

Astaxanthin을 포함한 Red Yeast를 급여한 무지개 송어 간과 근육의 Astaxanthin, α -Tocopherol 및 지질과산화물 함량

김해리[†] · 강지원

서울대학교 식품영양학과

Determination of Astaxanthin, α -Tocopherol and TBARS in the Liver and Muscle of Rainbow Trout Supplemented with Red Yeast Containing Astaxanthin

Harriet Kim[†] and Ji-One Kang

Dept. of Food and Nutrition Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

Abstract

The concentrations of astaxanthin and α -tocopherol were measured from the muscle of the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) that had been fed the red yeast (*Phaffia rhodozyma*) containing 0.2% astaxanthin for 7, 14 and 21 days. The effect of the astaxanthin supplementation for 21 days on peroxidation of liver and muscle lipids of the rainbow trouts was examined. The astaxanthin was found to be accumulated in the rainbow trout muscle when fed for 7 days with astaxanthin supplementation(80mg/kg diet) in the form of the red yeast and the content did not increase further when fed longer up to 21 days. Seven days supplementation of astaxanthin raised the rainbow trout muscle content of the astaxanthin to 17.3 μ g/g tissue from 11.8 μ g/g tissue in mature control group. Although the hepatic TBARS level was found to be significantly decreased, the astaxanthin supplementation did not alter the α -tocopherol and TBARS contents of the rainbow trout muscle.

Key words: astaxanthin, rainbow trout(*Oncorhynchus mykiss*), α -tocopherol, TBARS

서 론

어류는 불포화 지방산을 많이 포함하고 있으며, 어류를 양식할 때 주는 사료에는 대개 어유를 포함하고 있으므로 산화되기 쉽다(1). 지질이 산화되면 지질과산화물과 케톤화합물들을 만들어 낸다(2,3). 지질과산화물은 활성 산소종들이고, 이들은 산소를 포함하는 다른 라디칼들로 더 많이 분해된다. 그 결과 생성되는 활성 산소종들은 거의 모든 세포 성분들 즉, 단백질, 지질, 세포막 등을 공격하여 마침내 세포에게 치명적인 손상을 유발한다(4). 양식 어류의 활성 산소종들에 대한 방어체계를 개선하는 것은 실질적으로 매우 중요하다(5-9). 양식 어류에서 활성 산소종들에 대한 방어체계로 중요하게 인식되는 것은 free radical scavenger로 작용하는 카로티노이드들이다(10).

Astaxanthin은 canthaxanthin과 함께 해생 동물들에

널리 분포하는 카로티노이드들 중 xanthophyll의 일종으로 특히 연어와 송어의 가시부와 외피에 축적되는 색소로서 외국에서는 시판 어류의 품질 척도로도 이용되고, 그 밖에 채소와 과일에도 존재한다(11-13). 해생 동물에 분포하는 카로티노이드들은 자유 라디칼과 활성 산소종들에 의한 손상으로부터 이들 해생 동물들을 보호하는 데 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다(13). 그 중에서도 astaxanthin은 *in vitro* 실험에서 $^1\text{O}_2$ (singlet oxygen)에 대한 포획 능력이 상당히 강하여 α -tocopherol의 activity에 비해 80배 정도 강한 것으로 보고되었다(14). Astaxanthin은 singlet oxygen 뿐만 아니라 peroxy radical을 제거하는 효율성도 높은 것으로 보고되었다(15). 그 밖에 astaxanthin은 지단백, 세포, 동물모델에서도 자유 라디칼을 효율적으로 제거하는 것으로 알려졌다(16). Astaxanthin은 어류에서 활성 산소종들에 대한 방어체계로 중요하게 인식되고 있지

[†]To whom all correspondence should be addressed

만, 어류는 직접 astaxanthin을 생산하지 못하므로(17), astaxanthin을 사료의 한 성분으로 어류에게 제공할 때 어류 조직에 대해 뛰어난 항산화 효과를 나타낼 것으로 기대된다.

Astaxanthin의 식이원으로 연구되어온 것들로는 대표적으로 red yeast(*Phaffia rhodozyma*)를 들 수 있고(17,18), 그 외에 crustacean shells, microalgae(*Chlorella vulgaris*), green algae(*Haematococcus pluvialis*) 등이 있다(18-20). Crustacean shells는 10~100 $\mu\text{g/g}$ 정도의 astaxanthin을 포함하고(21,22), 무기질 함량이 높아 어류의 먹이로 제공하는데 여러 가지 실제적인 어려움이 있는 반면, 본 논문에서 식이원으로 제공되는 red yeast(*Phaffia rhodozyma*)는 30~800 $\mu\text{g/g}$ 정도의 astaxanthin을 포함할 뿐만 아니라 그 밖의 여러 영양소가 풍부하여 어류의 사료로 제공하기에 적당하다(18).

