

우렁쉥이 껍질의 색소 및 효소 가수분해물을 이용한 무지개 송어의 품질 향상

2. 우렁쉥이 껍질의 효소 가수분해물이 무지개 송어의 착색 및 성장에 미치는 효과

강석중 · 최병대* · 이강호**

경상대학교 수산대학 양식학과, *식품과학과, **부산수산대학교 식품공학과

Quality Improvement of Rainbow Trout with Pigments and Enzymatic Hydrolysates of Ascidian (*Halocynthia roretzi*) Tunic

2. Effect of Ascidian Tunic Enzymatic Hydrolysates on Pigmentation and Growth of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*)

Seok-Joong KANG, Byeong-Dae CHOI* and Kang-Ho LEE**

Department of Aquaculture, *Food Science, College of Fisheries, Gyeongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea

**Department of Food Science and Technology, National Fisheries University of Pusan, Pusan 608-737, Korea

To utilize the ascidian tunic as a natural pigment and dietary sources for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), juvenile were fed on experimental diets containing enzymatic hydrolysates of ascidian tunic treated with three commercial mixed enzymes (ultrazyme, cellulase, viscozyme) for 12 weeks.

From the results of feeding experiment, similiar growth rate was checked in the enzymatic hydrolysis group compared with control, and those were a higher than of ascidian tunic powder group.

The total acetone extractable pigment in muscle of the enzymatic hydrolysates group was lower than that of the ascidian extracts group and carophyll pink group until 8 weeks, but the level of those pigment of the enzymatic hydrolysates was similar to the ascidian extracts and carophyll pink group after 12 weeks.

The lipid content was increased with the pigment concentration in the all experimental group. But the ascidian tunic pigment did not influence on the composition of the fatty acids in the muscle and liver.

From the consideration of results for pigmentation, the enzymatic hydrolysates of ascidian tunic were suitable for both a natural pigment and dietary protein and carbohydrates sources as a substitute synthetic pigment for aquaculture use.

Key words : pigmentation, enzymatic hydrolysates, ascidian tunic, rainbow trout

서 론

지금까지 연어류 양식에서는 대부분 인공합성 착색제를 사용하여 왔으나, 인공합성품의 인체유해에 대

한 많은 논란을 거듭한 끝에 최종적으로 FDA에서 식품에는 인공합성착색제의 사용을 금지하였기 때문에 (Lovell, 1992), 전세계적으로 천연착색제의 탐색을 위한 연구가 진행되고있다 (Spinelli et al., 1974; Spinelli

이 논문은 1994년도 교육부 학술연구조성비(해양수산과학분야)에 의해 연구되었음.

and Mahnken, 1978).

그래서 본 연구자들은 전보에서 (Lee et al., 1994a, b; Choi et al., 1994a, b)는 연안환경오염의 한 원인이 되고 있는 우렁쟁이 껍질을 새로운 천연 색소원으로 이용하기 위한 일련의 연구를 시도하였다. 그 결과 우렁쟁이 껍질은 다량의 카로테노이드를 함유할 뿐만 아니라 일부 천연 색소에서 문제가 되고 있는 독성으로 인한 성장저해가 일어나지 않아 인공합성색소를 대체할 수 있는 우수한 천연 색소원으로서의 가능성 뿐만 아니라 육색개선을 위한 최적농도 및 투여기간을 밝힌바 있다 (Lee et al., 1994a, b). 그러나 어류사육을 위해 사용한 색소는 유기용매로서 추출한 색소를 사용하였기 때문에 추출후의 껍질 처리문제는 역시 남게 되었다. 그래서 본 실험에서는 우렁쟁이의 껍질 속에 포함돼 있는 색소 뿐만 아니라 껍질전체 (단백질 40.26%, 탄수화물 40.16%; Lee et al., 1994a)를 완전히 사료원으로 이용하기 위하여 불소화물로 알려져 있는 껍질(튜니신)을 일단 효소처리한 다음 껍질의 효소가수분해물을 무지개송어에게 먹이로 주어 무지개송어의 육색개선을 통한 품질향상을 시도하고자 하였다.

재료 및 방법

실험어

사판사료 (퓨리나 사제)로써 2주간 예비사육한 체중 350 g의 무지개송어를 사용하였으며, 각 실험구마다 20마리씩 수용하였고, 각 실험구는 duplicate로 하였다.

사육실험

사육실험은 1995년 3월 8일부터 5월 7일까지 12주간 경상대학교 수산대학 어류양식 실험실에서 행하였으며, 사육장치는 유수식을 겸한 순환여과식 사육장치로서 계속적인 보충수의 첨가에 의하여 어류의 배설물이 즉시 사육조 밖으로 유출될 수 있도록 하였다. 사육조의 크기는 직경 1.7 m, 수심 0.9 m (수량 2톤)의 원형 FRP탱크였으며, 이때 주수량은 10 l/min였으며, 용존산소량은 7 ppm 전후였고, 전 사육기간을 통하여 수온은 11.0~17.2°C (평균 14.5°C)였다. 사료의 공급은 체중의 1%에 해당하는 양을 하루 3회, 주 7일 먹이로

주었고, 어체중은 2주 간격으로 측정하였다.

사료제조

사료조성은 Table 1에 나타난 바와 같다. 어분은 미국산 백색어분을 사용하였고, 어유는 국내시판용 피드오일 (이화유지 사제)을 사용하였다. 우렁쟁이 껍질로부터의 색소 추출은 Lee et al. (1994a, b)에 준하였고, 색소원의 첨가량과 astaxanthin의 함량 계산과 결정도 이들 자료를 근거로 하였다. 분말은 건조한 우렁쟁이 껍질을 파쇄기 (Hanaki's Crown Co., Tokyo, Japan)에 먼저 분쇄한 다음 분쇄기 (Han Kook Machinery Co., Seoul, Korea)를 이용하여 분말을 만들었다. 효소가수분해물은 분말을 사용하여 고압솥 (121°C)에서 20시간 가열·가압한 다음 식힌 후 복합효소 (viscozyme : celluclast=1 : 1, Novo(주))를 전보 (Choi et al., 1995)와 같이 첨가하여 가수분해시킨 후 사료원료와 혼합하여 펠렛을 제조하였다. 우렁쟁이 색소추출물은 일정량의 에탄올에 녹여서 사료원료에 첨가하여 혼합기를 이용하여 30분간 균일하게 혼합한 후 펠렛사료를 제조하였다. Carophyll pink는 수입시판용 (Hoffman La-Roche, Basal, Switzzland)인 인공합성색소로서 사료중의 astaxanthin 함량이 40 ppm이 되도록

Table 1. Formulation of the basal diets for rainbow trout feeding

Ingredient	Percent
White fishmeal	68
Alpha-starch	12
Flour	10
Yeast	1
Mineral mixture ¹	1
Vitamin mixture ²	2
Feed oil	2
Soybean meal	4

¹ Vitamins added to supply the following levels (mg/kg unless otherwise stated); thiamin, 50; riboflavin, 60; d-calcium pantothenate, 200; biotin, 1; folic acid 20; vitamin B₁₂; niacin, 250; pyridoxine, 40; ascorbic acid, 1000; inositol, 400; vitamin A, 8000 IU; vitamin D, 2400 IU; vitamin E, 300 IU and vitamin K 40 IU, respectively.

