

호염세균 (*Haloarcula* sp. EH-1) 카로테노이드 색소를 섭취한 무지개송어의 체색효과

†정 영 기 · ¹최 병 대 · ¹강 석 중 · ¹김 철 우 · 김 해 윤 · 정 명 주
동의대학교 미생물학과, ¹경상대학교 해양생물이용학부/해양산업연구소
(접수 : 2000. 11. 14., 게재승인 : 2000. 12. 20.)

Effect of Pigmentation on Rainbow Trout Fed Carotenoid Diets from Halophilic Bacteria (*Haloarcula* sp. EH-1)

Yong-Kee Jeong†, Byeong-Dae Choi¹, Seok-Joong Kang¹, Cheol-Woo Kim¹, Hae-Yun Kim, and Myung-Ju Jung
Department of Microbiology, Dongeui University, Pusan 614-714, Korea
¹Division of Marine Bioscience/Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea
(Received : 2000. 11. 14., Accepted : 2000. 12. 20.)

This study is aimed at evaluating the pigmentation of rainbow trout with carotenoid extracts from halophilic bacteria during 8 weeks feeding. Proximate composition of the sample were analyzed. Moisture content was 77% and 73% after 4 and 8 weeks feeding, respectively. Crude protein and lipid content was slowly increased after 8 weeks feeding. But minerals content were not affected with the feeding period and constituents. Muscle carotenoids content of rainbow trout was 0.0223 mg/100g tissue in control group after 4 weeks, and 0.1702 mg/100g tissue in carophyll pink group after 8 weeks. The carotenoids pigmentation content of halophilic bacteria extracts fed group was 0.1256, 0.1382 mg/100g tissue after 8 weeks. It means that the carotenoids of bacteria extracts are a good material for fish pigmentation. The main components of rainbow trout muscle and integuments with these diets were canthaxanthin, zeaxanthin, and β -carotene.

Key Words : halophilic bacteria, carotenoids, TLC, HPLC

서 론

카로테노이드는 현재 약 600여종이 밝혀져 있으며 대표적인 천연색소물질로 식물의 엽록체에 클로로필과 일정한 비율로 공존하여 광합성에 간접적으로 관여하고 있으며, 동물표피, 육, 난, 간장 등에도 존재한다: 녹색식물, 곰팡이, 효모, 버섯 및 세균 등이 만들어 내는 황색 혹은 적색 그리고 자색의 polyene 색소로 자연계에서 약 1억 톤/년 생산되고 있는 막대한 자원으로 카로테노이드의 산업적 이용은 매우 중요하다(1). 식품에 포함된 카로테노이드는 lutein, zeaxanthin 및 canthaxanthin 등이 주성분이며, 이들은 암 발생을 억제하고 강력한 항산화성을 나타낼 뿐만 아니라 동물의 번식 촉진, 성장률 개선, 질병발생 억제, 어류의 체색개선 등 유용한 기능을 나타내는 것으로 알려지고 있어 의약품, 사료, 건강식품

등에 이용가치가 클 것으로 기대되어 진다(2).

1953년 스위스의 Roche사에 의해 β -carotene이 공업적으로 합성되기 시작하여 현재는 여러 종류의 합성품이 생산되고 있으며, 공업적으로 생산된 카로테노이드는 각종 가공식품, 음료수 등과 축 육, 계란, 연어류 등의 착색제로 이용되고 있다. 연어의 육색은 붉은색 계통의 핑크빛으로 소비자들의 상품가치 결정의 기준이 되며, 연어류가 붉은색을 띠는 것은 먹이에 함유된 카로테노이드에 기인되기 때문이다(3). 특히 astaxanthin과 astaxanthin esters가 야생 연어류의 주된 카로테노이드 색소이며 동물성 플랑크톤을 먹이로 섭취함으로써 채색이 되는 것으로 알려져 있다(4).

