

멍게껍질 추출색소 및 CLA (Conjugated Linoleic Acid)가 함유된 사료를 섭취한 고등어 (*Scomber japonicus*)의 일반성분 및 지방산 조성

박은정·김종태¹·강석중²·최병대*

경상대학교 해양식품공학과 / 해양산업연구소, ¹경남특수사료, ²경상대학교 해양생명과학과

Fatty Acid Composition of Chub Mackerel (*Scomber japonicus*) Fed a Diet Fortified with CLA and Ascidian (*Halocynthia roretzi*) Tunic Extracts

Eun Jung Park, Jong Tae Kim¹, Seok-Joong Kang² and Byeong-Dae Choi*

Department of Seafood Science and Technology / Institute of Marine Industry,

Gyeongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea

¹Gyeongnam Special Feed Company, Goseong 638-962, Korea

²Department of Marine Life Science / Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea

To examine the functional properties of conjugated linoleic acid (CLA) and ascidian tunic extracts in fish, we compared mackerel fed ascidian tunic extract and CLA (CA25) and a control group. The daily growth index of CA25 was 1.92 compared to 1.86 in the control group. The viscerosomatic index of CA25 was 36.7% lower than that of the control group. After 8 weeks, the protein content decreased from 19.7 to 17.5% in the CA25 group. The ascidian tunic extract content in the viscera was much higher than in muscle (0.13 vs. 0.03 mg/100 g) after 8 weeks. At the start, the n-3 fatty acid content of the experimental fish was 25.2% in muscle and 23.7% in viscera. The CLA content in muscle in the CA25 group was 2.1% after 4 weeks and 2.3% after 8 weeks. By contrast, the CLA content in viscera did not change after 8 weeks.

Key words: Mackerel, Conjugated linoleic acid (CLA), Ascidian tunic extracts, Growth rate, Fatty acid composition

서 론

고등어 양식은 2003년 이후 고등어 치어를 채집하여 연안가 두리에서 키우는 양식방법이 통영에서 성공한 이후 고등어 양식에 종사하는 어업인의 수가 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. 더욱이 2008년 국가기관인 경상남도 수산자원연구소가 우리나라 최초로 고등어 대량 인공종묘생산을 성공한 이래 양식고등어 산업화 5개년 계획을 적극 추진 중에 있다. 해마다 생산 변동 폭이 많은 고등어를 안정적으로 생산하여 국민들에게 공급하기 위함이며 무엇보다도 양식고등어는 장거리 수송이 가능한 장점을 갖고 있다. 고등어양식이 늘어나면서 치사율이 높아 장거리 유통이 불가능하다는 선례를 깨고 신선한 헛감용으로 고등어 소비가 가능해졌다. 고등어 양식을 통해 풍부한 필수지방산의 신선한 섭취가 가능해짐에 따라 질 높은 건강을 추구하는 소비자의 요구를 반영하여 고품질의 기능성 고등어의 생산을 모색할 시기가 되었다.

이미 다기능성 지질소재로 알려진 CLA (conjugated linoleic acid)가 함유된 사료를 돼지, 소, 닭에게 급여하여 기능이 향상된 식품으로 다양하게 이용하고 있다 (Kim, 1998). 어류양식 산업의 CLA이용은 아직까지 다른 식품에 비해 많지 않지만

감성돔, 우럭과 같은 양식어류를 대상으로 CLA와 carotenoids를 사료에 첨가하여 항산화효과, 체지방감소효과를 검증한 연구사례가 보고되고 있다 (Guo, 2010). CLA는 이미 전 세계적으로 잘 알려진 linoleic acid의 이중결합위치 및 기하학적 이성체를 총칭하는 기능성 물질로써 많은 연구결과에 의하여 항암효과, 체지방감소, 항산화효과, 항동맥경화, 항산화효과 등에 관한 보고가 많다 (Ip et al, 2002). 이후 CLA는 외국에서 건강을 위한 기능성 건강보조제로 인증되었고, 우리나라 역시 2006년부터 한국식품의약품안전청 (KFDA)에서 기능성식품 원료사용을 개별 승인받았고, 2009년에는 고시형 식품으로 인정되기에 이르렀다 (KFDA, 2009). Carotenoids 역시 강력한 항산화력을 가진 천연항산화제로써 암 발생 억지, 어육의 색상 개선 등의 유용한 기능성을 나타내고 있으며 오늘날 식음료 첨가물, 의약품제, 사료 첨가물 등으로도 다양하게 이용되고 있다 (Bauerfeind, 1981).

양식사료에 CLA만 첨가할 경우 어류의 성장률이 감소하거나 체지방감소에 대한 우려가 있다 (Twibell et al., 2001). 그러나 Choi et al (1996)의 무지개 송어를 대상으로 한 연구에 의하면 멍게껍질 색소를 사료에 첨가하여 급여 하였을 경우 육의 색소침착효과 이외에 성장이 우수함을 보여주고 있으며, 또한 Torrissen (1986)이 대서양 연어치어를 대상으로 한 실험

*Corresponding author: bdchoi@gnu.ac.kr

에서는 천연색소를 첨가했을 때 인공색소첨가 보다 성장이 빠르다고 보고하고 있다. 이에 근거하여 CLA와 멧게껍질로부터 추출한 색소를 동시에 급이하여 기능성어류를 생산하는 방법이 가능하리라 여겨진다. 따라서 본 연구에서는 CLA와 멧게껍질 추출색소의 기능을 검증하기 위해 양식고등어 사료에 이들 성분을 첨가하여 사육하였을 때 양식고등어의 성장과 기능성에 어떠한 영향을 주는가에 대하여 검토하고자 하였다.

재료 및 방법

실험어

본 실험에 사용된 고등어 (*Scomber japonicus*)는 우리나라 남해안에 위치한 통영시 산양면 연안가두리 양식장 (크기 5×5×7 m)에서 2009년 10월 15일부터 12월 15일까지 총 8주 동안 사육실험을 실시하였다. 양식방법은 한 그룹은 일반사료를 먹인 고등어 (Control)와 다른 그룹은 일반사료에 멧게껍질 추출색소 및 CLA가 첨가된 사료를 먹인 고등어 (CA25)로 나누어 먹이를 급이하였다. 급이 방법은 하루 2회 실시하였으며, 실험어의 재료는 0주, 4주, 8주 총 3회에 걸쳐 양식장에서 직접 채집하여 실험실로 이송 한 후, 양식고등어의 두부를 강타하여 즉살하였고, 전체 무게와 내장의 무게를 각각 측정 한 후, 육과 내장으로 구분하여 각종 실험을 실시하였다.