본 연구에서는 astaxanthin을 포함하는 red yeast(*Phaffia rhodozyma*)를 무지개 송어(*Oncorhynchus mykiss*)에게 제공했을 때 송어의 가식부인 근육에서 astaxanthin과 α -tocopherol의 함량을 측정하여 투여 기간에 따른 astaxanthin의 축적 정도와 α -tocopherol 함량에 미치는 영향을 평가하고, 근육과 간에서 지질과 화물을 측정하였다.

재료 및 방법

무지개 송어의 사육

체중이 150~200g 되는 무지개 송어(*Oncorhynchus mykiss*)를 강원도 정선 양어장에서 구입하였다. 무지개 송어를 10³ L 유리 탱크에 수용하여 1주일간 일반 어류 사료를 제공하며 환경에 적응시킨 뒤 무작위로 추출하여 1군에 10마리씩 5군으로 나누고, 각각의 군을 16.5°C, 60L 유리 수조에서 양식하였다. 대조군은 대조성치군(CON/M)과 대조어치군(CON/J)으로 나누어, 대조성치군에게는 21일간 일반 어류 사료만을 계속 제공한 뒤 실험 21일째 되는 날, 대조어치군은 실험 첫째날 회생시켰다. 실험군은 7일간, 14일간, 21일간 astaxanthin 첨가 식이(80mg/kg diet)를 제공한 군들을 각각 7일 astaxanthin 첨가 식이군(AX7), 14일 astaxanthin 첨가 식이군(AX14), 21일 astaxanthin 첨가 식이군(AX-21)으로 설정하였고, 군들은 실험 식이를 각각의 실험 기간 동안만 제공받은 뒤 바로 회생되었다. Astaxanthin 첨가 식이는 astaxanthin을 0.2% 포함하는 red yeast(*Phaffia rhodozyma*)를 diet 1kg 당 80mg astaxanthin이 포함되도록 일반 어류 사료에 섞어 각각의 실험 기간 동안만 제공하였다(23). 여기에 사용하는 red

yeast(*Phaffia rhodozyma*)는 태평양 제약 회사에서 제공받았으며, 성분 함량은 Table 1에 나타내었다.

Astaxanthin의 추출 및 정량

무지개 송어 근육 0.5g을 중류수 2ml로 균질화한 다음 astaxanthin(20 $\mu\text{g/ml}$)을 75 μl 첨가한다. 여기에 chloroform : methanol(2 : 1) 용액 6ml를 가하고 1시간 동안 잘 혼합한 다음 2,500rpm에서 20분간 원심분리하여 chloroform 층을 분리하고, 남은 용액에 다시 chloroform : methanol(2 : 1) 용액 3ml를 가하고 10분간 혼합한 다음 위와 같이 원심분리하여 역시 chloroform 층을 분리하여 처음의 chloroform 층과 합친다. 여기에 중류수 2ml를 첨가하여 약하게 혼들어 혼합한 다음 원심분리하였다. 원심분리된 용액에서 chloroform 층을 4.5ml 분리하여 질소 가스로 날린 다음 최종 시료는 methanol 200 μl 에 용해시켜 PTFE syringe filter(0.45 μm , 13mm, Xpertek, USA)로 여과시켜 측정에 이용하였다. HPLC (Hewlett Packard 1090 series II, USA)의 조건은 Vy-dac C18 column(USA)을 사용하였고, 이동상은 dichloromethane : acetonitrile : methanol(20 : 70 : 10)로 하여, 유속은 1ml/min, 시료 주입량은 50 μl , 흡광도는 482nm에서 측정하였다. 표준용액으로는 astaxanthin(Sigma, USA)을 methanol에 용해시켜 사용하였다(20).

