

배합사료에 색소원료 첨가가 참전복 치패의 성장 및 패각 색깔에 미치는 영향

임태준 · 이상민*
강릉대학교 해양생명공학부

Effect of Dietary Pigment Sources on the Growth and Shell Color of Abalone (*Haliotis discus hannai*)

Tae-Jun LIM and Sang-Min LEE*

Faculty of Bioscience and Technology, Kangnung National University, Gangneung 210-702, Korea

This study investigated the effect of dietary pigment sources on growth and shell color of juvenile abalone (*Haliotis discus hannai*). Three replicate groups of the abalone (average weight 173 mg) were fed diets containing various pigment sources such as *Porphyra* powder, *Spirulina*, yeast astaxanthin, and paprika extract for 16 weeks. Survival and weight gain were not affected by dietary pigment sources ($P>0.05$). Shell color of abalone fed diets containing *Porphyra* powder and *Spirulina* approached the yellow-red and orange, colors similar to wild abalone. However, shell color of abalone fed the diets containing yeast astaxanthin and paprika extract were similar to the bright green control group. These results should be useful for changing the shell color of abalone in aquaculture.

Key words: Pigment, Shell color, Abalone, *Haliotis discus hannai*

서 론

전복양식에 관한 관심이 높아짐에 따라 육상수조에서 고 밀도로 전복을 양성하는 곳이 증가되는 등 양식방법이 다양 해지고 있다 (Kim et al., 1998; Lee et al., 1999). 양어들은 전복을 생산하면서 육성용 먹이로 미역, 다시마와 같은 천연 먹이를 공급하고 있는 실정이다. 하지만 이러한 해조류는 지역에 따라 공급이 불안정하고, 가격의 변동이 심할 뿐 아니라 취급 및 보관상의 문제 등이 잠재되어 있다. 뿐만 아니라 해조류로 사육된 전복의 성장 또한 배합사료로 사육된 것보다 낮은 것으로 보고되어 있다 (Viana et al., 1993; Lee et al., 1997). 최근에 경제적인 참전복용 배합사료를 개발하기 위한 사료영양 연구가 수행되면서 (Uki et al., 1986; Mai et al., 1995; Lee et al., 1998a, b; Lee, 1988) 배합사료를 사용하는 전복 양식장이 증가되고 있다. 하지만 양식되는 전복의 패각 색깔은 사용되는 배합사료에 따라 차이가 있는 것으로 알려져 있다 (Bautista-Teruel et al., 1999). 전복 패각 색깔은 상품 가치에 영향을 미칠 수 있으므로 배합사료를 사용할 경우, 양식 전복의 색깔을 소비자의 요구에 맞도록 조절하는 것은 중요하다.

어류도 배합사료를 사용하여 사육된 경우 어류의 표피나 육의 색택이 천연산과 다르기 때문에 이를 해결할 수 있는 연구가 수행되고 있다 (Kang et al., 1994). 어류의 표피나 육질의 색깔 개선을 위해 사료 색소원료로는 카로티노이드계의 색소가 많이 이용되고 있으며 (Choubert and Luquet, 1983; Ha et al., 1993; Choubert et al., 1994; Nickell and Bromage,

1998a, b), 특히 육질의 색이 상품가치에 영향을 많이 미치는 어류들, 예를 들면 무지개송어의 사료에 카로티노이드계 색소 첨가 효과에 관한 연구가 집중적으로 수행되었다 (Choi et al., 1996; Kang et al., 1996a). 또한, Lee et al. (1998c)은 참전복의 배합사료에 해조류와 *Spirulina*를 첨가하여 실험한 결과, 첨가제의 색이 반영되는 것을 관찰하였으며, 배합사료로 전복 패각 색깔을 조절할 수 있음을 제시하였다. 이처럼 배합사료에 첨가된 색소원에 의해 패각 색깔이 달라짐을 짐작할 수 있으나, 패류의 경우 패각의 주성분이 $CaCO_3$ 로 구성되어 있어 (Kang et al., 1996b), 어류와는 다른 경로로 패각 색깔이 형성될 것으로 생각된다.

본 연구는 양식 참전복 패각 색을 배합사료에 첨가되는 색소원으로 조절할 수 있는 지를 조사하였다.