실험사료

양식고등어의 사료는 경남 고성군 영현면에 소재한 (주)경남특수사료에서 생산된 어류용 EP (extruded pellet) 사료를 급이 하였고, 실험사료의 조성은 Table 1과 같다. CLA 및 멧게껍질 추출색소 첨가사료는 다른 영양성분의 양은 동일하게 하였고, CA25에는 Control의 어유량을 줄인 만큼 CLA 2.5% 그리고 멧게껍질 추출색소 1%를 첨가하여 보충하였다. 실험사료에 첨가한 멧게껍질 추출색소는 가공부산물인 멧게껍질 일정량에 3배량의 아세톤을 침지한 후, 실온에 방치하는 방법으로 두 차례 반복하여 색소성분을 충분히 추출, 여과 한 후 여과된 아세톤 추출물을 회전진공증발농축기로 40℃ 이하에서 농축하여 제조하였고, 전체사료 중 1% 양을 첨가하였다 (Choi et al., 1994).

CLA는 (주)HK바이오텍에서 화학적으로 합성된 자체규격 검사를 통과한 CLA를 전체 사료량의 2.5%가 되도록 첨가하였다. 본 실험에 사용된 CLA는 linoleic acid로부터 합성하여 c9,t11-CLA 이성체와 t10,c12-CLA 이성체가 각각 48%씩 함유되어 있었고 그 외 이성체는 미량으로 함유되어 있었다. CLA 농도를 2.5%로 결정한 것은 Kang and Choi (1998) CLA사료를 급이하여 잉어의 성장을 측정 한 연구 결과를 참고 하였다.

어류의 성장측정

어류의 성장측정 실험은 실험전일 하루 절식 후 채취하였으며, 각 실험구에서 6마리씩 채취하여 어체의 무게와 내장의 무게를 측정하였다. 전체 8주간 급이한 사료량과 체중의 증가량을 기준으로 사료효율, 일일성장률 및 내장지수를 계산하였다 (Park et al., 2007).

Table 1. Compositions of the experimental diets

Ingredients	Dietary treatments (g/kg)	
	Control	CA25
Fish meal	550	550
Soybean meal	70	70
Wheat flour	250	250
Yeast	10	10
Vitamin mix ¹⁾	10	10
Mineral mix ²⁾	10	10
Soybean oil	40	40
Fish oil (squid liver)	60	19
CLA (purity 79%)	0	31
Carotenoids ³⁾	0	10

The values are mean±S.D. (n=3).

¹⁾Vitamin mixture (mg kg⁻¹ diet or IU): thiamin, 50 mg; riboflavin, 60 mg; calcium pantothenate, 200 mg; biotin 1 mg; folic acid 20 mg; pyridoxine, 40 mg; cyanocobalamin, 0.05 mg; niacin, 250 mg; ascorbic acid, 1000 mg; inositol, 400 mg; retinyl acetate, 8000 IU; DL-cholecalciferol, 2400 IU; DL-alpha tocopherol acetate 300 IU; sodium menadione bisulphate, 5 mg.

²⁾Mineral mixture (mg kg⁻¹): calcium carbonate, 850 mg; magnesium oxide, 750 mg; copper sulphate, 25 mg; manganese sulphate, 100 mg; ferric citrate, 150 mg; zinc sulphate, 120 mg.

³⁾Carotenoids; Ascidian tunic extracts.

일반성분분석

일반성분의 분석은 일정기간 사육된 양식고등어를 육과 내장으로 나눈 후, 일반성분은 AOAC법 (1990)에 준하여 수분은 105℃에서 상압가열건조법, 조회분은 550℃에서 건식회화법, 조단백질은 semi-micro Kjeldahl 법으로 질소측정 후 단백질 계수 (6.25)를 이용하였으며, 조지방은 Bligh and Dyer법 (1959)으로 분석하였다.

총지질의 추출과 지방산 조성

지질의 추출은 Bligh and Dyer법 (1959)에 따라 chloroform: methanol 혼합용매 (2:1, v/v)로 반복 추출한 다음 포화식염수를 이용하여 지질과 수분을 분리한 후, 지질층을 농축하여 클로로포름 100 mL로 정용한 다음 무게를 측정하여 정량하였다. 지방산 조성분석을 위해 AOCS법 (1990)에 따라 50 mg의 지질시료를 cap tube에 넣고 0.5 N NaOH-methanol용액을 더하여 질소 충전한 후, 100℃에서 3분간 가열하여 검화하였다. 방냉 후 1.0 N H₂SO₄ 2 mL를 더한 후, 55℃에서 20분간 가열하여 methylester화 하였다. 이를 상온에 냉각한 후 isoctane 1 mL를 첨가한 후 30초간 vortex mixer로 혼합하였다. 이 후 5 mL의 포화식염수를 더하여 흔들어 방치한 후 isoctane층이 분리되도록 하였다. 분리된 isoctane층은 시료 병에 옮기고 cap tube에 다시 isoctane 1 mL를 더하여 재추출하여 시료 병에 모았다. 이를 capillary column (Omegawax-320, 30 m×0.25 mm i.d., Supelco Co., Bellefonte, PA, USA)이 장착된 gas chromatography (Shimadzu GC-17A, Shimadzu Co, Kyoto, Japan)을 이용하여 분석하였다. 이 때의 분석조건은 column은

도 180°C에서 5분간 유지 후 230°C까지 3°C/min씩 온도를 올려 15분간 유지하였고, injector온도 250°C, detector온도 260°C, 그리고 carrier gas는 He (1.0 kg/cm²)을 사용하였으며 split rate는 1:100으로 설정하였다. 각 구성 지방산의 동정은 표품과의 머무름 시간 (RT)의 비교 및 equivalent chain length법에 의해 동정하였다.

Carotenoids 함량의 측정

총 carotenoids의 함량은 460 nm에서 Umeda et al. (1971)의 방법에 따라 UV/VIS spectrophotometer (Shimadzu UV-1700, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)로 측정하고 다음의 식에 의하여 계산하였다.

$$\text{Total carotenoids (mg/100 g)} = \frac{\text{OD} (\lambda_{\text{max}}) \times \text{Vol} \times 1,000}{E^{1\%}_{1\text{cm}} (2,660) \times \text{weight sample (g)}}$$

이때 E^{1%}_{1cm}는 extinction coefficient를 나타내며, 시료의 용매 chloroform의 흡광계수 2,660을 사용하였다 (Whang, 1999).