α -Tocopherol의 추출 및 정량

무지개 송어 근육에서 α -tocopherol을 측정하기 위한 시료의 전처리 과정은 astaxanthin을 측정하기 위한 과정과 같다. 최종 시료는 methanol 200 μl 에 용해시켜 PTFE syringe filter(0.45 μm , 13mm, Xpertek, USA)로 여과시켜 측정에 이용하였다. HPLC(Hewlett Packard 1090 series II, USA)의 조건은 Vy-dac C18 column(USA)을 사용하였고, 이동상은 methanol : water(95 : 5)으로 하여, 유속은 1ml/min, sample injection량은 50 μl , 흡광도는 290nm에서 측정하였다. 표준용액으로는 dl- α -tocopherol(Sigma, USA)을 methanol에 용해시켜 사용하였다(24).

Table 1. Proximate composition of red yeast(*Phaffia rhodozyma*) supplemented

Constituents	Content(%)
Protein	29
Lipid	17
Ash	6
Moisture	5
Astaxanthin	0.2

TBARS 함량 측정

근육과 간조직의 microsome 분리는 McCormack와 Denton(25)의 방법을 변형하여 사용하였다. 각각의 조직을 잘게 분쇄한 후 ice-cold homogenizing buffer(20 mM Tris-base, 250mM Sucrose, 3mM EDTA, 1mM PMSF; pH 7.4) 4배를 넣고 4°C에서 균질화한 다음 10,000×g에서 20분간 원심분리하였다. 원심분리 후 상층액을 취해 105,000×g에서 1시간 원심분리한 후 pellet 을 homogenizing buffer로 여러번 세척 후 homogenizing buffer로 재부유시켜 급속 냉동 후 -85°C에서 냉동 보관하였다.

근육과 간에서의 microsome에서 TBARS 함량 측정은 Ohkawa 등(26)의 방법으로 측정하였다. 근육과 간의 microsome을 2mg/ml 정도의 단백질 농도가 되게 10mM potassium phosphate buffer(pH 7.4)로 희석한 후 screw-capped tube에 0.5ml를 넣고, 37°C에서 60분간 incubation하였다. 여기에 10%(w/v) trichloroacetic acid 0.5ml과 0.67% thiobarbituric acid 0.5ml 을 가한 후 30초간 격렬하게 혼합하여 끓는 물에 15분 동안 중탕 가열하였다. 중탕 후 빙수에 급히 냉각시켜 2,500×g에서 15분간 원심 분리하여 그 상층액을 취하여 535nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준 용액으로는 tetraethoxypropane(TEP)을 methanol에 녹여 사용하였다. 조직의 microsome의 단백질 함량은 bovine serum albumin(Sigma, USA)을 표준 용액으로 사용하여 Lowry 등(27)의 방법을 이용하여 측정하였다.

통계처리

실험결과는 SAS general linear models procedure를 이용하여 각 실험군의 평균과 표준편차를 계산하고, $p<0.05$ 수준에서 ANOVA test 후 Duncan's multiple range test에 의하여 각 실험군 간의 유의차를 검증하였다.

결과 및 고찰

근육에서의 astaxanthin 함량

무지개 송어 중 대조어치군(CON/J) 근육의 astaxanthin 함량은 10.9 μ g/g, 대조성치군(CON/M) 근육에서의 함량은 11.8 μ g/g, 7일간 astaxanthin 첨가 식이군(AX7) 근육에서의 함량은 17.3 μ g/g, 14일간 astaxanthin 첨가 식이군(AX14) 근육에서의 함량은 15.0 μ g/g, 21일간 astaxanthin 첨가 식이군(AX21) 근육에서의 함량은 15.8 μ g/g이었다(Fig. 1). 대조성치군 근육에서

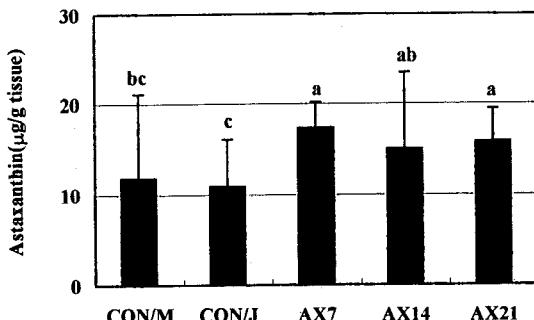


Fig. 1. Effect of red yeast(*Phaffia rhodozyma*) on the astaxanthin levels of muscle in rainbow trout.