양식산 연어류의 체색개선제로 이용되는 astaxanthin과 canthaxanthin 혹은 이들 화합물의 혼합물은 매우 효과적이기 때문에 대부분의 양식장에서 사용되어지고 있다. 그러나 이들 화합물의 소비자 가격이 높아(총 사료비용의 10~15%) 저렴한 가격의 체색개선물질의 탐색이 이루어지고 있다(5). 예를 들면 새우 폐기물(6), krill 분말(7), paprika(8), 계 껍질추출물(8), 붉은색 효모 *Phaffia rhodozyma*(9), 효모 *Rhodotorula sanneii*(10), 꽃 *Adonis aestivalis*(11) 및 녹조류 *Haematococcus*

†Corresponding Author : Department of Microbiology, Dongeui University, Pusan 614-714, Korea
Tel : +82-51-890-1534, Fax : +82-51-894-0840
E-mail : ykjeong@hyomin.dongueui.ac.kr

Table 1. Composition of the experimental diets

Ingredient	Percentage
White fish meal	68
Alpha-starch	12
Flour	10
Soybean meal	4
Yeast	1
Vitamin mix ^a	2
Mineral mix ^a	1
Feed oil	2
Total	100

^aVitamin and mineral mixture were commercially available for fish.

Table 2. Level of each pigment sources in the experimental diets for rainbow trout

Diet No.	Pigment sources	g/kg diet(ppm)
1	Control ^a	0.0 (0)
2	Carophyll pink ^b	1.0(80)
3	Ascidian tunic extracts(pigments) ^c	1.6(80)
4	Haloarcular extracts I(pigments) ^d	0.18(40)
5	Haloarcular extracts II(pigments) ^e	0.35(80)

^aThe levels of astaxanthin were not measured. ^bAstaxanthin 8% (Hoffman La-Roche, Switzerland). ^cAscidian tunic acetone extracts. ^{d,e}*Haloarcular* acetone extracts.

pulvialis(12) 등을 이용한 체색개선 실험이 진행되었다. 그러나 이들을 직접 사료용 첨가물로 이용하는데 있어 세포벽이 단단하여 물질추출이나, 섭이시 소화 흡수의 문제가 제기되어 상용화되지는 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 실험은 해양으로부터 분리한 호염성 세균 *Haloarcular* sp. EH-1(13)을 배양하여 이 세균으로부터 추출한 카로테노이드 색소를 이용하여 무지개송어 체색개선의 효과를 살펴보고자 하였다.

재료 및 방법

사육실험

시판사료로 2주간 예비 사육한 평균체중 100 g의 무지개송어를 사용하였으며, 각 실험구 마다 10마리씩 수용하였고, 각 실험구는 duplicate로 하였다. 사육실험은 2000년 5월 2일부터 7월 1일까지 8주간 경상대학교 어류양식 실험실에서 행하였으며, 사육장치는 유수식을 겸한 순환여과식 사육장치로서 계속적인 보충수의 첨가에 의하여 어류의 배설물이 즉시 사육조 밖으로 유출될 수 있도록 하였다. 사육조는 직경 90×45×45 cm(수심 30 cm)의 사각 유리수조를 사용하였으며, 이 때 주수량은 6 L/min였으며, 용존산소량은 7 ppm 전후였고, 전 사육기간을 통하여 수온은 18.6℃(평균 20.0℃)였다. 급이는 체중의 3%에 해당하는 양을 하루 3회 급이하였다.

사료제조

사료조성은 Table 1 및 2에 나타낸 바와 같다. 어분은 미국 산 백색어분을 사용하였고, 어유는 국내시판용 피드오일

을 사용하였다. 색소원의 첨가량과 astaxanthin의 함량계산은 Lee 등(14)에 근거하여 제조하였다. 우렁쉥이 색소추출물은 일정량의 에탄올에 녹여서 사료원료에 첨가하여 혼합기를 이용하여 30분간 균일하게 혼합한 후 펠렛 사료를 제조하였다. Carophyll pink는 수입시판용(Hoffman La-Roche, Basal, Switzzland)인 인공합성색소로서 사료 중의 astaxanthin 함량이 80 ppm이 되도록 하였다(15). 제조한 실험사료는 소량 단위로 비닐 포장하여 질소 충전하여 -20℃의 냉장고에 보관하면서 실험에 사용하였다.

