsetta obscura*. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 52 : 207.
- Nakamura, K. and H. Iida. 1986. Relationship between albinism and riboflavin amount in flounder *Paralichthys olivaceus*. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 52 : 1275-1279.
- Omaye, S. T., J. D. Turnbull and H. E. Sanberlich. 1979. Selected methods for the determination of ascorbic acid in animal cells, tissues, and fluids. In : Methods in Enzymology, vol, 62 3-11. D. B. McCormick and L. D. Wright(Eds.), Adcademic Press, New York.
- 大西登史良, 渡辺武彦, 鈴木滿平. 1978. オキアミのチロツナーゼと黒變防止. 東海水研報., 96 : 1-9.
- Species, J. R. and D. C. Chamber. 1948. Chemical determinations of tryptophan. Anal. Chem., 20 : 30-39.
- 杉山元彦, 中野廣, 矢野農, 福田雅明, 村上直人. 1985. 異体類の健苗育成に関する研究-I. 白化等の異常個体現率におよぼす注水量の影響について. 北水研報告, 50 : 63-69.
- Yates, L. D. and M. L. Greaser. 1983. Quantitative determination of myosin and actin in rabbit skeletal muscle. J. Mol. Biol., 168 : 123-141.