² Minerals added to supply the following levels; (mg/kg) manganese, 50; iron, 60; zinc, 120; copper, 25.

2. 우렁쉥이 껍질의 효소 가수분해물이 무지개 송어의 착색 및 성장에 미치는 효과

Table 2. Levels of each pigment source in the experimental diets for rainbow trout feeding

Division	Pigment source	Content, g/kg in diet (Astaxanthin basis, mg/kg)
Diet 1	Control ¹	0.0(0)
Diet 2	Carophyll pink	0.8(40)
Diet 3	Tunic acetone extracts	1.6(80)
Diet 4	Tunic enzymatic hydrolysates	100.0(80)
Diet 5	Tunic powder	100.0(80)

¹ The levels of astaxanthin were not measured.

하였다 (Storebakken et al., 1986). 제조한 실험사료는 소량 단위로 비닐포장하여 질소충진하여 -20℃의 냉장고에 보관하면서 실험에 사용하였다.

색소함량 측정

실험어의 육과 표피를 분리하여 육은 일정량을 homogenizer (15,000 rpm, 3분)에 아세톤을 용매로 마쇄하였고, 표피는 그대로 아세톤에 침지하여 하루밤 방치하였다. 각각 3회 반복 추출하고 이들 에테르층으로 전용시킨 후 농축하였다. 총카로테노이드 함량은 Mec-Beth (1972)의 방법에 따라 최대흡광도 480 nm에서 벤젠을 용매로 흡광계수 E 1% 1cm=2,400으로 계산하였다. 육 및 표피 중 astaxanthin 획득의 분리 및 동정은 HPLC로 하였다.

HPLC 분석조건

육 및 표피 중의 카로테노이드 분석은 HPLC double pump 시스템을 사용하였다. 칼럼은 3.9×300 mm의 μPorasil silica 칼럼을 사용하였고, 흡광도는 LKB UVM 2141 uv-visible spectrophotometer로 470 nm에서 측정하였다. 용매는 1% isopropanol/hexane으로 0.8 ml/min씩 흘리면서 astaxanthin diester가 용출되면 1% isopropanol/hexane을 1.2 ml/min씩 5분간 흘린 후 isopropanol 농도를 5%로 증가시켜서 25분간 유지하였다. 그런 후 isopropanol을 25%로 증가시켜서 55분간 유지하다가 β-carotene 유도체가 모두 용출되면 (약 70분) 10분 후에 처음 용매 조건으로 변화시켰다. 표준 astaxanthin의 retention time과 비교하여 동정하였다.

지질 및 지방산조성의 분석

Folch (1957)법에 따라 실험어의 육과 간지질을 추출하였다. 총지질의 극성 및 비극성의 분획은 Juaneda and Rocquelin (1985)방법에 준하여, SEP-PAK silica cartridge (Waters Association, Milford, MA)를 사용하였다.

지방산 조성은 약 100 mg의 총지질을 정평하여 1N KOH 95% ethanol용액으로 검화한 다음, 검화물에 10% BF₃-methanol을 3 ml 가하여 95℃에서 30분간 환류 가열하여 지방산 methylester 시료를 조제하였다. 이것을 capillary column (Supelcowax-10 fused silica wall-coated open-tubular column, 30 m×0.25 mm i.d. Supelco Japan Ltd., Tokyo)이 장착된 GC (Shimadzu GC-14A)로써 분석하였다. 지방산 조성의 분석조건은 injector 및 detector (FID) 온도 각각 250℃, column 온도는 210℃로 하였고, carrier gas는 헬륨(1.5 kg/cm³)을 사용하였으며, split ratio는 1:50으로 하였다. 각 지방산의 동정은 표준품의 retention time (RT)과 비교하였으며, 표준품이 없는 지방산은 GC-Mass로서 동정된 Menhaden fish oil를 2차 표준품으로 사용하여 동정하였다.

성장도 측정

성장도는 체중의 증가, 사료효율, 알일성장률로서 비교하였으며, 계산방법은 Table 3에 나타내었다. 각 실험구간의 성장차는 Duncan's New Multiple Range (DNMR) test (Duncan, 1955)로 유의차를 검정하였다.

결과 및 고찰

성장도

성장결과는 Table 3 및 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 대조구는 평균체중 350 g에서 8주 후에는 847 g으로 성장하였고, pink구도 평균체중 350 g에서 8주 후에 850.5 g으로 대조구와 비슷한 성장을 하였으나, 색소 추출물구는 평균체중 385 g에서 967.1 g으로 성장하여 실험구 중에서 가장 빠른 성장을 나타내었다. 효소처리구는 평균체중 375 g에서 866.2 g으로 성장하여 대조구와 차이가 없었으나, 우렁쉥이 껍질 분말첨가구

Table 3. Result of the rearing experiment for rainbow trout from 8 March to 7 May, 1995

Division	Stocking(g)		Yield(g)		Gain(g)	Feed intake(g)	F.C. ¹	DGR(%) ²
	Weight(No)	Mean	Weight(No)	Mean				
1	7,000(20)	350	16,940(20)	847.0	9,940	13,230	1.33	1.449 ^b
2	7,000(20)	350	17,010(20)	850.5	10,010	13,293	1.32	1.456 ^{bc}
3	7,700(20)	385	19,342(20)	967.1	11,642	14,192	1.22	1.510 ^c
4	7,500(20)	375	17,243(20)	866.2	9,743	13,420	1.38	1.365 ^b
5	7,800(20)	390	15,478(20)	773.9	7,678	12,686	1.65	1.123 ^a

¹ Feed efficiency. Feed intake/(Wt-Wo), Wt=Woe^g(Stickney, 1979), Wt; weight of fish at time t, Wo; the initial weight, e; the natural logarithm, g; the growth coefficient or daily growth rate.

² Daily growth rate(%). Values not sharing a common superscript letter are significantly different at P<0.05.