^{a,b,c}Values with different letters are significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

의 astaxanthin 함량은 대조어치군 근육에서의 함량과 유의적인 차이를 보이지 않았지만, 7일간 astaxanthin 첨가 식이군은 대조어치군에 비해 astaxanthin 함량이 유의적으로 증가하여 Gouveia 등(19)과 Choubert와 Heinrich(20)의 보고와 일치하였다. 그러나 투여기간이 길어질수록 근육에서의 astaxanthin 함량은 더 이상 증가하지 않고 거의 일정한 수준을 유지하였으며 이는 Gouveia 등(19)의 보고와 일치하였다. Astaxanthin을 7일 이상 투여시 무지개 송어 근육에서의 astaxanthin 함량이 더 이상 증가하지 않는 것은 단기간의 섭취로도 astaxanthin이 근육을 포화시킬 수 있다는 것을 보여준다.

근육에서의 α -tocopherol 함량

무지개 송어 중 대조어치군 근육에서의 α -tocopherol 함량은 24.1 μ g/g, 대조성치군 근육에서의 함량은 22.1 μ g/g, 7일간 astaxanthin 첨가 식이군 근육에서의 함량은 23.6 μ g/g, 14일 astaxanthin 첨가 식이군 근육에서의 함량은 23.7 μ g/g, 21일 astaxanthin 첨가 식이군 근육에서의 함량은 26.9 μ g/g이었다(Fig. 2). 근육에서 α -tocopherol 함량은 군에 따른 유의적인 차이를 나타내지 않았다. Sigurgisladottir 등(28)의 보고에 의하면 α -tocopherol을 Atlantic salmon(Salmo salar)에 투여했을 때 연어의 지질 함량이나 지방산 조성에 영향을 끼치지 않았으며, 연어의 근육 색에도 영향을 미치지 않는 것으로 연구되었다. 본 연구에서는 astaxanthin을 포함한 red yeast를 사료에 섞어 제공하였을 때 송어 근육에서 astaxanthin의 함량이 증가함으로써 근육의 색소 증가로 인한 색감의 증가를 볼 수 있었으나 이것은 α -tocopherol의 함량과는 무관하다는 것을 알 수 있다.

근육과 간에서의 TBARS 함량

무지개 송어 근육에서의 TBARS 함량은 군에 따라

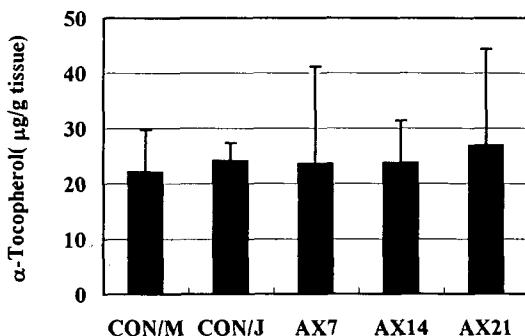


Fig. 2. Effect of red yeast (*Phaffia rhodozyma*) on the α -tocopherol levels of muscle in rainbow trouts.

Table 2. Effect of red yeast (*Phaffia rhodozyma*) on the TBARS of liver and muscle in rainbow trouts (*Oncorhynchus mykiss*)

Tissue	TBARS (nmole/mg protein)		
	CON/J	CON/M	AX21
Muscle	0.607±0.074	0.610±0.077	0.567±0.060
Liver	0.580±0.111 ^b	1.157±0.278 ^a	0.694±0.160 ^b

^{a,b}Values with different superscripts are significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

차이를 나타내지 않았다(Table 2). 이러한 결과는 어치군과 성치군이 TBARS 함량 차이를 나타낸다는 Choi와 Kim(29)의 보고와는 일치하지 않는다. 그러나 본 연구는 실험 기간이 3주로 Choi와 Kim(29)의 연구에 사용된 송어의 연수 차이에 비해 상당히 적다. 그러므로 근육에서 충분히 지질과산화의 차이가 일어나기에 3주는 부족한 것으로 추정된다.

무지개 송어 중 대조성치군의 간에서의 TBARS 함량은 대조어치군의 간에서의 TBARS 함량에 비해 유의적으로 증가하였으나, 21일간 astaxanthin 첨가 식이군의 간에서의 TBARS 함량은 0일 astaxanthin 첨가 식이군의 간에서의 TBARS 함량과 유의적인 차이를 나타내지 않은 것으로 보아 astaxanthin을 포함한 red yeast를 식이로 제공할 때 송어 간에서의 지질과산화 생성이 억제되는 것을 알 수 있었다(Table 2). Bjerkeng과 Johnsen(30), Nakano 등(31)의 보고에서도 astaxanthin의 식이원으로 astaxanthin을 포함하는 red yeast(*Phaffia rhodozyma*) 추출물이나 화합물로서의 astaxanthin을 직접 제공해도 간 기능이 개선되고 산화적 스트레스에 대한 잠재적인 방어 수준이 증가하였으므로 본 연구의 결과와 일치하였다.