통계 처리

각 실험은 모두 3회 이상 반복실험을 통해 결과를 얻었으며, 결과의 통계처리는 SPSS (Statistical package for the social science, Chicago Illinois USA) program version 12.0을 이용하였으며, 각각의 시료에 대해서는 평균±표준편차로 나타냈다. 각 시료에 대한 유의차 검정은 One-way ANOVA test와 T-test를 실시하여 분산분석한 후, Duncan's multiple range test에 의해 정직유의차검정을 실시하여 유의차 검정 (P<0.05)을 실시하였다.

결과 및 고찰

사료의 일반성분 및 지방산 조성의 변화

시판어분을 기본으로 하여 미네랄 및 비타민을 첨가하였고, 첨가된 어유는 6%를 기본으로 하여 CA25구에는 CLA가 2.5% 함유되도록 하여 전체적으로는 첨가되는 지질의 함량이 일정하도록 하였다 (Table 1). 제조된 사료의 수분함량은 27.0-27.6%, 단백질 함량은 31.9-32.3%, 지질 함량은 5.8-7.3%, 회분은 8.1-8.8%였다. 사료의 성분조성은 Table 2와 같다.

Table 2. Proximate composition of the experimental diets

Proximate composition	Dietary treatments (%)	
	Control	CA25
Moisture	27.6±0.3 ^a	27.0±0.1 ^b
Crude protein	32.3±5.1 ^a	31.9±1.6 ^b
Crude lipid	5.8±0.5 ^b	7.3±0.5 ^a
Ash	8.8±0.2 ^a	8.1±0.2 ^b

The values are mean±S.D. (n=3). Different superscript letters within rows represent significant differences between treatments (P<0.05).

Control, CA25; refer to the comment in Table 1.

Table 3. Fatty acid compositions of experimental diets (% of total fatty acids)

Fatty acids	Control	CA25
14:00	3.9±0.0	3.4±0.2
15:00	0.5±0.0	0.4±0.0
16:00	16.1±0.1	14.2±0.0
18:00	4.5±0.1	4.0±0.0
∑Saturates	26.8	24.0
16:1n-7	5.0±0.1	4.4±0.0
18:1n-9	18.9±0.2	17.2±0.1
18:1n-7	3.0±0.1	2.6±0.0
20:1n-11	0.9±0.0	1.4±0.1
20:1n-9	1.3±0.9	1.6±0.0
22:1n-11+13	1.7±0.0	1.3±0.0
22:1n-9	0.4±0.0	0.4±0.0
∑Monoenes	32.1	29.0
16:2n-4	0.5±0.0	0.5±0.0
16:3n-4	0.7±0.1	0.8±0.1
16:4n-1	0.9±0.0	1.2±0.0
18:2n-6	15.2±0.1	12.1±0.2
18:3n-3	2.0±0.2	1.4±0.0
CLA-1 ¹⁾	0.0±0.0	6.5±0.1
18:4n-3	1.3±0.0	1.2±0.0
CLA-2 ²⁾	0.0±0.0	6.7±0.1
20:4n-6	0.8±0.1	0.6±0.0
20:5n-3	6.0±0.1	5.8±0.1
22:5n-3	1.6±0.1	1.4±0.0
22:6n-3	7.7±0.6	5.8±0.0
∑Polyenes	42.0	48.0
Total CLA	0.0	13.1
∑n-6	17.0 ^a	13.3 ^b
∑n-3	19.9 ^a	16.5 ^a
∑n-3/∑n-6	1.17 ^a	1.24 ^a

The values are mean±S.D. (n=3). Different superscript letters within rows represent significant differences between treatments (P<0.05).

Control, CA25; refer to the comment in Table 1.

¹CLA-1: c9,t11-CLA, ²CLA-2: t10,c12-CLA.

어류사료에 포함된 지방산의 종류와 함량은 어류의 성장에 큰 영향을 미칠 수 있으므로 각 어종의 필수 지방산을 고려하여 어유의 첨가량과 종류를 결정하는 것이 바람직하다. Covadonga et al. (2004)이 실험한 ‘양식 돔과 자연산 돔의 지방산조성 실험’을 위해 제조된 사료조성을 근거해 볼 때 고등어의 정상적인 성장을 위해 본 실험의 사료는 지방산 조성이 알맞게 분포되어 있었다 (Table 3). 포화지방산의 함량은 24.0-26.8%, 모노엔산의 함량은 29.0-32.1%, 그리고 다가불포화산의 함량은 42.0-48.0%로 풍부하였다. 다가불포화산 중 C18:2n-6의 함량이 높은 것은 사료에 첨가된 대두유의 영향으로 여겨지며, CA25군의 경우 C20:5n-3과 C22:6n-3의 함량이 약간 낮은 것은 CLA의 증가로 인해 상대적으로 낮게 나타난 것으로 생각된다. 그러나 ∑n-3/∑n-6 비를 계산한 결과 Control구의 비는 1.17, CA25구의 비는 1.24로 CLA의 영향으로 n-3의 함량이 낮아 ∑n-3/∑n-6 비는 약간 높게 나타났다. CA25구의 cis-9, trans-11 CLA는 6.5%, trans-10, cis-12 CLA는 6.7%로 고른 분포를 나타내고 있었다.

Table 4. Growth performance of mackerel fed with different diets for 8 weeks

	Control	CA25
Initial body weight (g)	272.0±22.6 ^a	272.0±22.6 ^a
Final body weight (g)	423.3±25.8 ^b	431.3±27.4 ^a
Initial viscera weight (g)	26.0±5.1 ^a	26.0±5.1 ^a
Final viscera weight (g)	44.8±6.8 ^a	37.5±3.9 ^b
DGI ¹⁾	1.86 ^a	1.92 ^a
FCR ²⁾	1.00 ^a	1.00 ^a
VSI ³⁾	12.0 ^a	7.60 ^b

The values are mean±S.D. (n=6). Different superscript letters within rows represent significant differences between treatments ($P<0.05$).

¹DGI; Daily growth index=100×[(Final body weight)^{1/3}-(Initial body weight)^{1/3}]/days.

²FCR; Feed conversion ratio=100×[Total fed amount/(Final body weight-Initial body weight)].

³VSI; Viscerosomatic index=100×(viscera weight/body weight).