는 모든 실험구에 대해서 성장이 떨어졌다. 사료계수에 있어서도 대조구, pink구 및 효소처리구에서는 거의 차이가 없었으나, 추출물구는 1.22로 가장 좋았으며, 껍질구는 1.65로서 가장 저조한 성적을 나타내었다. Fig. 1에서 볼 수 있는 것처럼 사육 2주까지는 모든 실험구에서 체중의 차이가 거의 없었으나, 6주후부터는 색소추출물구가 다른구에 비해서 성장이 빠른 반면 분말첨가구가 성장이 가장 늦었다. 이러한 결과는 Lee et al. (1994a)의 실험결과와도 잘 일치한다. 색소성분이 성장에 미치는 실험으로서는 Torissen (1986)이 30 mg/kg의 canthaxanthin 및 astaxanthin을 첨가한 사료로서 대서양 연어치어를 사육한 결과 누적성장률에서도 색소첨가구가 무첨가구보다도 유의차가 확인되었다고 보고하고 있다. 또 astaxanthin의 생리효과에 관한 예로서는 Katsuyama and Matsuno (1988)에 의한 프로비타민A의 효과, Miki et al. (1984)에 의한 참돔의 난질개선효과 (총산란수, 부상난수, 부화자어수, 정상자어수의 개선)가 있다고 보고하였다. 본 실험의 결과는 이와 같이 어류에 있어서 카로테노이드의 생리효과를 뒷받침하고 있다. 그러나 같은 색소첨가구 하더라도 천연색소첨가구가 인공합성 astaxanthin의 단독 첨가구 (pink구)보다는 성장이 월등히 빨랐다. 이점에 대해서 좀더 고찰해 보면, 인공합성 astaxanthin과 천연색소의 가장 큰 차이점은 인공합성 astaxanthin은 단독의 색소성분이고 천연색소 추출물은 여러 가지의 색소가 복합되어 있고, 특히 우렁쟁이 껍질의 색소의 절반이상을 haloxanthin (Choi et al., 1994a)이 차지하고 있다. 천연 asta-

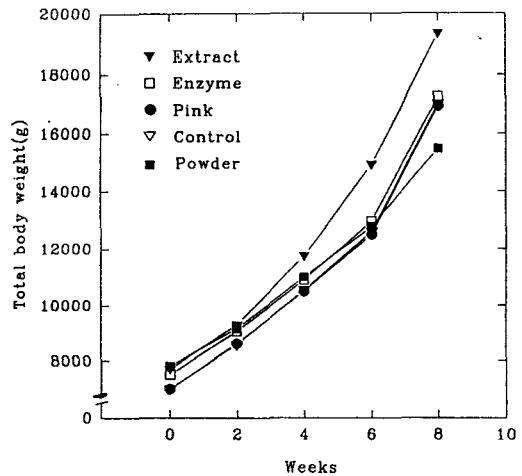


Fig. 1. Growth curves of the rainbow trout experimented.

Extract: Tunic acetone extracts
Enzyme: Tunic enzymatic hydrolysates
Pink: Commercial carophyll pink
Powder: Tunic powder

xanthin 색소원으로 남극크릴 (Mathews-Roth, 1987)과 효모, *Phaffia rhodozyma* (Chew, 1990)를 이용했을 경우 단순한 육색개선의 효과 외에도 섭취유인효과 및 성장촉진효과를 가지고 있다고 발표한 점으로 보아 우렁쟁이 껍질의 천연색소 성분도 단순한 색소개선제로서의 효과 외에 항산화제, 면역증강, 섭취유인효과 및 성장촉진 등의 복합적인 카로테노이드의 생리효과를 나타냈다고 생각된다. 이러한 측면에서 볼 때 실제 어류양식시에 단순한 색소개선제 보다는 천연색소원의 사용이 바람직하다고 생각된다.

2. 우렁쉥이 껍질의 효소 가수분해물이 무지개 송어의 착색 및 성장에 미치는 효과

Table 4. The level of pigment in muscle and skin of rainbow trout

	(mg/100g tissue)							
	0 week		4 weeks		8 weeks		12 weeks	
	Total	Asta ¹	Total	Asta	Total	Asta	Total	Asta
Muscle								
Diet 1	0.0038	0.0010	0.0199	0.0010	0.0242	0.0131	0.0338	0.0161
Diet 2	0.0038	0.0010	0.0340	0.0237	0.0654	0.0493	0.1272	0.0550
Diet 3	0.0038	0.0010	0.0341	0.0228	0.0744	0.0372	0.1256	0.0535
Diet 4	0.0038	0.0010	0.0308	0.0179	0.0579	0.0280	0.1192	0.0521
Diet 5	0.0038	0.0010	0.0192	0.0116	0.0455	0.0196	0.0469	0.0205
Skin								
Diet 1	0.0347	0.0135	0.0747	0.0277	0.1432	0.0567	0.2498	0.0919
Diet 2	0.0347	0.0135	0.1478	0.0968	0.2425	0.1484	0.5432	0.3270
Diet 3	0.0347	0.0135	0.1630	0.0985	0.3149	0.1899	0.6132	0.3458
Diet 4	0.0347	0.0135	0.1046	0.0661	0.2017	0.1244	0.5493	0.2709
Diet 5	0.0347	0.0135	0.0922	0.0576	0.1623	0.0799	0.2688	0.0820

¹ Astaxanthin.

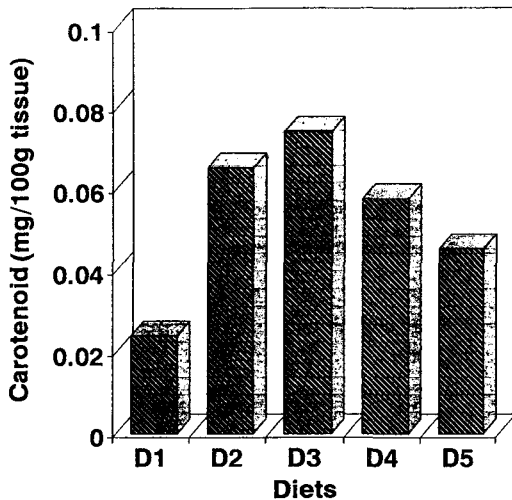


Fig. 2. Carotenoid contents in the rainbow trout the muscle after 8 weeks feeding with various diets containing ascidian tunic pigments.