재료 및 방법

실험사료

실험사료는 Lee (1998)가 제시한 사료 배합비를 바탕으로 단백질원으로는 북양어분과 대두박을, 탄수화물원으로는 소맥분, 지질원은 오징어 간유를 사용하여 사료 영양소가 참전복의 요구 (Mai et al., 1995; Lee and Park, 1998)에 맞도록 설계하였다 (Table 1). 사료 점결제로 carboxymethyl cellulose와 알긴산을 각각 5% 및 20% 첨가하였다. 색소원 첨가에 따른 패각 색깔 변화를 조사하기 위해 4 가지의 색소원, 즉 *Porphyra* powder (PP), yeast astaxanthin (YA), paprika extract (PE) 및 *Spirulina* powder (SP)를 대조사료의 소맥분을 대체하면서 첨가하였다. 사료 성형은 각 원료를 잘 혼합한 후, 압착하여

*Corresponding author: smlee@kangnung.ac.kr

Table 1. Composition of the experimental diets for *Haliotis discus hannai*

Ingredient (%)	Diets				
	Con	PP	YA	PE	S
White fish meal	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Soybean meal	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
Wheat flour	23.0	21.0	22.0	22.0	21.0
Carboxymethyl cellulose	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Squid liver oil ¹	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Vitamin Premix ²	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Mineral Premix ²	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Sodium alginate	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Choline chloride	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
<i>Porphyra</i> powder ¹		2.0			
Yeast astaxanthin ¹			1.0		
Paprika extract ¹				1.0	
<i>Spirulina</i> powder					2.0
Proximate analysis (% of dry matter basis)					
Crude protein	29.0	29.3	29.7	29.4	31.3
Crude lipid	5.5	5.4	5.6	6.2	6.3
Ash	13.5	13.8	13.7	13.8	14.9

¹ Provided by E-wha Oil & Fat Ind. Co., Busan, Korea.

² Same as Lee et al. (1998c).

5% 염화칼슘 수용액에 1분간 담구어 알긴산 나트륨을 칼슘염으로 치환시켰다. 배합사료의 형태는 두께 0.15 cm, 1 cm 사각이 되도록 절단하여 건조시킨 후, 냉동고에 보관 (-25°C)하면서 사료 공급 시마다 사용하였다.

실험전복 및 사육관리

평균체중 173 mg의 참전복 치패를 선별하여 각 실험수조 (플라스틱 사각 수조, 수용적 20 L)에 40마리씩 수용하여 각 사료마다 3 반복으로 16 주간 사육실험을 하였다. 사료는 2일 간격으로 각 실험수조마다 3 g씩 공급하였고, 먹고 남은 잔량은 다음 사료 공급 전에 모두 제거하였다. 각 실험 수조의 주수량은 3 L/min으로 조절하였으며, 실험기간 중 평균사육수온은 15.2±3.2°C이었다. 분석용 전복은 실험 시작 시 100 마리, 실험 종료시에는 각 수조에 생존한 실험 전복 전체를 수거하여 냉동보관 (-75°C)하다가 성분 분석을 하였다.

성분분석 및 통계처리

실험사료 및 전복 패각의 조단백질 (N×6.25)은 Kjeldahl system (Buchi B-324/435/412, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether 추출법으로 측정하였으며, 수분은 105°C의 dry oven에서 6시간 건조 후 측정하였다. 조회분은 550°C의 회화로에서 4시간 동안 태운 후 정량하였다.

Chlorophyll 추출은 AOAC (1995) 방법에 따라 시료에 acetone/methanol (1/1, v/v) 혼합액을 첨가한 후 24 시간 암실에 방치하였다가, 감압장치를 사용하여 색소를 추출하였다. 추출액은 ethyl ether와 다량의 물로써 분리 조작하여 chlorophyll을 ethyl ether로 전용시킨 후 Na₂SO₄로 탈수하고, ethyl ether로

정용하여 660 nm 및 642.5 nm에서 흡광도를 측정하였다. Chlorophyll 농도는 다음과 같은 식으로 계산되었다.