총 카로테노이드의 추출 및 정량

사육된 무지개송어는 육 및 껍질로 분리하고, 껍질은 바로 acetone에 침지하였고, 육은 acetone 일정량을 가하여 마쇄기(Handy homogenizer, T25-S1, Germany)로 잘 마쇄하여 실온, 암소에 하룻밤 방치한 다음 색소 성분을 추출, 여과하였다. 이 조작을 3회 반복하여 시료로부터 색소를 충분히 용출시켰다. 여과된 acetone 추출물을 회전진공증발 농축기로 40℃ 이하에서 농축하여 100 mL로 정용하였다. 총 카로테노이드 함량은 acetone을 control 용매로하여 460 nm에서 McBeth(16)의 방법에 따라 UV-spectrophotometer(Shimadzu UV-160A, Tokyo, Japan)로 측정하였고 흡광계수는 $E_{1\%}^{1\text{cm}}=1,900$ 으로 계산하였다.

카로테노이드의 분석 및 동정

추출된 색소 추출물은 회전진공증발 농축기로 40℃ 이하에서 완전히 농축하였다. 농축물에 2 mL의 hexane을 첨가하여 Silica SEP-PAK column(Waters Millipore Co., Miliford, USA)에서 분리하였다. TG(triglyceride)를 분리하기 위하여 약 8 mL의 hexane을 용출시키고, 카로테노이드 색소는 약 40 mL의 acetone으로 용출시켰다. 용출된 색소 추출물은 질소 기류 하에서 농축한 다음, 200 μL의 acetone에 용해시켜 HPLC 분석에 이용하였다.

육 및 표피 중의 카로테노이드 분석은 HPLC(Pharmacia LKB, Uppsala, Sweden)를 사용하였다. 칼럼은 4.0~250 mm의 Sumichiral OA-2000(Sumika Chemical Ltd., Osaka, Japan)을 사용하였고, 흡광도는 LKB UVM 2141 UV-visible spectrophotometer로 460 nm에서 측정하였다. 용매는 hexane:dichloromethane:ethanol(50:20:0.5, v/v/v)를 사용하여 1.0 mL/min씩 용출시키면서 분석하였다. 각 peak의 동정은 흡수극대치, column chromatography, HPLC retention time, 표품과의 co-TLC, co-HPLC 등을 비교하여 동정하였다(17,18).

결과 및 고찰

사육어의 성장과정, 일반성분 및 색소함량의 변화

호염성 세균으로부터 추출한 색소추출물을 섞어 사료를 조제한 후 하루 3회씩 어체중의 3.0%를 급이하였다. 사육기간 중 수온은 20℃ 전후, 용존산소량 7 ppm으로 수질상태는 양호하였다. 무지개송어를 15℃ 전후의 온도에서 사육할 때 성장 및 색소침착이 좋은 것으로 알려져 있는(19) 바와 같이, 본 실험의 결과도 15℃에서 6주간 사육하였을 때 육 색소 함량이 우수하였으나, 5℃에서 18주간 사육하였을 때도 색소함

Table 3. Proximate composition of rainbow trout fed with various diets

Component	(g/100g muscle)									
	4 weeks					8 weeks				
	Diet ^a 1	Diet 2	Diet 3	Diet 4	Diet 5	Diet 1	Diet 2	Diet 3	Diet 4	Diet 5
Moisture	75.9	78.3	77.0	78.2	77.1	72.7	73.8	71.7	72.7	71.4
Crude protein	19.1	17.0	18.3	17.7	19.2	21.6	22.1	23.3	23.1	23.7
Crude lipid	3.9	3.7	3.7	3.2	2.9	4.4	3.0	3.8	3.2	4.0
Ash	1.1	1.0	1.0	0.9	0.8	1.3	1.1	1.1	1.0	0.9

a: See Table 2 for details.