D1: Control
 D2: Tunic acetone extracts
 D3: Tunic enzymatic hydrolysates
 D4: Commercial carophyll pink
 D5: Tunic powder

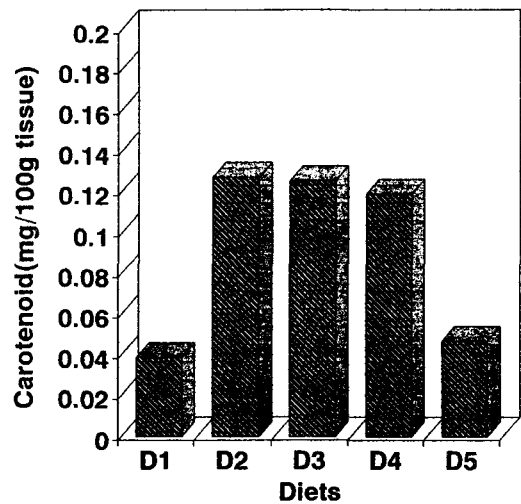


Fig. 3. Carotenoid contents in the rainbow trout the muscle after 12 weeks feeding with various diets containing tunic pigments.

D1: Control
 D2: Tunic acetone extracts
 D3: Tunic enzymatic hydrolysates
 D4: Commercial carophyll pink
 D5: Tunic powder

색소함량의 변화

각 실험구에서 4주간격으로 채취한 육 및 표피로부터 색소를 추출하여 흡광도를 측정 한 결과는 Table 4

와 같다.

육의 색소의 함량은 실험초기에 0.0038 mg/100 g이 었으나, 4주후에는 3구 (색소추출물구)가 색소의 축적

량이 가장 많아 0.0341 mg/100 g, 8주후에는 0.0744 mg/100 g, 12주후에는 0.1256 mg/g으로 pink구와 비슷한 수준 였다. 효소추출물구에서는 8주후에는 0.0579 mg/100 g으로 추출물구에 비해서 약간 떨어졌으나, 12주후에는 0.1192 mg/100 g으로 pink구 및 추출물구와 비슷한 수준으로 되었다 (Fig. 2 and 3). 효소처리구의 색소침착이 색소추출물구나 pink구 보다는 늦어지는데 대해서는 이유가 명확하지 않다. 다만, 섭이 기간이 4주간 더 연장되었을 때는 추출물구와 동일수준으로 되었기 때문에, 실제 우렁쉥이 껍질을 효소처리해서 무지개송어의 색소원으로 사용할 때는 추출물이나 인공합성 색소보다는 사료급이 기간을 약간 연장하거나, 첨가량을 증가시켜서 이러한 문제점을 해결할 수 있으리라 생각된다. 즉, 연어류의 어육내에서의 카로테노이드 색소의 축적은 사료의 조성과 색소의 함량 및 투여기간에 따라 달라지기 때문이다 (Prince, 1916; Abdul-Malak et al., 1975; Torrison, 1986). 대개 체중이 증가함에 따라 색소의 잔류효율도 상대적으로 증가하게 되며, 투여기간이 짧을 때는 투여량을 어느 한도까지는 증가시키는 것이 바람직하지만 색소의 소화효율은 사료에 포함된 양이 증가함에 따라 감소하는 경향이 있으므로 일정량 이상의 카로테

노이드를 사료에 혼합 투여하는 것은 색소의 낭비를 초래하게 된다고 하였다 (Torrison, 1986). 그러나, 효소추출물의 경우에는 분말첨가구와는 달리 성장이 저하되지 않았기 때문에 사료에의 첨가가 가능하리라 생각된다. 천연색소의 경우에는 색소함량이 증가함에 따라 육중 축적이 계속되었기 때문에 (Lee et al., 1994 b), 추후 단시간 내에 축적을 위한 효소분해물의 첨가수준과 색소의 소화율에 관한 연구도 병행되어야 된다고 생각된다.

분말첨가구는 모든 실험구에 비해서 가장 낮은 색소 침착도를 나타내었기 때문에 우렁쉥이 껍질을 그대로 사용하는 것은 문제가 있는 것으로 나타났다. 색소 침착뿐만 아니라 성장도에서도 대조구에 비해서 떨어졌다. 이러한 결과는 소형치어의 경우와도 일치한다 (Lee et al., 1994a).

표피의 색소의 함량은 전체적으로 육에 비해서 월등히 높았으며, 육에서의 색소축적과 같은 경향을 나타냈다. Pink구와 추출물첨가구가 가장 높은 수준을 나타냈으며, 효소처리구에서는 8주까지는 pink구와 추출물구에 비해서 약간 낮은 수준이었으나, 12주 후부터는 이들 실험구와 동일한 수준으로 육의 색소침착과 같은 경향을 나타냈다.

Table 5. Lipid contents of TL, NL and PL of experimental fish

	(g/100g sample)											
	0 week			4 weeks			8 weeks			12 weeks		
	TL	NL	PL	TL	NL	PL	TL	NL	PL	TL	NL	PL
Muscle												
Diet 1	0.47	0.37	0.10	0.99	0.80	0.19	2.33	1.86	0.47	4.85	3.76	1.09
Diet 2	0.47	0.37	0.10	2.79	2.17	0.62	4.33	3.26	0.97	8.00	5.93	2.07
Diet 3	0.47	0.37	0.10	2.60	2.02	0.58	3.93	3.05	0.88	7.46	5.62	1.84
Diet 4	0.47	0.37	0.10	2.24	1.81	0.43	3.42	2.69	0.73	5.37	4.09	1.28
Diet 5	0.47	0.37	0.10	2.20	1.78	0.42	2.62	2.08	0.54	4.65	3.64	1.01
Liver												
Diet 1	0.84	0.58	0.26	1.96	1.42	0.55	3.06	2.12	0.94	4.24	2.86	1.38
Diet 2	0.84	0.58	0.26	2.16	1.28	0.88	3.56	2.36	1.18	6.89	4.33	2.56
Diet 3	0.84	0.58	0.26	2.67	1.96	0.71	3.64	2.43	1.21	6.26	3.94	2.32
Diet 4	0.84	0.58	0.26	2.07	1.44	0.63	3.39	2.28	1.11	4.88	3.16	1.72
Diet 5	0.84	0.58	0.26	1.53	1.10	0.43	3.11	2.15	0.96	4.15	2.76	1.39

TL, total lipid; NL, neutral lipid; PL, phospholipid.