실험기간 중의 고등어 성장

실험사료를 급여한 고등어 성장에 관한 자료는 Table 4와 같다. 급여를 시작할 시점의 무게는 272.0 g이었다. 급여 8주후 Control구는 423.3±25.8 g, CA25구는 431.3±27.4 g이었다. 늦 가을의 낮은 수온이었음에도 불구하고 체중만으로 평가하면 오히려 CA25구의 체중이 더 많이 늘고, 내장무게의 절대 증가분을 보면 CA25구 경우 전체 고등어의 무게 중 내장의 함량이 Control구에 비해 28%나 적어 상대적으로 육의 함량이 증가되었음을 알 수 있었다. 내장계수 (VSI)를 보면 Control구의 63%에 불과함을 알 수 있어 단순히 체중증가뿐 아니라 육의 함량이 매우 증가되었음을 알 수 있었다. 더욱이 두 실험구 간에 사료효율은 같은 조건에서 Control구와 CA25구가 같은 1.00을 나타내었다. 어중에 따라 다르겠지만 본 실험에서는 일반사료와 CLA를 첨가한 사료와 비교했을 때 사료효율이나 일일성장율에는 서로 간에 큰 영향을 미치지 않았다. Bandarra et al. (2006)은 CLA를 급여하여 사육한 송어 내장지방의 무게가 감소하는 것을 보고하고 있으며, Kennedy et al. (2007)은 대구에 fish oil과 CLA를 급여하여 각각 사육하였는데, CLA를 급여한 대구의 내장계수가 더 작으며 사료효율 역시 차이가 없음을 보고하고 있다.

고등어의 일반성분 변화

8주간 사료를 급여한 후 측정된 고등어의 일반성분 함량은 Table 5에 나타내었다. 고등어 육의 수분함량은 처음엔 65.1%였지만, 4주 이후 8% 가까이 감소하여 57.0-58.0%를 보였으며, 그 이후 8주 때는 54.8-57.0%로 나타났다. 이는 같은 기간동안 지질의 증가에 기인된 것으로 여겨진다 (23.1-24.3%). 단백질 함량의 경우 처음 18.0%가 4주에는 19.7-21.2%로 소량 증가하였지만, 8주 후에는 17.4-17.5%로 오히려 실험 시작 시점보다 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 4주 Control 18.6-19.1%, 4주 CA25 19.2-21.1%, 8주 Control 23.1-32.1%, CA25 24.3-26.5%로 현저히 증가함을 보여준다. 이는 감성돔을 대상

으로 같은 내용의 실험을 한 Guo (2009)의 연구결과와도 같은 경향을 보여주고 있다. 다만 Jeong et al. (1998)의 연구 결과에 의하면 계절적으로 11월 이후 지질의 함량이 감소해야 함에도 불구하고 실험기간 중 두 배 가까이 증가를 보이는 것은, 산란 회유 시 에너지원 및 생식선의 성숙을 위해 지질이 소모되어야 하는데 회유하지 못하고 가두리에 갇혀 활동량이 현저히 줄어들어 지방의 축적된 것으로 추정되었다. CLA의 양은 CLA가 첨가된 사료를 먹인 4주 및 8주 후 CA25구 각각의 육에서는 전체 지방산 중에서 2.1%, 2.3%로 나타났지만 내장에서는 모두 전체지방산 중 1.8%로 나타났다. 이는 Guo (2009)가 실험한 감성돔과 우럭의 실험결과에 비추어 볼 때, 고등어에 CLA가 축적된 양이 같은 기간에 비해 상대적으로 적음을 알 수 있었다. 회분의 함량은 1.3-1.8%로 모두 적은 양이었다.

Table 5. Proximate composition (%) of the mackerel fed with different diets for 8 weeks

	0 week		4 week		8 week	
	Control	Control	CA25	Control	CA25	
Moisture	65.1±3.1	58.0±0.5	57.0±0.4	57.0±0.8	54.8±0.8	
Protein	18.0±2.3 (51.6)	21.2±3.0 (50.4)	19.7±0.9 (45.8)	17.4±1.0 (40.4)	17.5±2.5 (38.7)	
Lipid M ¹⁾	11.1±2.6 (31.8)	18.6±0.3 (44.3)	19.2±0.9 (44.7)	23.1±2.4 (51.7)	24.3±0.1 (54.6)	
Lipid V ²⁾	14.1±2.6 (40.4)	19.1±3.2 (51.7)	21.1±0.2 (49.1)	32.1±2.7 (71.8)	26.5±3.1 (59.6)	
CLA M			2.1		2.3	
CLA V			1.8		1.8	
Ash	1.6±0.4 (3.6)	1.3±0.4 (2.9)	1.8±0.2 (4.0)	1.4±0.0 (3.1)	1.3±0.3 (2.9)	

The values are mean±S.D. (n=3). Parenthesis is dry basis. Control, CA25; refer to the comment in Table 1.

¹M; Muscle, ²V; Viscera.

Table 6. Carotenoids content of muscle and viscera in mackerel fed with different diets for 8 weeks

Feeding periods	Samples	Dietary treatments (mg/100 g)	
		Control	CA25
4 week	Muscle	0.01±0.0 ^b	0.08±0.0 ^a
	Viscera	0.02±0.1 ^b	0.15±0.0 ^a
8 week	Muscle	0.03±0.0 ^b	0.10±0.0 ^a
	Viscera	0.03±0.0 ^b	0.13±0.0 ^a

The values are mean±S.D. (n=3). Different superscript letters within rows represent significant differences between treatments ($P<0.05$).

Control, CA25; refer to the comment in Table 1.

고등어 육과 내장에서 carotenoids 함량 변화

고등어 사육 4주, 8주 후 육과 내장의 carotenoids 함량은 Table 6에 나타내었다. 본 실험에서는 멧게껍질에서 추출한 carotenoids를 사용하였는데 이는 Lee et al. (1994)에 의해 멧게껍질 추출물이 합성첨가제인 carophyll pink (Hoffman La-Roche, Basle, Switzerland)와 같은 착색효과가 있음이 입증되었기 때문이다. Carotenoids는 발색의 원인이 되는 공액이중결합이 중복된 장쇄상의 구조를 가지고 있어 생리적으로 생체

에 유해한 자유 라디칼 (free radical)을 포집하거나 뛰어난 항산화 기능을 나타낸다 (Tee, 1992). 특히 β-carotene과 astaxanthin 등은 강력한 항산화 효과 뿐 아니라 성장률 개선, 질병발생 억제, 어육의 색상개선 등의 기능성을 나타낸다고 보고되고 있으며 (Hong et al., 1998), 일반적으로 carotenoids는 지용성이며 공액이중결합의 수가 많을수록 황색에서 적색으로 이행하는 것으로 알려져 왔다 (DuPlessis and Grobbelaar, 1979). 실험 결과 육의 경우 CA25구에서 4주, 8주 모두 0.08±0.0 mg/100 g, 0.10±0.0 mg/100 g 그리고 내장의 경우는 0.15±0.0 mg/100 g, 0.13±0.0 mg/100 g으로 육에 비해 내장의 축적율이 약간 높긴 하지만 모두 그리 높은 축적율을 나타내지는 않았다. 이는 Kang and Choi (2009)가 무지개 송어의 발색을 위해 carophyll pink와 멍게껍질 추출물 (ascidian tunic extracts)을 각각 급이 하였을 때 carophyll pink 첨가구에 비해 멍게껍질 추출물 첨가구의 함량이 낮다고 보고하고 있는데 어류에 따른 carotenoids 대사의 차이로 보인다.