Table 4. Carotenoid concentration in flesh and integuments of rainbow trout fed with various diets

	(mg/100g tissue)			
	4 weeks		8 weeks	
	Flesh	Integuments	Flesh	Integuments
Diet ^a 1	0.0223	0.2166	0.0241	0.2270
Diet 2	0.1681	0.3098	0.1702	0.4306
Diet 3	0.1289	0.2649	0.1514	0.3018
Diet 4	0.1234	0.2215	0.1256	0.2559
Diet 5	0.1268	0.2596	0.1382	0.2930

a: See Table 2 for details.

량이 이와 비슷한 효과를 나타내었으며, 또한 모든 구에서 사료에 대한 급이 반응은 양호하였다.

평균체중 100 g의 무지개송어를 8주간 사육한 후 육 일정량을 채취하여 일반성분을 분석한 결과를 Table 3에 나타내었다. 사육 4주 후 수분함량은 대조구(Diet 1)가 약 76%, pink구(Diet 2), 우렁쟁이 껍질 색소추출물구(Diet 3) 및 세균 색소추출물 I, II구(Diet 4, 5)는 77~78%로 거의 차이가 없었다. 조단백질의 함량도 17~19%로 급이구에 따른 변화는 없었으나, 지질의 함량은 세균 색소추출물구가 약간 낮아 3.2%, 2.9%였으나, 대조구, pink구, 우렁쟁이 껍질 색소추출물구는 3.7~3.9%였다. 총 무기질의 함량은 0.8~1.1%로 차이가 없었다. 사육 8주 후 수분함량은 71~74%로 4주 후보다 감소한 경향인 반면, 조단백질의 함량은 세균 색소추출물 II구가 24%로 가장 높았고, 대조구, pink구가 각각 22%로 약간 낮았다. 조지질 함량은 대조구가 약간 증가하는 경향이었지만, 세균 색소추출물 II구가 가장 큰 변화를 나타내어 4.0%였다. 총무기질의 함량은 큰 변화가 없었다.

세균 색소추출물, 우렁쟁이 껍질 색소추출물 및 carophyll pink 등을 첨가한 실험구의 색소함량의 변화를 Table 4에 나타내었다. 실험전 예비 사육된 무지개송어의 육 및 껍질 중의 색소함량은 각각 0.0045, 0.0184 mg/100g이었다. 무지개송어 육 색소함량의 변화를 살펴보면 4주 후 대조구가 0.0223 mg/100g, pink구와 우렁쟁이 껍질 색소추출물구는 각각 0.1681, 0.1289 mg/100g으로 세균 색소추출물구보다 약간 높은 함량을 나타내었다. 사육 8주 후 대조구는 0.0241 mg/100g이었으나, pink구가 0.1702 mg/100g으로 체색개선효과가 가장 뛰어난 것으로 나타났다. 대조구의 카로테노이드 축적이 낮은 것은 사료에 카로테노이드 함량이 극히 낮기 때문이다. 우렁쟁이 껍질 추출물구와 세균 색소추출물 I, II구는 각각 0.1514, 0.1256 및 0.1382 mg/100g으로 나타나 색소 추출물에

의한 색소 침착은 정상적으로 이루어졌던 것으로 생각되어진다. No와 Storebakken(20) 및 Torrissen 등(3)에 의하면 100 mg cantaxanthin/kg을 12주 급이하었을 때 0.64 mg/100g 축적되며, 시장에서 소비자의 구매의욕을 높일 수 있는 육색 중의 카로테노이드 색소함량은 0.6 mg/100g 정도라 하여 이 함량에 도달할 때까지의 사육에 따른 경제성을 분석하여야 할 것으로 여겨진다.