2. 우렁쉥이 껍질의 효소 가수분해물이 무지개 송어의 착색 및 성장에 미치는 효과

지질 및 지질class 변화

총지질, 비극성지질 및 극성지질의 변동은 Table 5에 나타낸 바와 같다. 육과 간에 있어서 총지질의 수준은 사육기간이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타냈다. 비극성지질과 극성지질의 수준도 총지질과 같이 동일한 경향을 나타내었으며, pink구와 추출물구에서 다른 실험구에 비해서 함량이 높았으며, 대조구와 분말첨가구는 함량이 가장 낮았으며, 효소처리구는 이들의 중간 값을 나타내었다. 색소의 침착 정도와 과지질과의 상관관계에 대해서는 현재 논란의 여지가 많이 있으나, 본 실험의 결과에서는 색소침착이 많은 추출물구, pink구 및 효소처리구의 지질함량이 대조구와 분말구에 비해서 높았기 때문에 색소의 침착과 지질함량 사이에는 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

육에 있어서 지방산 조성의 변화

각종 사료급이에 따른 실험어의 육에 있어서 지방산 조성의 변화를 Table 6, 7 및 8에 나타냈다.

시료중의 포화지방산의 조성은 4주후 대조구 (diet 1)가 25.25%, pink구 (diet 2)가 28.76%, 색소추출물구 (diet 3)가 30.86%, 효소처리구 (diet 4)가 31.05%, 분말첨가구 (diet 5)가 29.85%로 나타났다. 8주후에는 대조구를 제외한 모든 실험구에서 거의 변화가 없었다. 12주후에는 pink구, 추출물구 및 효소처리구에서는 포화지방산의 조성이 낮아지는 반면에 대조구와 분말첨가구에서는 증가하였다. 포화지방산중 16:0의 함량이 가장 높았고, 18:0가 다음 순이었다.

모노엔산 (monoenoic fatty acids)의 조성은 4주후 대조구에서 가장 높아 37.16%였고, pink구, 추출물구, 효소처리구 및 분말첨가구에서는 27.56%, 28.88%, 24.59% 및 25.85% 수준으로 대조구보다는 낮은 값을 나타냈다. 12주후에는 pink, 추출물구 및 효소처리구는 대조구에 비해 거의 10% 이상 높은 조성을 나타냈다. 분말첨가구에서는 다른 실험구와는 달리 대조구와 거의 같은 수준이었다. 모노엔산중 18:1n-9의 함량이 가장 높았고, 16:1n-9 (16:1n-7포함) 등이 주된

Table 6. Fatty acid composition(% total fatty acids) of total lipid from rainbow trout muscle after feeding for 4 weeks*

Fatty acid	Diet 1	Diet 2	Diet 3	Diet 4	Diet 5
16 : 0	17.14 ± 0.54	21.44 ± 0.20	22.35 ± 0.42	21.51 ± 0.35	21.02 ± 0.27
16 : 1n-9+7	4.89 ± 0.14	5.71 ± 0.06	6.94 ± 0.53	5.80 ± 0.12	5.57 ± 0.11
18 : 0	6.32 ± 0.16	4.59 ± 0.04	6.39 ± 0.94	6.73 ± 0.31	6.63 ± 0.13
18 : 1n-9	28.51 ± 0.44	17.54 ± 0.42	17.45 ± 0.56	14.61 ± 0.21	15.48 ± 0.84
18 : 2n-6	9.30 ± 0.11	12.38 ± 0.24	11.30 ± 0.53	11.78 ± 0.18	11.36 ± 0.38
18 : 3n-3	0.86 ± 0.06	0.74 ± 0.01	0.72 ± 0.04	0.85 ± 0.10	0.81 ± 0.05
20 : 4n-6	1.32 ± 0.03	1.60 ± 0.21	1.38 ± 0.06	1.54 ± 0.01	1.73 ± 0.08
20 : 5n-3	2.24 ± 0.19	2.61 ± 0.04	2.38 ± 0.10	2.51 ± 0.03	3.04 ± 0.12
22 : 6n-3	18.82 ± 0.89	20.87 ± 0.05	20.06 ± 0.48	21.68 ± 0.08	21.41 ± 0.32
Total n-3	23.25	25.89	24.46	26.56	26.97
Total n-6	13.21	16.62	15.13	16.23	15.93
Ratio n-3/n-6	1.76	1.56	1.62	1.64	1.69
Total sat.	25.25	28.76	30.86	31.05	29.85
Total unsat.	74.74	71.16	69.17	68.78	70.17
Ratio sat./unsat.	0.34	0.40	0.45	0.45	0.43
Total mono.	37.16	27.56	28.88	24.59	25.85
Total PUFA	37.58	43.60	40.29	44.19	44.32

*The data for tables 6~11 are the mean ± standard deviation of three determination.

Table 7. Fatty acid composition(% total fatty acids) of total lipid from rainbow trout muscle after feeding for 8 weeks

Fatty acid	Diet 1	Diet 2	Diet 3	Diet 4	Diet 5
16 : 0	13.50 ± 0.36	23.31 ± 0.46	23.83 ± 0.85	23.54 ± 0.79	21.43 ± 0.18
16 : 1n-9+7	3.26 ± 0.19	7.75 ± 0.08	6.36 ± 0.09	6.46 ± 0.33	6.84 ± 0.16
18 : 0	5.23 ± 0.22	2.98 ± 0.07	4.67 ± 0.48	5.54 ± 0.48	5.69 ± 0.84
18 : 1n-9	17.14 ± 0.10	13.29 ± 0.56	12.66 ± 0.24	16.12 ± 0.53	16.56 ± 0.16
18 : 2n-6	11.02 ± 0.10	10.59 ± 0.77	12.35 ± 0.12	10.33 ± 0.27	11.02 ± 0.33
18 : 3n-3	0.55 ± 0.09	0.67 ± 0.05	1.02 ± 0.18	0.69 ± 0.07	0.66 ± 0.01
20 : 4n-6	2.89 ± 0.09	0.79 ± 0.08	1.24 ± 0.02	1.72 ± 0.07	1.35 ± 0.03
20 : 5n-3	4.40 ± 0.14	2.02 ± 0.04	3.06 ± 0.13	2.72 ± 0.09	2.65 ± 0.05
22 : 6n-3	29.74 ± 0.30	20.83 ± 0.19	20.06 ± 0.50	20.46 ± 0.12	20.99 ± 0.47
Total n-3	36.64	24.94	26.11	25.48	25.77
Total n-6	17.27	13.32	16.03	14.69	14.87
Ratio n-3/n-6	2.12	1.87	1.63	1.73	1.73
Total sat.	20.56	29.31	31.37	31.53	30.36
Total unsat.	78.77	65.20	68.32	68.50	62.81
Ratio sat./unsat.	0.26	0.45	0.46	0.46	0.48
Total mono.	23.96	26.21	25.10	27.28	21.29
Total PUFA	54.81	38.99	43.22	41.22	41.52

Table 8. Fatty acid composition(% total fatty acids) of total lipid from rainbow trout muscle after feeding for 12 weeks