요 약

본 연구에서는 astaxanthin을 포함하는 red yeast

(*Phaffia rhodozyma*)를 무지개 송어(*Oncorhynchus mykiss*)에게 제공했을 때 송어의 가식부인 근육에서 astaxanthin과 α -tocopherol 함량을 측정하여 투여 기간에 따른 astaxanthin의 축적 정도와 α -tocopherol 함량에 미치는 영향을 평가하였고, 근육과 간에서 TBARS를 측정하여 송어의 건강 상태에 대한 영향을 평가하였다. 송어 근육에서 astaxanthin 함량을 측정해 본 결과 대조성치군(CON/M)은 대조어치군(CON/J)과 근육에서 astaxanthin 함량이 유의적인 차이를 보이지 않았지만, 7일간 astaxanthin을 투여한 군은 대조어치군에 비해 astaxanthin 함량이 유의적으로 증가하였으나, 투여 기간이 길어질수록 근육에서의 astaxanthin의 함량은 더 이상 증가하지 않았고 거의 일정 수준을 유지하였다. 근육에서 α -tocopherol 함량은 군에 따른 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 무지개 송어 근육에서의 TBARS 함량은 군에 따라 차이를 나타내지 않았지만, 간에서 TBARS 함량을 측정해 본 결과 대조성치군의 간에서의 TBARS 함량은 대조어치군에 비해 유의적으로 증가하였으나, 21일간 astaxanthin 첨가 식이군의 간에서의 TBARS 함량이 대조어치군과 유의적인 차이를 나타내지 않은 것으로 보아 astaxanthin을 포함한 red yeast를 식이로 제공할 때 송어 간에서의 지질과산화 생성이 억제되는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 1997년도 교육부 기초과학연구소 학술 연구 조성비 지원 과제(과제명 : BSRI 97-4414) 연구비에 의해 수행된 것이며 이에 깊이 감사를 드립니다. Red yeast를 제공해 주신 태평양 제약과 송어를 양식해 주신 강원도 정선 양어장 사장님께 감사를 드립니다.

문 헌

1. Stansby, M. E. : Deterioration. In "Fish Oils in Nutrition" Van, N. R.(eds.), New York, p.120(1990)
2. Josephson, D. B., Lindsay, R. C. and Stuiber, D. A. : Biogenesis of lipid derived volatile aroma compounds in emerald shiner(*Notropis atherinoides*). *J. Agric. Food Chem.*, **32**, 1347(1984)
3. Koizumi, C. : Lipids. In "Marine Food Biochemistry" Konosu, S. and Hashimoto, K.(eds.), Tokyo, p.75(1992)
4. Asada, K. : Production, scavenging and action of active oxygen. *Protein Nucleic Acid Enzyme*, Tokyo, **33**, 7(1988)
5. Nakano, T., Sato, M. and Takeuchi, M. : Partial purification and properties of glutathione peroxidase from carp hepatopancreas. *Comp. Biochem. Physiol.*, **102B**, 31(1992)