Total chlorophyll ($\mu\text{g/g}$)=7.12OD (660 nm)+16.8OD (642.5 nm)
 Chlorophyll a ($\mu\text{g/g}$)=9.93OD (660 nm)-0.78OD (642.5 nm)
 Chlorophyll b ($\mu\text{g/g}$)=17.6OD (642.5 nm)-2.81OD (660 nm)

Carotenoids 추출액에 KOH를 첨가하고 교반한 후, ethyl ether와 증류수로 분리 조작하여 carotenoids를 ethyl ether로 전용시켜 Na₂SO₄로 탈수하고 40°C 이하에서 농축하였다. Total carotenoids의 정량은 petroleum ether 중에서의 가시부 흡수스펙트럼의 λ_{max} 의 흡광도에 의하여 Mcbeth (1972)의 방법에 따라 흡광계수 $E_{\text{cm}}^{10\%}=2500$ 으로 계산하였다.

$$\text{mg}\% = \frac{\text{O.D.}(\lambda_{\text{max}}) \times \text{Vol} \times 1000}{E_{\text{cm}}^{10\%}(2500) \times \text{weight of sample (g)} \times 100}$$

원료 및 색소원을 원심관에 정평한 다음 10 mL 0.1 M phosphate buffer (pH 7.0)를 가한 다음 15 분간 교반하고 4°C 냉장고에서 하룻밤 방치한 후, 3,500 rpm에서 5 분간 원심분리한 후, 상층액을 취하여 O.D. 값으로 phycobilin 함량을 측정하였다 (Kim and Nam, 1976).

성장 및 생체의 일반성분에 대한 결과의 통계처리는 ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성을 SPSS Version 10 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) program을 사용하여 검정하였다.

결과 및 고찰

실험 배합사료에 각각의 색소원을 달리 첨가하여 16주간 사육실험 후의 성장과 생존율을 Table 2에 나타내었다. 생존율은 78-90%로 모든 실험구간에서 유의차 ($P>0.05$)가 없었다. 실험시작 시 평균체중 173 mg이었던 참전복 치패의 증중량은 *Spirulina*를 첨가한 실험구가 가장 높은 값을 보였지만, 실험구간에 유의차는 나타나지 않았다 ($P>0.05$).

실험사료에 사용된 원료 및 색소원의 지용성 색소 함량을 측정해 본 결과 (Table 3), *Porphyra* powder와 *Spirulina*에서 chlorophyll a 함량이 각각 72.0 μg 및 47.7 μg 으로 다른 색소원

Table 2. Growth and survival of *Haliotis discus hannai* fed the diets containing different pigment sources for 16 weeks¹

Diets	Initial av. weight (mg)	Weight gain (mg/abalone)	Survival (%)
Con	174±0.8	570±7.9 ^{ns}	90±3.8 ^{ns}
PP ²	173±1.4	670±29.3	81±3.6
YA ³	173±4.4	560±84.7	83±7.2
PE ⁴	173±0.8	620±63.0	78±3.8
S ⁵	173±2.5	687±18.0	80±6.3

¹ Values are mean±SEM of three replications; ² *Porphyra* powder; ³ Yeast astaxanthin; ⁴ Paprika extract; ⁵ *Spirulina*; ^{ns} Not significant ($P>0.05$).

Table 3. Pigment contents of dietary ingredients for *Haliotis discus hannai*

Pigment	Dietary ingredients						
	WFM ¹	SM ²	WF ³	PE ⁴	YA ⁵	PP ⁶	S ⁷
Chlorophyll a (μg/g)	-	-	-	5.7	-	72.0	47.7
Chlorophyll b (μg/g)	-	-	-	4.6	-	0.6	0.3
Total carotenoids (mg %)	-	-	-	846.6	64.0	49.3	534.9

¹White fish meal; ²Soybean meal; ³Wheat flour; ⁴Paprika extract; ⁵Yeast astaxanthin; ⁶*Porphyra* powder; ⁷*Spirulina*.

보다 매우 높았으며, chlorophyll b 함량은 paprika extract에서 상대적으로 높은 값을 보였다. Total carotenoids 함량은 paprika extract 및 *Spirulina*에서 각각 846.6 mg 및 534.9 mg으로 yeast astaxanthin과 *Porphyra* powder의 49.3-64 mg보다 매우 높은 값을 나타냈다.