무지개송어 껍질 중 색소함량 변화는 4주 후 대조구는 0.2166 mg/100g이었고, pink구는 0.3098 mg/100g으로 우렁쟁이 껍질 색소추출물구나 세균 색소추출물구보다는 높게 나타났다. 8주 후 대조구는 약간 증가하였고, pink구가 가장 높아 0.4306 mg/100g 이었다. 우렁쟁이 껍질 색소추출물구가 0.3018 mg/100g, 세균 색소추출물구가 각각 0.2559, 0.2930 mg/100g으로 이들 구에서도 색소 침착이 원할했던 것으로 나타났으며, 첨가량이 증가할수록 축적량은 높은 것으로 나타났다. 그러나 Choubert와 Luquet(21) 등에 따르면 카로테노이드는 장내에서 소화흡수되는 동안 쉽게 분해되어 축적량이 감소되므로 카로테노이드의 산화적 분해를 억제할 수 있는 항산화제를 함께 사용하여야 한다고 하였지만 본 실험결과 첨가량의 증가에 따라 축적량은 증가하는 것으로 나타났다.

양식된 무지개송어 육 중의 색소 함량은 크기에 따라 크게 영향을 받아 0.1~0.5 kg의 송어는 6~7 mg/kg을 축적할 수 있으며, 더 큰 송어는 25 mg/kg까지 축적할 수 있다고 하였다(22). Arhtar 등(5)의 보고에 의하면 cantaxanthin 38.2 mg/kg을 7개월 급이하었을 때 4개월 후 0.59 mg/100g, 7개월 후 0.79 mg/100g 축적된다고 하였으나, 카로테노이드 함량이 339.0 mg/kg의 paprika oleoresin을 급이하었을 경우 4개월 후 0.31 mg/100g, 7개월 후에도 비슷한 0.32 mg/100g이 축적된다고 하여 카로테노이드 복합물보다는 단일성분이 축적효율이 높다고 하였다. 이와 같은 결과로 미루어볼 때 호염세균으로부터 추출한 색소를 체색개선제로 이용하기 위해서는 좀 더 정제하여 가능한 단일성분의 형태로 가공하여야 경제성을 가질 수 있을 것으로 여겨진다.

사육시험 4, 8주 후 육 및 표피 중에 함유된 카로테노이드 조성비를 Table 5, 6에 각각 나타내었다. 사육 4주 후 육 중 조성의 변화를 살펴보면, 대조구의 경우 canthaxanthin 72.33%, β -carotene 10.85%였고, pink구는 zeaxanthin 50.51%, canthaxanthin 34.34%, β -carotene 5.03%였다. 그러나 우렁쟁이 껍질 색소추출물구, 세균 색소추출물 첨가구 I, II는 각각 canthaxanthin 73.43%, 64.62%, 63.78%로 높은 함량을 나타내었다. 사육 8주 후 육 중 조성비는 대조구의 경우 β -carotene의 함량은 줄어들고 상대적으로 canthaxanthin이 82.72%로 증가하였고, 세

Table 5. Carotenoid composition of muscle from rainbow trout after 8 weeks of feeding

	Relative area percentages of absorbance at 460 nm				
	Diet ^a 1	Diet 2	Diet 3	Diet 4	Diet 5
After 4 weeks					
β-carotene	10.85	5.03	5.09	8.24	7.30
Isocryptoxanthin	3.99	2.61	1.70	2.76	5.77
Echinenone	4.07	2.28	1.31	6.93	8.49
α-Cryptoxanthin	6.02	3.30	6.79	5.30	9.50
Canthaxanthin	72.33	34.34	73.43	64.62	63.78
Lutein	-	1.02	1.30	-	-
Zeaxanthin	-	50.51	2.47	-	-
After 8 weeks					
β-carotene	2.76	2.75	2.78	2.62	2.48
Isocryptoxanthin	2.39	0.78	2.31	2.88	2.99
Echinenone	0.38	1.31	1.23	5.58	0.69
α-Cryptoxanthin	7.81	2.47	6.25	4.88	5.24
Canthaxanthin	82.72	29.57	71.28	76.12	81.94
Lutein	-	1.58	2.03	-	-
Zeaxanthin	-	55.82	7.43	-	-

a: See Table 2 for details.