6. Nakano, T., Sato, M. and Takeuchi, M. : Glutathione peroxidase of fish. *J. Food Sci.*, **57**, 1116(1992)
7. Nakano, T., Ono, K. and Takeuchi, M. : Levels of zinc, iron and copper in the skin of abnormally pigmented Japanese flounder. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **58**, 2207 (1992)
8. Nakano, T., Sato, M. and Takeuchi, M. : Superoxide dismutase activity in the skin of fish. *J. Fish Biol.*, **43**, 492(1993)
9. Nakano, T., Sato, M. and Takeuchi, M. : Unique molecular properties of superoxide dismutase from teleost fish skin. *FEBS Lett.*, **360**, 197(1995)
10. Miki, W., Otaki, N., Shimidzu, N. and Yokoyama, A. : Carotenoids as free radical scavengers in marine animals. *J. Marine Biotech.*, **2**, 35(1995)
11. 하봉석, 강동수, 김종현, 최우수, 유흐영 : 양식 넘치, 참돔의 도료 carotenoids 대체와 체색개선에 미치는 영향. *한국수산학회지*, **26**, 91(1993)
12. Ingemansson, T., Pettersson, A. and Kaufmann, P. : Lipid hydrolysis and oxidation related to astaxanthin content in light and dark muscle of frozen stored rainbow trout(*Oncorhynchus mykiss*). *J. Food Sci.*, **58**, 513(1993)
13. Shimidzu, N., Goto, M. and Miki, W. : Carotenoids as singlet oxygen quenchers in marine organisms. *Fisheries Sci.*, **62**, 134(1996)
14. Mascio, P. D., Kaiser, S. and Sies, H. : Lycopene as the most efficient biological carotenoid singlet oxygen quencher. *Arch. Biochem. Biophys.*, **274**, 532(1989)
15. Lim, B. P., Nagao, A., Terao, J., Tanaka, K., Suzuki, T. and Takama, K. : Antioxidant activity of xanthophylls on peroxy radical-mediated phospholipid peroxidation. *BBA*, **1126**, 178(1992)
16. Blakeman, D. P., Ryan, T. P., Jolly, R. A. and Petry, T. W. : Diquat-dependent protein carbonyl formation. *Biochem. Pharmacol.*, **50**, 929(1995)
17. Tangeras, A. and Slinde, E. : Coloring of salmonids in aquaculture: the yeast Phaffia rhodozyma as a source of astaxanthin. In "Fisheries Processing: Biotechnological applications" Martin, A. M.(ed.), London, p.391 (1994)
18. Johnson, E. A., Villa, T. G. and Lewis, M. J. : Phaffia rhodozyma as an astaxanthin source in salmonid diets. *Aquaculture*, **20**, 123(1980)
19. Gouveia, L., Gomes, E. and Empis, J. : Use of *Chlorella vulgaris* in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, diets to enhance muscle pigmentation. *J. Appl. Aquacult.*, **7**, 61(1997)
20. Choubert, G. and Heinrich, O. : Carotenoid pigments of the green alga *Haematococcus pluvialis* : Assay on rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, pigmentation in comparison with synthetic astaxanthin and canthaxanthin. *Aquaculture*, **112**, 217(1993)
21. Lambertsen, G. and Braekkan, O. R. : Method of analysis of astaxanthin and its occurrence in some marine products. *J. Sci. Food Agric.*, **22**, 99(1971)
22. Meyers, S. P. : Using crustacean meals and carotenoid-fortified diets. *Feedstuffs*, **49**, 26(1977)
23. Choubert, G., Gomez, R. and Milicua, J. C. G. : Response of serum carotenoid levels to dietary astaxanthin and canthaxanthin in immature rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Comp. Biochem. Physiol. A: Comparative Physiology*, **109A**, 1001(1994)
24. Furr, H. C., Amedee-Maneseme, O. and Olson, J. A. : Gradient reversed-phased high-performance liquid chromatographic separation of naturally occurring retinoids. *J. Chromato.*, **309**, 299(1984)
25. McCormack, J. G. and Denton, R. M. : Influence of calcium ions on mammalian intramitochondrial dehydrogenases. *Methods Enzymol.*, **174**, 95(1989)
26. Ohkawa, H., Ohish, N. and Yagi, K. : Assay for lipid peroxidation in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. *Anal. Biochem.*, **95**, 351(1979)
27. Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L. and Randall, R. J. : Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, **193**, 265(1951)
28. Sigurgisladottir, S., Parrish, C. C., Lall, S. P. and Ackman, R. G. : Effects of feeding natural tocopherols and astaxanthin on Atlantic salmon(*Salmo salar*) fillet quality. *Food Research International*, **27**, 23(1994)
29. Choi, Y. H. and Kim, H. : Measurement of antioxidant activity of anserine, taurine, and L-histidine *in vitro* and content of anserine, taurine, and L-histidine in mature and juvenile rainbow trout(*Oncorhynchus mykiss*) muscle. *J. Food Sci. Nutr.*, **1**, 174(1996)
30. Bjerkeng, B. and Johnsen, G. : Frozen storage quality of rainbow trout(*Oncorhynchus mykiss*) as affected by oxygen, illumination, and fillet pigment. *J. Food Sci.*, **60**, 284(1995)
31. Nakano, T., Tosa, M. and Takeuchi, M. : Improvement of biochemical features in fish health by red yeast and synthetic astaxanthin. *J. Agric. Food Chem.*, **43**, 1570 (1995)

(1998년 6월 25일 접수)