실험 시작 시 인공종묘 생산된 전복의 패각은 모두 연한 녹색이었으나, 실험사료를 공급하면서부터 첨가된 색소원에 따라 참전복 패각 색깔에 차이를 보였다. 실험된 참전복의 패각 색을 구별하기 위하여 한국 표준색표집 (KBS, 1991)에 기준을 두고 육안으로 비교 한 결과를 Table 4에 표시하였다. 자연산 참전복의 패각 색을 조사하기 위하여 강릉 및 거제에서 채집된 참전복을 관찰한 결과 그들의 패각 색깔은 주황에서 귤색 사이였다. *Porphyra* powder를 첨가한 실험구에서의 참전복 패각은 붉은색에서 귤색의 범위였고, *Spirulina*를 첨가한 실험구의 참전복 패각은 주황에서 귤색사이로 관찰되었다. 위와 같이 *Porphyra* powder와 *Spirulina* 색소원료를 각각 첨가한 배합사료를 공급한 참전복 패각 색깔이 자연산 참전복 패각 색깔과 유사한 붉은색에서 귤색으로 나타났다. 또한, *Porphyra* powder를 실험사료에 첨가한 실험구의 참전복 패각 색깔이 붉은 계열 쪽으로 좀더 진하게 나타났으며, *Spirulina* 첨가구의 참전복 패각은 주황색 쪽으로 열게 나타나는 경향을 보였다. 반면에 대조구와 paprika extract 및 yeast astaxanthin을 첨가한 실험구에서의 참전복 패각은 연한 녹색으로 실험 시작 시의 패각 색깔과 비슷하였다.

Table 4. The hue of *Haliotis discus hannai* shell fed the experimental diets containing different pigment sources for 16 weeks

Abalone	Hue
Natural	7.5 YR ¹ - 10 YR
Con	5 G ² - 7.5 G
PP ³	2.5 YR - 7.5 YR
YA ⁴	5 G - 7.5 G
PE ⁵	5 G - 7.5 G
S ⁶	5 YR - 10 YR

¹YR (5-10): yellow red - orange; ²G (5-10): green - grass green; ³*Porphyra* powder; ⁴Yeast astaxanthin; ⁵Paprika extract; ⁶*Spirulina*.

이와 같이 배합사료에 따른 참전복 패각 색의 차이는 사료에 첨가된 색소 원료에 함유된 색소의 특성에 의한 것으로 판단된다. 해조류의 경우 chlorophyll이나 carotenoids와 같은 지용

성 색소와 phycobilins 계열의 수용성 단백질 색소를 가지고 있으며, 이러한 수용성 색소 중에 홍조류에는 적색을 나타내는 phycoerythrin (Roman et al., 2002)이 함유되어 있고, 청조류에서는 청색을 나타내는 phycocyanin (Joo et al., 2000)이 함유되어 있는데, 이러한 색소들은 수용성 단백질과 강하게 결합해 있는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서 실험된 참전복 패각의 일반성분을 분석해 본 결과 (Table 5), 2.6-2.8%의 단백질과 95.3-95.8%의 회분이 함유되어 있거나 지질은 거의 검출되지 않았다. 이는 전복의 외관상의 색깔은 지질보다는 단백질에 결합되는 색소에 더 영향을 받을 가능성이 있음을 암시하고 있다.

Table 5. Proximate analysis (%) in shell of *Haliotis discus hannai* fed the diets containing different pigment sources for 16 weeks¹

Diet	Crude protein	Crude lipid	Ash
Con	2.7±0.08 ^{ns}	<0.05	95.6±0.05 ^{ns}
PP ²	2.8±0.11	<0.05	95.3±0.30
YA ³	2.8±0.06	<0.05	95.4±0.00
PE ⁴	2.6±0.06	<0.05	95.7±0.25
S ⁵	2.6±0.04	<0.05	95.8±0.05

¹Values are mean±SEM of three replications; ²*Porphyra* powder; ³Yeast astaxanthin; ⁴Paprika extract; ⁵*Spirulina*; ^{ns}Not significant (P>0.05).