Fatty acid	Diet 1	Diet 2	Diet 3	Diet 4	Diet 5
16 : 0	22.28 ± 0.35	18.47 ± 0.02	21.60 ± 0.22	21.78 ± 0.09	25.10 ± 0.74
16 : 1n-9+7	7.29 ± 0.02	8.95 ± 0.25	7.21 ± 0.05	8.12 ± 0.04	9.01 ± 0.30
18 : 0	7.07 ± 0.12	6.28 ± 0.03	3.69 ± 0.22	3.30 ± 0.15	5.73 ± 0.29
18 : 1n-9	18.05 ± 0.48	25.14 ± 0.09	30.97 ± 0.56	30.37 ± 0.51	16.05 ± 0.85
18 : 2n-6	11.44 ± 0.09	11.75 ± 0.23	10.68 ± 0.10	10.36 ± 0.24	12.44 ± 0.02
18 : 3n-3	1.60 ± 0.10	0.89 ± 0.06	0.75 ± 0.04	0.93 ± 0.02	0.98 ± 0.20
20 : 4n-6	0.74 ± 0.01	0.64 ± 0.06	0.59 ± 0.01	0.74 ± 0.08	0.74 ± 0
20 : 5n-3	2.67 ± 0.30	2.50 ± 0	1.96 ± 0.11	1.85 ± 0.04	2.42 ± 0.02
22 : 6n-3	15.34 ± 0.03	10.47 ± 0.20	10.08 ± 0.41	10.90 ± 0.08	13.17 ± 0.06
Total n-3	20.87	14.42	14.38	15.30	17.90
Total n-6	13.76	14.30	12.81	12.48	15.20
Ratio n-3/n-6	1.52	1.01	1.12	1.23	1.18
Total sat.	31.48	27.24	27.40	27.26	33.52
Total unsat.	68.53	71.87	72.60	72.73	66.45
Ratio sat./unsat.	0.46	0.38	0.38	0.37	0.50
Total mono.	33.16	41.90	44.41	43.89	32.07
Total PUFA	37.37	29.97	28.19	28.84	34.38

2. 우렁쉥이 껍질의 효소 가수분해물이 무지개 송어의 착색 및 성장에 미치는 효과

지방산이었다. 모든 실험구에서 사육기간에 관계없이 18:2n-6가 10% 이상을 차지하였다.

고도불포화지방산 (polyunsaturated fatty acids)의 조성은 4주후 대조구가 가장 낮은 수준을 나타내었고, pink구, 추출물구, 효소처리구 및 분말첨가구에서는 43.60%, 40.29%, 44.19% 및 43.12였다. 12주후에는 대조구와 분말첨가구가 다른 실험구에 비해서 약간 높은 34.38%를 차지하였다. Nicolaides and Woodall (1962)는 리놀산 (18:2n-6)과 리놀렌산 (18:3n-3)의 비교 실험에서 리놀산이 chinook 연어의 착색에 영향을 준다고 보고하였으나, 본 실험에서는 이들 지방산과 육색의 착색에는 상관관계가 없었다. 고도불포화지방산 중에는 22:6n-3 (DHA)가 전사육 기간을 통하여 가장 높은 수준을 나타내었다.

간에 있어서 지방산 조성의 변화

사료급이에 따른 실험어의 간에 있어서 지방산 조성의 변화를 Table 9, 10 및 11에 나타냈다.

시료중의 포화지방산의 조성은 4주후 대조구 (diet 1)가 27.06%, pink구 (diet 2)가 27.82%, 색소추출물

구 (diet 3)가 27.44%, 효소처리구 (diet 4)가 26.67%, 분말첨가구 (diet 5)가 25.42%로 나타났다. 8주후에는 모든 실험구에서 26.10%~27.41%로 거의 변화가 없었다. 12주후에도 31.05%~35.82%로서 거의 변화가 없었다. 포화지방산 중 지방산의 종류로서는 16:0의 함량이 가장 높았고, 18:0가 다음 순이었으며, 이는 Kang at al. (1994)의 결과와 일치하였다.

모노엔산의 조성은 4주후 분말첨가구에서 가장 높아 19.03%였고, 대조구, pink구, 추출물구 및 효소처리구에서는 17.30%, 15.87%, 16.36% 및 18.93% 수준으로 육에서의 조성보다는 현저히 낮은 수준을 나타냈다. 8주후에는 대조구에서는 16.87%로 가장 낮은 수준을 나타냈으나, 그외의 실험구에서는 28.92%~31.45%로서 높은 수준을 나타냈다. 12주후에는 분말첨가구에서 다른 실험구와는 달리 25.85%로서 가장 낮은 수준였다. 모노엔산중 18:1n-9의 함량이 가장 높았고, 16:1n-9 (16:1n-7포함) 등이 주된 지방산였다.

고도불포화지방산의 조성은 4주후 모든 실험구에서 거의 비슷한 수준으로 절반 이상을 차지하였다

Table 9. Fatty acid composition(% total fatty acids) of total lipid from rainbow trout liver after feeding for 4 weeks

Fatty acid	Diet 1	Diet 2	Diet 3	Diet 4	Diet 5
16 : 0	19.22 ± 0.45	19.60 ± 0.36	19.69 ± 0.37	18.78 ± 0.10	17.72 ± 0.44
16 : 1n-9+7	3.61 ± 0.48	3.31 ± 0.05	3.67 ± 0.09	4.44 ± 0.20	4.61 ± 0.15
18 : 0	6.86 ± 0.16	7.14 ± 0.11	7.17 ± 0.23	6.81 ± 0.46	6.70 ± 0.11
18 : 1n-9	11.07 ± 0.41	9.99 ± 0.06	9.91 ± 0.38	12.76 ± 0.19	11.49 ± 0.58
18 : 2n-6	6.04 ± 0.29	6.86 ± 0.73	6.24 ± 0.14	5.97 ± 0.01	5.82 ± 0.18
18 : 3n-3	0.39 ± 0.11	0.32 ± 0.01	0.41 ± 0.20	0.34 ± 0.09	0.37 ± 0.16
20 : 4n-6	4.97 ± 0.01	4.67 ± 0.10	5.77 ± 0.24	5.26 ± 0.07	5.61 ± 0.52
20 : 5n-3	3.23 ± 0.08	3.62 ± 0.19	3.66 ± 0.16	3.35 ± 0.39	3.13 ± 0.56
22 : 6n-3	34.98 ± 0.72	33.99 ± 1.21	33.98 ± 0.50	33.75 ± 0.17	34.96 ± 0.64
Total n-3	39.80	39.05	39.11	38.63	39.58
Total n-6	14.40	16.02	15.82	14.46	14.86
Ratio n-3/n-6	2.76	2.44	2.47	2.67	2.66
Total sat.	27.06	27.82	27.44	26.67	25.42
Total unsat.	72.84	72.08	72.23	73.32	74.92
Ratio sat./unsat.	0.37	0.39	0.38	0.36	0.34
Total mono.	17.30	15.87	16.36	18.93	19.03
Total PUFA	55.54	56.21	55.87	54.39	55.89