Table 6. Carotenoid composition of integuments from rainbow trout after 8 weeks of feeding

	Relative area percentages of absorbance at 460 nm				
	Diet ^a 1	Diet 2	Diet 3	Diet 4	Diet 5
After 4 weeks					
β-carotene	48.12	31.49	53.94	47.98	42.45
Isocryptoxanthin	3.76	7.30	14.37	0.24	2.09
Echinenone	3.89	3.54	-	-	-
α-Cryptoxanthin	10.28	19.70	8.73	8.48	7.47
Canthaxanthin	9.02	5.79	7.00	5.72	4.03
Lutein	-	-	-	-	-
Zeaxanthin	-	10.50	-	-	-
After 8 weeks					
β-carotene	63.97	39.89	43.89	48.90	41.73
Isocryptoxanthin	6.89	0.97	4.93	9.91	7.43
Echinenone	2.38	1.54	1.99	2.03	2.60
α-Cryptoxanthin	8.02	26.37	12.53	3.19	5.30
Canthaxanthin	7.84	7.01	12.43	9.05	8.25
Lutein	-	0.82	-	-	-
Zeaxanthin	-	15.38	-	-	-

a: See Table 2 for details.

균 색소추출물구에서도 canthaxanthin의 조성비가 76.12%, 81.94%로 각각 나타났다. 이는 먹이에 함유된 β-carotene이 isocryptoxanthin을 경유하여 canthaxanthin으로 대사되는 것으로 추정되며, Matsuno 등(22)이 연어류인 japanese char, brook trout, lake trout, masu trout, red-spotted masu trout, rainbow trout 및 brown trout를 사육하면서 카로테노이드 조성을 조사한 결과 red-spotted masu 및 rainbow trout 육 중 canthaxanthin의 함량이 증가되었다는 결과와 일치하여 무지개송어는 canthaxanthin의 축적이 높은 것으로 여겨진다.

Pink구, 우렁쉥이 껍질 색소추출물구의 경우 canthaxanthin의 함량은 29.57%, 71.28%로 약간 감소한 반면, isozeaxanthin은 1.58%, 2.03%, zeaxanthin은 55.82%, 7.43%로 각각 나타나

육 중 색소침착이 일어나는 것으로 여겨졌다. 특히 pink구는 free astaxanthin이 8% 함유된 구로 사육 4주후부터 astaxanthin이 triol을 경유하여 zeaxanthin으로 축적됨을 보여주고 있다. Ha 등(17)은 무지개송어에 astaxanthin을 함유한 먹이를 급여하였을 때 lutein을 첨가한 구보다 카로테노이드 축적량이 증가하였으며, astaxanthin이 zeaxanthin으로 대사되어 zeaxanthin의 함량이 증가하였다는 결과와 일치하고 있다.

사육 4주 후 표피 중의 카로테노이드 조성의 변화를 살펴 보면, β-carotene 함량은 우렁쉥이 껍질 색소추출물구가 53.94%로 가장 높았고, 대조구, 세균 추출물 I, II구가 48.12%, 47.98%, 42.45%로 각각 나타났다. 그러나 육 중 카로테노이드 조성비와는 달리 표피 중의 canthaxanthin의 함량은 매우

났다 4~9% 전후로 나타났다. 그리고 8주 후 각 실험구의 β -carotene 함량도 높은 수준을 유지하고 있어 무지개송어의 경우 사육 일수가 증가될수록 표피 중 β -carotene 함량은 증가되며 사료유래의 oxo 원자단을 함유한 카로테노이드의 공급량이 많을수록 흡수가 빠르다는 결과(6)와 잘 일치하고 있었다. 그러나 pink구의 경우는 8주 후 β -carotene의 함량이 낮은 대신 α -cryptoxanthin, zeaxanthin의 함량이 높았다. 이는 Ando와 Hatano(24)가 연어 사육 중 astaxanthin은 환원적 대사과정을 거쳐 zeaxanthin으로 전환된다는 보고로 미루어 볼 때 사료유래의 astaxanthin이 zeaxanthin으로 대사되어 가고 있음을 추정할 수 있었다.