어류의 경우, 체색은 섭취된 carotenoid의 종류와 체내 대사 특이성에 의하여 결정되는 것으로 알려져 있다 (Ha et al., 1993). 전복 패각의 색깔 또한 어류와 마찬가지로 특정한 종류의 carotenoid에 영향을 받을 수 있는 가능성을 배제할 수는 없으나, 본 연구에서 육안적인 비교와 원료원의 색소원 분석 결과 등을 종합하여 볼 때, 색소원료에 함유되어 있는 phycoerythrin이나 phycocyanin같은 수용성 단백질 색소가 참전복 패각 색깔에 영향을 미칠 가능성이 높을 것으로 짐작된다. 이러한 추정에 근거를 두고 본 실험에 사용된 사료 색소원의 수용성 색소 함량을 측정해 본 결과 (Fig. 1), *Porphyra* powder에는 수용성 단백질 색소로 적자색을 나타내는 phycoerythrin (540-570 nm)과 청색을 나타내는 phycocyanin (610-620 nm)이 검출되었으며, *Spirulina*의 경우 청색의 phycocyanin 만이 검출되었다. 반면에 다른 사료색소원인 paprika extract와 yeast astaxanthin에는 수용성 색소가 검출되지 않았다. 이러한 경향은 원료의 수용성 단백질 색소가 참전복 패각 색에 영향을 미칠

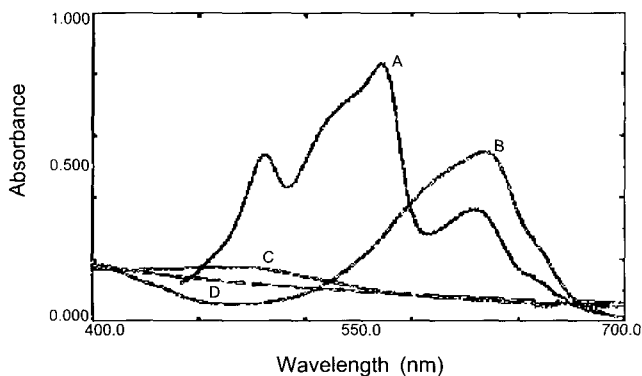


Fig. 1. Absorption spectra of phycoerythrin and phycocyanin of ingredient phosphate buffer at pH 7.0. A, *Porphyra* powder; B, *Spirulina*; C, Yeast astaxanthin; D, Paprika extract.

수 있는 가능성을 뒷받침 하고 있다.

본 실험에서 제시된 결과를 바탕으로 금후 참전복 패각의 색깔에 변화를 줄 수 있는 배합사료 원료의 탐색 및 적정 첨가량 조사, 패각 색소와의 결합 메커니즘 구명 등 다양한 연구가 더 수행되어야 할 것이다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 지정 강릉대학교 동해안해양생물자원연구센터의 연구비 지원에 의한 것이며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia, pp. 26-28.
- Bautista-Teruel, M.N. and O.M. Millamena. 1999. Diet development and evaluation for juvenile abalone, *Haliotis asinina*: protein/energy levels. *Aquaculture*, 178, 117-126.
- Choi, B.D., S.J. Kang and K.H. Lee. 1996. Quality improvement of rainbow trout with pigments and enzymatic hydrolysates of ascidian (*Halocynthia roretzi*) tunic 1. chemical specificity of ascidian tunic and it's hydrolysates. *Bull. Kor. Fish. Soc.*, 29, 345-356.
- Choubert, G. and P. Luquet. 1983. Utilization of shrimp meal for rainbow trout (*Salmo gairdneri* Rich.) pigmentation. Influence of fat content in the diet. *Aquaculture*, 32, 19-26.
- Choubert, G., R. Gómez and J.C.G. Milicua. 1994. Response of serum carotenoid levels to dietary astaxanthin and canthaxanthin in immature rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 109A, 1001-1006.
- Duncan, D.B. 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics*, 11, 1-42.
- Ha, B.S., D.S. Kang., J.H. Kim., O.S. Choi and H.Y. Ryu. 1993. Metabolism of dietary carotenoids and effect to improve the body color of cultured flounder and red sea bream. *Bull. Kor. Fish. Soc.*, 26, 91-101. (in Korean)
- Joo, D.S., C.K. Jung, C.H. Lee and S.Y. Cho. 2000. Content of phycocyanin and growth of *Spirulina platensis* with culture conditions. *J. Kor. Fish. Soc.*, 33, 475-481. (in Korean)
- Kang, D.S and B.S. Ha. 1994. Metabolism of dietary carotenoids and effects to intensify the body color of cultured sea bass. *Bull. Kor. Fish. Soc.*, 27, 272-281. (in Korean)
- Kang, S.J., B.D. Choi and K.H. Lee. 1996a. Quality improvement of rainbow trout with pigments and enzymatic hydrolysates of Ascidian (*Halocynthia roretzi*) tunic 2. Effects of ascidian tunic enzymatic hydrolysates on pigmentation and growth of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Bull. Kor. Fish. Soc.*, 29, 357-368. (in Korean)
- Kang, J.H., J.H. Kim and H.E. Lee. 1996b. A study on the development of manufacturing process of high grade precipitated calcium carbonate from oyster shell. *J. Kor. Solid Wastes Eng. Soc.*, 13, 320-327. (in Korean)
- Kim, B.H., S.M. Lee, C.S. Go, J.W. Kim and J.I. Myeong. 1998. Optimum stocking density of juvenile abalone (*Haliotis discus hannai*) fed formulated diet or macroalgae (*Undaria*). *J. Kor. Fish. Soc.*, 31, 869-874. (in Korean)
- Kim, J.P. and S.K. Nam. 1976. Isolation of chromoprotein and its amino acids composition in Korean laver. *Kor. J. Food Sci. Technol.*, 8, 172-178.
- Lee, S.M. 1998. Evaluation of economical feed formulations for abalone (*Haliotis discus hannai*). *J. Aquacult.*, 11, 159-166. (in Korean)
- Lee, S.M. and H.G. Park. 1998. Evaluation of dietary lipid sources for juvenile abalone (*Haliotis discus hannai*). *J. Aquacult.*, 11, 381-390. (in Korean)
- Lee, S.M., G.A. Lee, I.G. Jeon and S.K. Yoo. 1997. Effects of experimental formulated diets, commercial diet and natural diet on growth and body composition of abalone (*Haliotis discus hannai*). *J. Aquacult.*, 10, 417-424. (in Korean)
- Lee, S.M., S.J. Yun and S.B. Hur. 1998a. Evaluation of dietary protein sources for abalone (*Haliotis discus*