Table 7. Fatty acid compositions of muscle and viscera lipid in mackerel at the start of the experiment (% of total fatty acid)

Fatty acids	Muscle	Viscera
14:0	3.6 ± 0.0	3.7 ± 0.5
15:0	0.4 ± 0.0	0.4 ± 0.1
16:0	17.1 ± 0.0	19.3 ± 0.8
17:0	0.5 ± 0.4	0.5 ± 0.1
18:0	4.8 ± 1.1	+5.2 ± 0.1
ΣSaturates	27.1	29.7
16:1n-7	6.3 ± 0.1	6.4 ± 0.6
18:1n-9	19.3 ± 0.1	19.8 ± 0.6
18:1n-7	3.9 ± 0.1	3.9 ± 0.2
20:1n-11+9	2.5 ± 0.0	2.1 ± 0.8
22:1n-11+13	1.6 ± 0.1	1.5 ± 0.5
22:1n-9	0.5 ± 0.1	0.6 ± 0.3
ΣMonoenes	35.6	36.1
16:2n-4	1.1 ± 0.0	1.0 ± 0.1
16:3n-4	0.7 ± 0.0	0.9 ± 0.1
16:4n-1	0.6 ± 0.1	0.4 ± 0.1
18:2n-6	1.7 ± 0.1	1.3 ± 0.5
18:3n-4	0.5 ± 0.4	0.2 ± 0.0
18:3n-3	0.8 ± 0.1	0.6 ± 0.1
18:4n-3	1.7 ± 0.0	1.4 ± 0.0
20:2NMID	0.4 ± 0.1	0.4 ± 0.1
20:4n-6	1.2 ± 0.0	1.2 ± 0.0
20:4n-3	0.6 ± 0.5	0.5 ± 0.1
20:5n-3	7.6 ± 0.0	7.7 ± 0.6
21:5n-3	0.5 ± 0.1	0.5 ± 0.2
22:5n-3	1.8 ± 0.6	1.9 ± 0.3
22:6n-3	11.7 ± 0.0	10.9 ± 0.5
ΣPolyenes	34.5	31.6
Total CLA	0.0	0.0
Σn-6	4.4 ^a	3.5 ^a
Σn-3	25.2 ^a	23.7 ^a
Σn-3/Σn-6	5.7 ^a	6.7 ^a

The values are mean±S.D. (n=3). Different superscript letters within rows represent significant differences between treatments (P<0.05).

실험 초기 고등어의 육과 내장의 지방산 조성

실험의 시작 전 사육된 고등어 육과 내장의 지방산 조성을 Table 7에 나타내었다. 어류지질을 구성하고 있는 지방산 조성의 변화를 보면 육의 경우 C16:0과 C18:1은 각각 17.1% 및 23.2%였고, EPA (C20:5n-3) 조성비는 7.6%, DHA (C22:6n-3) 조성비는 11.7%로 나타났다. 내장의 경우 C16:0과 C18:1은 각각 19.3% 및 23.7%였고, EPA 조성비는 7.7%, DHA 조성비는 10.9%로 육과 내장의 지방산 조성에 큰 차이는 없었다. 또한 육과 내장 모노엔산은 각각 35.6%, 36.1%, 폴리엔산은 34.5%, 31.6%, n-3 HUFA 조성비는 25.2%, 23.7%로 함량에 있어 그리 큰 차이를 보이지 않았다. 특히 고등어의 HUFA의 경우 전체 지방산중 31.6-34.5%를 차지하는데 이 중 n-3 HUFA가 차지하는 비중이 73.0-75.0% 이었다.

Table 8. Fatty acid compositions of muscle lipid in mackerel after feeding the experimental diets for 4 week (% of total fatty acid)

Fatty acids	Control	CA25
14:0	2.9 ± 0.5	3.1 ± 0.2
16:0	19.0 ± 0.6	18.6 ± 0.4
17:0	0.5 ± 0.1	0.5 ± 0.1
18:0	5.6 ± 0.2	6.9 ± 0.4
ΣSaturates	28.9	30.0
16:1n-7	5.8 ± 0.2	5.6 ± 0.3
18:1n-9	25.7 ± 0.8	23.2 ± 0.3
18:1n-7	4.1 ± 0.1	3.8 ± 0.2
20:1n-11+9	2.4 ± 0.6	3.1 ± 0.5
22:1n-11+13	1.4 ± 0.4	1.4 ± 0.3
ΣMonoenes	40.8	38.5
16:2n-4	1.0 ± 0.1	0.6 ± 0.5
16:3n-4	0.9 ± 0.1	0.8 ± 0.0
18:2n-6	3.0 ± 0.5	3.3 ± 0.8
18:3n-6	0.3 ± 0.0	0.3 ± 0.0
18:3n-4	0.3 ± 0.0	0.2 ± 0.1
18:3n-3	0.7 ± 0.0	0.6 ± 0.1
CLA-1 ¹⁾	0.0 ± 0.0	1.1 ± 0.5
18:4n-3	1.1 ± 0.1	1.1 ± 0.1
CLA-2 ²⁾	0.0 ± 0.0	1.0 ± 0.5
20:2NMID	0.6 ± 0.1	0.5 ± 0.1
20:4n-6	1.3 ± 0.1	0.8 ± 0.5
20:4n-3	0.5 ± 0.0	0.5 ± 0.0
20:5n-3	5.6 ± 0.2	5.7 ± 0.2
21:5n-3	0.3 ± 0.0	0.3 ± 0.0
22:4n-6	0.4 ± 0.0	0.3 ± 0.1
22:5n-3	1.8 ± 0.1	1.8 ± 0.1
22:6n-3	9.7 ± 1.0	9.2 ± 0.9
ΣPolyenes	29.6	30.5
Total CLA	0.0	2.1
Σn-6	5.6 ^a	5.3 ^a
Σn-3	20.0 ^a	19.4 ^a
Σn-3/Σn-6	3.6 ^a	3.6 ^a

The values are mean±S.D. (n=3). Different superscript letters within rows represent significant differences between treatments (P<0.05).