요 약

호염성 세균에서 추출한 색소를 사료에 일정량 혼합하여 사육시킨 무지개송어의 일반성분 조성 중 수분함량은 사육 4주 후 77%, 8주 후 73% 내외였다. 조단백질의 함량은 4주 후보다 8주 후가 증가된 양상을 보였다. 조지방의 경우도 8주 후 약간 증가하는 경향이 있었다. 그러나 무기질의 함량에는 큰 변화가 없었다. 무지개송어 육 중 카로테노이드 함량은 4주 후 대조구에서 0.0223 mg/100g인 반면, 8주 후 pink구에서는 0.1702 mg/100g으로 대조구에 비하여 색소 첨가구에서의 함량이 높게 나타났다. 세균 색소추출물의 첨가구는 8주 후 0.1256, 0.1382 mg/100g으로, pink구나 우렁쉥이 껍질 색소추출물구 0.1702, 0.1514 mg/100g에 비하여 색소함량이 다소 낮았지만 색소침착을 저해하는 경향은 아니었다. 무지개송어 육 중 축적되는 색소의 조성은 급이 되는 사료의 조성에 따라 차이가 있지만 사육 4 및 8주 후 canthaxanthin의 함량이 가장 높았으며, astaxanthin 첨가구는 zeaxanthin의 함량이 가장 높았다. 그리고 표피 중의 색소 조성비는 급이 4 및 8주 후 β -carotene의 함량이 가장 높았고, canthaxanthin의 함량은 낮아 육 및 표피 중의 색소침착은 급이되는 먹이의 카로테노이드 조성에 따라 달랐으며, 세균 색소추출물의 첨가도 무지개송어 체색개선에 도움이 되는 것으로 나타났다.

감 사

본 연구는 해양수산부에서 시행한 1997년도 해양수산 특정 연구 개발사업 과제인 첨단해양수산기술개발사업에 의해 수행된 연구결과이며 연구비를 지원해 주신 해양수산부에 심심한 사의를 표합니다.

REFERENCES

1. Macrae, R., Robinson, R.K. and Sadler, M.J. : *Encyclopedia of food science and technology*. Academic Press, London, p.293 (1992)
2. Gerster, H. : Anticarcinogenic effect of common carotenoids. *Internat. J. Vit. Nutr. Res.*, **63**, 93-121 (1993)
3. Torrissen, O.J., Hardy, R.W. and Shearer, K.D. : Pigmentation of salmonids-carotenoid deposition and metabolism. *CRC Crit. Rev. Aquat. Sci.*, **1**, 209-225 (1989)
4. Foss, P., Storebakken, T., Schiedt, K., Liaaen-Jensen, S.,