Table 10. Fatty acid composition(% total fatty acids) of total lipid from rainbow trout liver after feeding for 8 weeks

Fatty acid	Diet 1	Diet 2	Diet 3	Diet 4	Diet 5
16 : 0	20.90 ± 0.55	19.02 ± 0.63	18.48 ± 0.45	18.69 ± 0.29	19.63 ± 0.63
16 : 1n-9+7	3.33 ± 0.16	5.38 ± 0.24	4.78 ± 0.12	5.57 ± 0.08	5.69 ± 0.14
18 : 0	5.29 ± 0.18	5.90 ± 0.21	6.75 ± 0.44	6.63 ± 0.18	5.30 ± 0.16
18 : 1n-9	10.51 ± 0.79	21.99 ± 0.79	20.57 ± 0.19	18.91 ± 0.16	20.01 ± 0.70
18 : 2n-6	6.32 ± 0.24	4.76 ± 0.08	4.52 ± 0.33	4.87 ± 0.31	4.16 ± 0.18
18 : 3n-3	0.15 ± 0.05	0.26 ± 0.05	0.37 ± 0.07	0.10 ± 0.01	0.38 ± 0.04
20 : 4n-6	4.91 ± 0.14	3.20 ± 0.10	3.39 ± 0.16	3.82 ± 0.04	2.86 ± 0.04
20 : 5n-3	2.90 ± 0.06	2.09 ± 0.11	2.53 ± 0.05	2.30 ± 0.20	1.95 ± 0.04
22 : 6n-3	35.45 ± 0.69	27.78 ± 0.56	27.83 ± 0.74	29.52 ± 0.69	30.72 ± 0.56
Total n-3	39.83	30.66	32.02	32.80	33.73
Total n-6	14.68	10.77	10.80	11.32	9.39
Ratio n-3/n-6	2.71	2.85	2.96	2.90	3.59
Total sat.	27.41	26.10	26.49	26.19	26.18
Total unsat.	72.39	73.88	73.55	74.17	73.81
Ratio sat./unsat.	0.38	0.35	0.36	0.35	0.35
Total mono.	16.87	31.45	29.77	28.92	29.70
Total PUFA	55.52	42.43	43.78	45.25	44.11

Table 11. Fatty acid composition(% total fatty acids) of total lipid from rainbow trout liver after feeding for 12 weeks

Fatty acid	Diet 1	Diet 2	Diet 3	Diet 4	Diet 5
16 : 0	20.65 ± 0.32	21.78 ± 0.29	20.10 ± 0.03	25.78 ± 0.19	23.38 ± 0.60
16 : 1n-9+7	7.28 ± 0.53	6.08 ± 0.07	7.54 ± 0.40	7.87 ± 0.18	5.75 ± 0.12
18 : 0	9.43 ± 0.01	10.85 ± 0.61	9.34 ± 0.34	8.47 ± 0.23	8.98 ± 0.53
18 : 1n-9	26.82 ± 0.10	22.80 ± 0.19	25.86 ± 0.62	16.42 ± 0.76	12.38 ± 0.98
18 : 2n-6	6.23 ± 0	4.71 ± 0.08	4.28 ± 0.22	4.81 ± 0.23	6.34 ± 0.02
18 : 3n-3	0.68 ± 0	0.38 ± 0.06	0.19 ± 0.02	0.20 ± 0.02	0.67 ± 0.02
20 : 4n-6	1.30 ± 0.10	1.76 ± 0	1.42 ± 0.06	1.92 ± 0.05	2.25 ± 0.02
20 : 5n-3	1.28 ± 0.10	1.60 ± 0.07	1.53 ± 0.06	1.99 ± 0.16	2.61 ± 0.02
22 : 6n-3	13.62 ± 0.25	20.01 ± 0.87	18.27 ± 0.31	22.41 ± 0.02	25.85 ± 0.04
Total n-3	17.46	24.55	21.10	25.44	30.77
Total n-6	10.02	8.14	8.26	9.03	11.97
Ratio n-3/n-6	1.74	3.02	2.55	2.82	2.57
Total sat.	31.59	34.19	31.05	35.82	33.70
Total unsat.	68.41	66.58	68.91	64.17	66.30
Ratio sat./unsat.	0.46	0.51	0.45	0.56	0.51
Total mono.	39.84	32.98	38.49	29.01	5.85
Total PUFA	28.57	33.60	30.42	35.16	43.45

2. 우렁쉥이 껍질의 효소 가수분해물이 무지개 송어의 착색 및 성장에 미치는 효과

(54.39%~56.21%). 8주후 대조구를 제외하고는 모든 실험구에서 10%정도로 감소하는 경향을 나타냈다. 12주후에는 분말첨가구가 다른 실험구에 비해서 현저히 높은 43.45%를 차지하였다. 고도불포화지방산 중에는 22:6n-3(DHA)가 전사육 기간을 통하여 가장 높은 수준을 나타내었다. 그러나, 전체적으로 보아 총지질의 경우와는 달리 특정 지방산이 육색의 착색에 관여하거나, 착색의 정도사이에 상관관계는 볼 수 없었다.

요 약

FDA에서 인공합성착색제의 사용을 금지함에 따라 천연착색제의 탐색을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 양식어류의 천연착색제 개발을 목적으로 우렁쉥이 껍질성분을 이용하기 위한 연구를 실시한 결과, 우렁쉥이 껍질 색소추출물이 인공합성 착색제인 carophyll pink보다 뛰어난 성장 및 착색효과를 나타낸다는 것을 밝혔다. 한편 본 연구에서는 우렁쉥이 껍질은 동물이 소화하기 힘든 튜니신으로 구성되어 있기 때문에 색소 뿐만 아니라 우렁쉥이 껍질 전체를 직접사료에 첨가하여 이용할 수 있는 방법을 찾고자 껍질분말을 고열가압 한 시료에 다당류 분해효소를 첨가하여 분해시킨 후 이들 분해산물을 무지개송어에 급여하여 체색개선 및 성장을 검토한 결과는 다음과 같다.

1. 무지개송어 사육결과 일일성장률은 색소첨가구가 가장 높아 1.51%였으며, 대조구와 pink구는 비슷하였으며, 껍질분말구는 대조구를 포함한 다른실험구에 비하여 성장이 둔화된 것으로 나타나 마쇄된 분말을 그대로 사료에 혼합하는 것은 곤란한 것으로 나타났다.