Control, CA25; refer to the comment in Table 1.

¹⁾CLA-1; c9,t11-CLA, ²⁾CLA-2; t10,c12-CLA.

Table 9. Fatty acid compositions of viscera lipid in mackerel after feeding the experimental diets for 4 week (% of total fatty acid)

Fatty acids	Control	CA25
14:0	3.0 ± 0.3	3.0 ± 0.1
15:0	0.4 ± 0.1	0.4 ± 0.1
16:0	17.8 ± 1.7	18.2 ± 0.7
17:0	0.5 ± 0.1	0.4 ± 0.1
18:0	8.1 ± 3.8	7.1 ± 0.4
∑Saturates	30.3	29.7
16:1n-7	5.7 ± 0.4	5.5 ± 0.2
18:1n-9	25.3 ± 1.2	24.2 ± 1.6
18:1n-7	4.2 ± 0.4	3.9 ± 0.2
18:1n-5	0.3 ± 0.1	0.3 ± 0.1
20:1n-11+9	3.3 ± 0.7	3.0 ± 0.5
22:1n-11+13	1.7 ± 0.4	1.7 ± 0.6
∑Monoenes	41.6	39.9
16:2n-4	1.1 ± 0.1	1.0 ± 0.1
16:3n-4	0.9 ± 0.2	0.8 ± 0.1
18:2n-6	2.7 ± 0.6	3.0 ± 0.4
18:3n-6	0.4 ± 0.3	0.2 ± 0.0
18:3n-3	0.6 ± 0.0	2.2 ± 2.8
CLA-1 ¹⁾	0.0 ± 0.0	0.9 ± 0.2
18:4n-3	1.1 ± 0.2	0.9 ± 0.0
CLA-2 ²⁾	0.0 ± 0.0	0.8 ± 0.2
20:4n-6	1.5 ± 0.0	1.3 ± 0.1
20:4n-3	0.6 ± 0.1	0.6 ± 0.3
20:5n-3	5.6 ± 0.7	5.3 ± 0.4
22:4n-6	0.3 ± 0.0	0.3 ± 0.0
22:5n-3	1.7 ± 0.2	1.5 ± 0.1
22:6n-3	7.4 ± 3.6	8.3 ± 0.9
∑Polyenes	27.5	30.2
Total CLA	0	1.8
∑n-6	5.7 ^a	5.4 ^a
∑n-3	17.5 ^a	19.2 ^a
∑n-3/∑n-6	3.1 ^a	3.6 ^a

The values are mean±S.D.(n=3). Different superscript letters within rows represent significant differences between treatments ($P<0.05$).

Control, CA25; refer to the comment in Table 1.

¹CLA-1; c9,t11-CLA, ²CLA-2; t10,c12-CLA.

고등어 사육기간 중 육 및 내장 지방산 조성의 변화

CLA가 함유된 사료와 함유되지 않은 사료를 각각 8주 동안 고등어에 급여 하면서 체내 축적량 및 내장 중 축적량의 변화를 Table 8, 9, 10 및 11에 각각 나타내었다. 육의 포화지방산의 조성비는 4주 후 Control구, CA25구 에서 각각 28.9%, 30.0%였으며, 모노엔산의 조성비는 각각 40.8%, 38.5%였고, 폴리엔산의 조성비는 각각 29.6%, 30.5%로 나타났다. 지방산의 전체 조성은 큰 변화를 나타내지 않았으나, 다만 CA25군에서 CLA가 2.1% 축적되었고 CLA-1과 2사이에 양의 차이는 거의 없었다. 양식 8주 후 육의 포화지방산의 조성비는 Control구, CA25구에서 각각 27.5%, 28.8%, 모노엔산의 조성비는 각각 44.6%, 41.0%, 폴리엔산의 조성비는 각각 29.4%, 31.9%로 나타났고, 4주와 8주의 급여기간으로 인한 지방산조성의 큰 변화는 없었다. 역시 CA25의 경우에는 CLA가 2.3% 축적되었고, CLA-1과 2사이에 함량의 차이도 거의 없었다. 실험 8주간의 사료 급여 기간 동안 CA25구에서 n-6계 지방산의 증가를 보이고 있는데

이는 각각의 사료에 대두유를 첨가한 것이 그 원인으로 추정되었다. 그러나 초기에는 5.7이었던 $\sum n-3/\sum n-6$ 의 비가 4주에 3.6, 8주에 3.3 정도에 머무는 것으로 보아 n-3 필수지방산의 추가 급여는 하지 않더라도 성장에는 영향을 미치지 않는 것으로 여겨진다.

Table 10. Fatty acid compositions of muscle lipid in mackerel after feeding the experimental diets for 8 week (% of total fatty acid)

Fatty acids	Control	CA25
14:0	2.9 ± 0.1	2.9 ± 0.0
15:0	0.3 ± 0.0	0.3 ± 0.0
16:0	18.1 ± 0.5	17.9 ± 0.0
17:0	0.4 ± 0.0	0.4 ± 0.0
18:0	5.4 ± 0.1	6.7 ± 0.1
20:0	0.2 ± 0.0	0.3 ± 0.0
∑Saturates	27.5	28.8
16:1n-7	6.0 ± 0.1	5.7 ± 0.1
18:1n-9	28.2 ± 0.5	25.4 ± 0.1
18:1n-7	4.4 ± 0.1	4.0 ± 0.0
20:1n-11	1.1 ± 0.3	0.9 ± 0.0
20:1n-9	2.2 ± 0.4	2.1 ± 0.1
22:1n-11+13	1.6 ± 0.1	1.8 ± 0.1
∑Monoenes	44.6	41.0
16:2n-4	0.3 ± 0.0	0.4 ± 0.0
16:3n-4	0.8 ± 0.0	0.7 ± 0.0
18:2n-6	3.1 ± 0.2	3.5 ± 0.1
18:3n-3	0.7 ± 0.0	0.7 ± 0.0
CLA-1 ¹⁾	0.0 ± 0.0	1.2 ± 0.2
18:4n-3	0.9 ± 0.0	1.0 ± 0.0
CLA-2 ²⁾	0.0 ± 0.0	1.1 ± 0.2
20:2NMID	0.6 ± 0.1	0.5 ± 0.0
20:4n-6	1.3 ± 0.1	1.2 ± 0.0
20:3n-3	0.3 ± 0.0	0.0 ± 0.0
20:4n-3	0.5 ± 0.0	0.5 ± 0.0
20:5n-3	5.5 ± 0.1	5.8 ± 0.1
22:5n-3	1.7 ± 0.1	1.7 ± 0.0
22:6n-3	9.0 ± 0.3	8.9 ± 0.3
∑Polyenes	29.4	31.9
Total CLA	0.0	2.3
∑n-6	5.6 ^a	5.7 ^a
∑n-3	19.0 ^a	19.0 ^a
∑n-3/∑n-6	3.4 ^a	3.3 ^a

The values are mean±S.D.(n=3). Different superscript letters within rows represent significant differences between treatments ($P<0.05$).