- Austreng, E. and Streiff, H. : Carotenoids in diets for salmonids. I. Pigmentation of rainbow trout with the individual optical isomers of astaxanthin in comparison with canthaxanthin. *Aquaculture*, **41**, 213-226 (1984)
5. Akhtar, P., Gray, J.I., Cooper, T.H., Garling D.L. and Booren, A.M. : Dietary pigmentation and deposition of α -tocopherol and carotenoids in rainbow trout muscle and liver tissue. *J. Food Sci.*, **64**, 234-239 (1999)
6. Schiedt, K., Leuenberger, F.J., Vecchi, M. and Glinz, E. : Absorption, retention and metabolic transformations of carotenoids in rainbow trout, salmon and chicken. *Pure Appl. Chem.*, **57**, 685-692 (1985)
7. Kotik, L.V., Tolokonnikov, G.Y. and Dubrovin, V.N. : The effect of krill meal additions to feeds of muscle pigmentation in the rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *J. Ichthyol.*, **19**, 119-123 (1979)
8. Peterson, D.H., Jager, H.K. and Savage, G.M. : Natural coloration of trout using xanthophylls. *Trans. Am. Fish Soc.*, **95**, 408-414 (1966)
9. Gentles, A. and Haard, N. : Bioavailability in *Phaffia rhodozyma*. In *Advances in Fisheries Technology and Biotechnology for Increased Profitability*. Botta, J.R. and Voigt, M.N. (ed.), Technomic Publ., Lancaster, PA, p.373-386 (1990)
10. Juoko, E., Savolainen, T. and Gyllenberg, H.G. : Feeding of rainbow trout with *Rhodotorula sarnii* preparations. III. Amounts and qualities of carotenoids. *Lebensm. Wiss. Technol.*, **3**, 18-20 (1970)
11. Kamata, T., Tanaka, Y., Yamada, S. and Simpson, K. L. : Study of carotenoid composition and fatty acid of astaxanthin diester in rainbow trout *Salmo gairdneri* fed the *Adonis* extract. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **56**, 789-794 (1990)
12. Choubert, G. and Heinrich, O. : Carotenoid pigments of the green algae *Haematococcus pulvisalis*: assay on rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, pigmentation in comparison with synthetic astaxanthin and canthaxanthin. *Aquaculture*, **112**, 217-236 (1993)
- 13.
14. Lee, K.H., Kang, S.J., Choi, B.D., Choi, Y.J. and Youm, M.G. : Utilization of ascidian(*Halocynthia roretzi*) tunic 2. Optimum level of carotenoid extracts from ascidian tunic for the pigmentation of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Bull. Korean Fish. Soc.* **27**, 240-246 (1994)
15. Storebakken, T., Foss, P., Huse, I., Wandisvik, A. and Berg Lea, T. : 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 (1986)
16. MecBeth, T.W. : Carotenoids from Nudibranchs. *Comp. Biochem. Physiol.* **41B**, 55-68 (1972)
17. Choi, B.D., Kang, S.J., Jeong, S.H., Kim, H.Y. and Jeong, Y.G. : Characteristic components of carotenoids in halophilic bacteria(*Haloarcula* sp. EH-1). submitted (2000)
18. Ha, B.S., Kweon, M.J., Park, M.Y., Baek, S.H., Kim, S.Y., Back, I.O. and Kang, S.J. : Comparison of dietary carotenoids metabolism and effects to improve the body color of cultured fresh-water fishes and marine fishes. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **26**, 270-284 (1997)
19. No. H.K. and Storebakken, T. : Pigmentation of rainbow trout with astaxanthin at different water temperatures. *Aquaculture*, **97**, 203-216 (1991)
20. No. H.K. and Storebakken, T. : Pigmentation of rainbow

- trout with astaxanthin and cantaxanthin in freshwater and saltwater. *Aquaculture*, **101**, 123-134 (1992)
21. Choubert, G. and Luquet, P. : Cantaxanthin content of mixed feed as affected by pelleting and storage; consequences on digestibility and pigmentation of the rainbow trout. *Ann. Zootech.*, **28**, 145-157 (1979)
 22. Storebakken, T. and No, H.K. : Pigmentation of rainbow trout. *Aquaculture*, **100**, 209-229 (1992).
 23. Matsuno, T., Nagata, S., katsuyama, M., matsutaka, H., Maoka, T. and Akita, T. : Comparative biochemical studies of carotenoids in fishes-XVIII. Carotenoids of cultured fishes, japanese char, brooktrout, lake trout, masu trout, red-spotted masu trout, rainbow trout and brown trout. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **46**, 473-478 (1980)
 24. Ando, S. and Hatano, M. : Metabolic pathways of carotenoids in chum salmon *Oncorhynchus keta* during spawning migration. *Comp. Biochem. Physiol.*, **87B**, 411-416 (1987)