2. 효소처리구는 대조구 및 pink구와 성장이 비슷하였고, 분말처리구보다는 성장이 뛰어났으므로 우렁쉥이 껍질의 효소처리는 사료원으로서의 가치를 가지고 있다.

3. 효소처리구의 육색의 색소함량은 8주까지는 색소추출물구와 pink구에 비해서 낮았으나, 12주째부터는 거의 동일한 수준으로 되었다.

4. 육 및 간의 총지질함량을 살펴보면 사육개시시 0.47 g/100 g 및 0.84/100 g 이었으나, 12주후에는 pink

구가 8.00 g/100 g 및 6.89 g/100 g 이었고, 추출물구는 7.46 g/100 g 및 6.26 g/100 g으로서, 육색의 착색정도 및 지질의 함량사이에 상관관계가 있었다. 극성지질의 함량은 전 사육 기간을 통하여 육 지질의 경우 20~26% 전후였으나, 간 지질의 경우 30~37%를 차지하였다.

5. 육의 착색에 특정 지방산이 관여하거나, 육의 색소함량과 지방산 사이에는 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

사 사

본 연구의 사료제조에 필요한 어유를 제공해 주신 이화유지공업주식회사(부산광역시 사하구 신평동 370-7)에 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

- Abdul-Malak, N., G. Zwingelstein, J. Jouanneteau and J. Koenig. 1975. Influence de certains facteurs nutritionnels sur la pigmentation de la truite arcenciel par la cantaxanthine. *Ann. Nutr. Alim.*, 29, 459~475.
- Duncan, D. B. 1955. Multiple range and multiple F test. *Biometrics*, 11, 1~42.
- Chew, B. P. 1990. β -Carotene and vitamin A nutrition on animal health. *Nutr. Inst.*, 1~8.
- Choi, B.-D., S.-J. Kang and K.-H. Lee. 1996. Quality improvement of rainbow trout with pigment and enzymatic hydrolyzates of ascidian tunic: 1. Chemical specificity of ascidian tunic enzymatic hydrolyzates. *J. Korean Fish. Soc.*, 29, 345~356 (in Korean).
- Folch, J., M. Lee and G. A. Sloane-Stanley. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from tissues. *J. Biol. Chem.*, 226, 497~509.
- Juaneda, P. and G. Rocquelin. 1985. Rapid and convenient separation of phospholipids and non-

- phosphorous lipids from rat heart using silica cartridge. *Lipids*, 20, 40~41.
- Katsuyama, M. and T. Matsuno. 1988. Carotenoid and vitamin A, and metabolism of carotenoid, β -carotene, cantaxanthin, astaxanthin, zeaxanthin, lutein and tunaxanthin in tilapia, *Tilapia nilotica*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 90B, 131~139.
- Lee, K. H., S. J. Kang, B. D. Choi, Y. J. Choi and M. G. Youm. 1994a. Utilization of ascidian (*Halocythia roretzi*). 1. Effect of ascidian tunic extracts on pigmentation and growth of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Bull. Korean Fish. Soc.*, 27, 232~239 (in Korean).
- Lee, K. H., S. J. Kang, B. D. Choi, Y. J. Choi and M. G. Youm. 1994b. Utilization of ascidian (*Halocythia roretzi*). 2. Optimum level of carotenoid extracts from ascidian tunic for the pigmentation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Bull. Korean Fish. Soc.*, 27, 240~246 (in Korean).
- Choi, B. D., S. J. Kang, Y. J. Choi, M. G. Youm and K. H. Lee. 1994c. Utilization of ascidian (*Halocythia roretzi*). 3. Carotenoid compositions of ascidian tunic. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 27, 344~350 (in Korean).
- Choi, B. D., S. J. Kang, Y. J. Choi, M. G. Youm and K. H. Lee. 1994d. Utilization of ascidian (*Halocythia roretzi*). 4. The stability of ascidian tunic extracts. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 27, 351~356 (in Korean).
- Kang, S. J., B. D. Choi, Y. J. Choi, M. G. Youm and K. H. Lee. 1994e. Utilization of ascidian (*Halocythia roretzi*). 5. Feeding effect of ascidian tunic extracts on liver lipid of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Bull. Korean Fish. Soc.*, 27, 445~453 (in Korean).
- Lovell, T. 1992. Dietary enhancement of color in ornamental fish. *Aquaculture magazine*, 18, 77~79.
- Mathews-Roth, M. M. 1987. Photoprotection by carotenoids. *Fed. Proc.*, 46, No. 5, 1890~1893.
- Miki, W., K. Yamaguchi, S. Konosu and T. Watanabe. 1984. Metabolism of dietary carotenoids in eggs of red sea bream. *Comp. Biochem. Physiol.*, 77B, 665~668.
- MecBeth, T.W. 1972. Carotenoids from nudibranchs. *Comp. Biochem. Physiol.*, 41B, 55~68.
- Nicolaides, N. and A. N. Woodall. 1962. Impaired pigmentation in chinook salmon fed diets deficient in essential fatty acids. *J. Nutrition*, 78, 431~437.
- Prince, E.E. 1916. On the red color of the flesh in salmon and trouts. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 46, 50~61.
- Spinelli, J., L. Lehman and D.H. Wieg. 1974. Composition, processing and utilization of red crab (*Pleuroncodes planipes*) as a aquacultural ingredients. *J. Fish. Res. Board Can.*, 31, 1025~1029.
- Spinelli, J. and C. Mahnken. 1978. Carotenoid deposition in pen-reared salmonids fed diets containing oil extracts of red crab (*Pleuroncodes planipes*). *Aquaculture*, 13, 213~223.
- Stickney, R. R. 1979. Principle of warmwater aquaculture, R.R. Stickney, ed. A Wiley-Interscience Pub., John Wiley & Sons, New York, pp. 463~538.
- Storebakken, T., P. Foss, I. Huse, A. Wandsvik and T. Berg Lea. 1986. Carotenoids in diets for salmonids. III. Utilization of cantaxanthin from dry and wet diets by Atlantic salmon, rainbow trout and sea trout. *Aquaculture*, 51, 245~255.
- Torissen, O.J. 1985. Pigmentation of salmonoids: factors affecting carotenoid deposition in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture*, 50, 133~142.
- Torissen, O.J. 1986. Pigmentation of salmonoids a comparison of astaxanthin and cantaxanthin as pigment sources for rainbow trout. *Aquaculture*, 68, 305~310.

1995년 11월 22일 접수

1996년 5월 4일 수리