Control, CA25; refer to the comment in Table 1.

¹CLA-1; c9,t11-CLA, ²CLA-2; t10,c12-CLA.

Table 11. Fatty acid compositions of viscera lipid in mackerel after feeding the experimental diets for 8 week (% of total fatty acid)

Fatty acids	Control	CA25
14:0	2.6 ± 0.1	2.6 ± 0.2
16:0	17.5 ± 0.4	17.4 ± 0.5
17:0	0.4 ± 0.0	0.4 ± 0.0
18:0	5.7 ± 0.2	7.1 ± 0.4
∑Saturates	27.0	28.5
16:1n-7	5.2 ± 0.3	5.6 ± 1.3
18:1n-9	29.0 ± 0.3	26.8 ± 1.4
18:1n-7	4.5 ± 0.0	4.2 ± 0.2
20:1n-11	0.7 ± 0.0	0.8 ± 0.2
20:1n-9	2.5 ± 0.1	2.2 ± 0.1
22:1n-11+13	1.5 ± 0.1	1.5 ± 0.2

Table 11. continued

Fatty acids	Control	CA25
∑Monoenes	44.7	42.0
16:3n-4	0.7 ± 0.0	0.7 ± 0.0
18:2n-6	2.6 ± 0.2	2.8 ± 0.3
18:3n-3	0.6 ± 0.0	0.6 ± 0.0
CLA-1 ¹⁾	0.0 ± 0.0	1.0 ± 0.2
18:4n-3	1.1 ± 0.3	0.9 ± 0.1
CLA-2 ²⁾	0.0 ± 0.0	0.8 ± 0.2
20:2NMID	0.8 ± 0.3	0.7 ± 0.2
20:4n-6	1.4 ± 0.1	1.3 ± 0.1
20:4n-3	0.6 ± 0.1	0.5 ± 0.0
20:5n-3	5.4 ± 0.2	5.6 ± 0.3
22:5n-3	1.7 ± 0.1	1.7 ± 0.0
22:6n-3	9.3 ± 0.1	9.1 ± 0.4
∑Polyenes	29.8	30.7
Total CLA	0.0	1.8
∑n-6	5.3 ^a	5.2 ^a
∑n-3	19.3 ^a	18.8 ^a
∑n-3/∑n-6	3.6 ^a	3.6 ^a

The values are mean±S.D.(n=3). Different superscript letters within rows represent significant differences between treatments ($P<0.05$).

Control, CA25; refer to the comment in Table 1.

¹CLA-1; c9,t11-CLA, ²CLA-2; t10,c12-CLA.

양식 4주 후 내장의 포화지방산의 조성비는 Control구, CA25구에서 각각 30.3%, 29.7%, 모노엔산의 조성비는 각각 41.6%, 39.9%, 폴리엔산의 조성비는 각각 27.5%, 30.2%로 각 군 간의 큰 차이를 보이지 않았다. 양식 4주 동안 내장에 CLA는 1.8% 축적되었으며, CLA-1과 2 사이에 양의 차이는 거의 없었다. 양식 8주 후 내장의 포화지방산의 조성비는 Control구, CA25구에서 각각 27.0%, 28.5%, 모노엔산의 조성비는 각각 44.7%, 42.0%, 폴리엔산의 조성비는 각각 29.8%, 30.7%로 나타나 육과 마찬가지로 4주와 8주 사료 급이를 통한 급격한 지방산의 변화는 없었다. CLA 역시 4주와 같은 1.8%가 축적이 되었고, CLA-1과 2 사이에 양의 차이는 거의 없었다. 실험초기 6.7이었던 ∑n-3/∑n-6의 비 4주, 8주 모두 3.6에 머무는 것으로 보아 육과 마찬가지로 식물성 사료로 인해 n-6 지방산이 초기에 증가하기는 하였지만 추가 급이를 하더라도 변동이 없음을 알 수 있었다. 4주와 8주, 육과 내장의 두 차례에 걸친 실험을 통해 사료 급이 후 CLA의 축적량과 n-6계 지방산 증가량을 보면 8주 이상의 추가 급이를 통해 변화를 기대하기는 어려울 것으로 추측되었다.

Schut et al. (1997)에 의하면 쥐 등의 설치류를 대상으로 한 CLA 생리활성 실험에서 체내에 흡수된 CLA가 모노엔산 조성비를 약간 감소시킨다고 보고하고 있는데, 이는 본 실험의 결과 역시 성장하면서 전체적인 monoenes의 함량이 증가하지만, 4주 급이 후 Control구와 CA25군의 육에서는 각각 40.8%, 38.5%, 내장에서는 각각 41.6%, 39.9%로 CA25구가 Control구에 비해 monoenes의 조성비가 낮음을 알 수 있었다. 이는 8주 후 실험에도 동일한 결과를 보여 Control, CA25 육에서도 각각 44.6%, 41.0%, 내장에서도 각각 44.7%, 42.0%를 나타내고 있었다. CLA가 다양한 대사를 통해 동물체내에서 항암, 항동맥경화, 항비만 등의 탁월한 효과가 입증되어 기능

성식품으로 인정을 받았고, 실제로 사료에 CLA를 첨가하여 기능성 식품을 생산하는 추세가 늘었음에도 불구하고 (Ha et al., 1998) 양식어민들이 사료에 CLA 첨가를 우려하는 것은 CLA가 어류의 지방 축적을 억제시킨다는 연구결과 때문이다 (Azain et al., 2000). 그러나 Twibell et al. (2001)은 어류 실험을 통해 CLA수준이 증가할 때 성장률이 약간 감소하였지만 사료 효율은 오히려 향상되었다고 보고하고 있다. 그러므로 본 실험의 결과로 볼 때 CLA와 같은 기능성 사료 급이의 시기와 양을 적절히 조절할 경우 기능성 어류의 생산을 극대화하는 효율적인 기준을 만들 수 있을 것으로 여겨진다.