- hannai*). J. Aquacult., 11, 11-29. (in Korean)
- Lee, S.M., S.J. Yun, K.S. Min and S.K. Yoo. 1998b. Evaluation of dietary carbohydrate sources for juvenile abalone (*Haliotis discus hannai*). J. Aquacult., 11, 133-140. (in Korean)
- Lee, S.M., Y.S. Lim, Y.B. Moon, S.K. Yoo and S. Rho. 1998c. Effects of supplemental macroalgae and *spirulina* in the diets on growth performance in juvenile abalone (*Haliotis discus hannai*). J. Aquacult., 11, 31-38. (in Korean)
- Lee, S.M., C.S. Park and T.S. Go. 1999. Effects of formulated diet and macroalgae (*Undaria*) on growth and body composition of juvenile abalone (*Haliotis discus hannai*) cultured in different shelter type and water temperature. J. Kor. Fish. Soc., 32, 284-289. (in Korean)
- Mai, K., J.P. Mercer and J. Donlon. 1995. Comparative studies on the nutrition of two species of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *Haliotis discus hannai* Ino. IV. Optimum dietary protein level for growth. Aquaculture, 136, 165-180.
- McBeth, J.W. 1972. Carotenoid from nudibranchs. Comp. Biochem. Physiol., 41B. 55-68
- Nickell, D.C. and N.R. Bromage. 1998a. The effect of dietary lipid level on variation of flesh pigmentation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 161, 237-251.
- Nickell, D.C. and N.R. Bromage. 1998b. The effect of timing and duration of feeding astaxanthin on the development and variation of fillet colour and efficiency of pigmentation in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture, 169, 233-246.
- Roman, R.B., J.M. Alvarez-Pez, F.G. Acien-Fernandez and E.M. Grima. 2002. Recovery of pure B-phycoerythrin from the microalga *Porphyridium cruentum*. J. Biotechnol., 93, 73-85.
- Uki, N., M. Sugiura and T. Watanabe. 1986. Requirement of essential fatty acids in the abalone, *Haliotis discus hannai*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 52 : 1013-1026.
- Viana, M.T., L.M. Lopez and A. Salas. 1993. Diet development for juvenile abalone *Haliotis fulgens*. Evaluation of two artificial diets and macroalgae. Aquaculture, 117, 149-156.
- KBS. 1991. Korean Standard Color. Seoul, Korea, pp. 41.

2003년 9월 16일 접수

2003년 12월 15일 수리