사 사

본 연구과제는 2009년도 경남테크노파크에서 시행한 지역 기반육성기술개발사업 연구비 지원에 의해 수행된 결과의 일부이며, 이에 감사 드립니다 (과제번호 : 20094001).

참고문헌

- Ackman RG. 1995. Composition and nutritive value of fish and shellfish lipids. In: Fish and Fishery Products. Ruither A, ed. CAB International, London, U.K., 117-156.
- AOAC. 1995. Official Methods of Analysis, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, U.S.A., 69-74.
- AOCS. 1990. AOCS official Methods of Ce 1b-89. In: Official Methods and Recommended Practice of the AOCS. 4th ed., Association of Official Chemists and Science, Champaign, IL, U.S.A.
- Azain MJ, Hasuman DB, Sisk MB, Flatt WP and Jewell DE. 2000. Dietary conjugated linoleic acid reduces rat adipose tissue cell size rather than cell number. J Nutrition 130, 1548-1554.
- Bandarra NM, Nunes ML, Andrade AM, Prates JAM, Pereira S, Monateiro M, Rema P and Valente LMP. 2006. Effect of dietary conjugated linoleic acid on muscle, liver and visceral lipid deposition in rainbow trout juveniles (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 254, 496-505.
- Bauerfeind JC. 1981. Natural food color. In: Carotenoids as Colorants and Vitamin A Precursors. Bauerfeind JC, ed. Academy Press Inc, New York, U.S.A. 1-47.
- Bligh EG and Dyer WT. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. Can J Biochem Physiol 37, 911-917.
- Choi BD, Kang SJ and Lee KH. 1996. 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*). J Korean Fish Sci 29, 359-368.
- Choi BD, Kang SJ, Choi YJ, Youm MG and Lee KH. 1994. Utilization of ascidian (*Halocynthia roretzi*) tunic 3. Carotenoid compositions of ascidian tunic. Bull Korean Fish Soc 27, 344-350.
- Covadonga R, Carolina A, Pilar B, Juana RC, Francisco JS and Antonio I. 2004. Assential of lipid essential fatty acids requirements of black seabream (*Spondylisome cantharus*) by comparison of lipid composition in muscle and liver of wild and captive adult fish. Com Biochem Physio Part B 139, 619-629.
- DuPlessis LM and Grobbelaar N. 1979. Isomerization of the double bonds of a conjugated fatty acid during beta-oxidation. Lipids 14, 943-948.
- Guo R. 2010. Conjugated linoleic acid (CLA) deposition and antioxidant activity of lipid extracted from black seabream (*Acanthopagrus schlegeli*) and rockfish (*Sebastes schlegeli*) fed with CLA and carotenoids. M.S. Thesis, Gyeongsang National University, Tongyeong, Korea.
- Ha YL, Park GB, Kang SJ, Park WS and Park KA. 1998. Development and utilization of prospective biofunctional resources in agriculture. In: Proceeding 1st Agr. Res. Util. Symposium for 50th Anniversary. Ha YL, ed. Gyeongsang National University, Jinju, Korea, 49-55.
- Hong SP, Kim MH and Whang JK. 1998. Biological functions and production technology of carotenoids. Korean Soc Food Sci Nutr 27, 1297-1306.
- Ip C, Dong Y, Ip MM, Banni S, Carta G, Angioni E, Murru E, Spada S, Melis MP and Saebo A. 2002. Conjugated linoleic acid isomers and mammary cancer prevention. Nutr Cancer 43, 52-58.
- Jeong BY, Moon SK, Choi BD and Lee JS 1998. Seasonal variation in lipid class and fatty acid composition of 12 species of Korean fish. J Korea Fish Soc 32, 30-36.
- Kang SJ and Choi BD. 1997. Encouragement of cooperative research after openness of import fishes/Production of fish containing newly recognized anticarcinogen CLA(Conjugated Linoleic Acid). J Ins Marin Industry 8, 3-17.
- Kang SJ and Choi BD. 2009. Composition in carotenoids of rainbow trout fed with CLA and ascidian tunic extracts. Kor J Fish Aquat Sci 42, 721-724.
- Kennedy SR, Bickerdike R, Bergec RK, Portera AR and Tochera DR. 2007. Influence of dietary conjugated linoleic acid (CLA) and tetradecylthioacetic acid (TTA) on growth, lipid composition and key enzymes of fatty acid oxidation in liver and muscle of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). Aquaculture 264, 372-382.
- KFDA, 2009. Korea Food & Drug Administration. <http://hfoodi.kfda.go.kr/material/>
- Kim JO. 1998. Newly recognized multifunctional fatty acids for the production of high quality meat, fish and agricultural products. Ministry of Agriculture and Forestry 3-5.
- Lee KH, Kang SJ, Choi BD, Choi YJ and Youm MG. 1994. Utilization of ascidian tunic extracts on pigmentation and growth of rainbow trout. J Fish Sci Tech 27, 232-239.
- Park HY, Lim CW, Kim YK, Choi TJ, Yoon HD, Lee KJ, Seo YK, Kim JY and Park KE. 2007. Effects of supplemental *asterias amurensis* extract in the experimental diets on growth, blood chemistry and superoxide production of kidney phagocytes of *Sebastes schlegeli*. J Korean Soc Appl Biol Chem 50, 362-366.
- Schut HA, Cumming DA and Smale MHE. 1997. DNA Adducts of heterocyclic amines: Formation, removal and inhibition by dietary components. Mutat Res Fund Mol Microbial 376, 185-194.
- Tee ES. 1992. Carotenoids and retinoids in human nutrition. Cri Rev Food Sci Nutr 31, 103-163
- Torrissen OJ. 1986. Pigmentation of salmonids—A comparison of astaxanthin and canthaxanthin as pigment sources for rainbow trout. Aquaculture 53, 271-278.
- Twibell RG, Watkins BA and Brown PB. 2001. Dietary conjugated linoleic acids and lipid source alter fatty acid composition of juvenile yellow perch, *Perca flavescens*. J Nutri 131, 2322-2328.
- Umeda K, Tanka Y and Ohira O. 1971. Carotenoid pattern of *citrus unshiu* flesh analysis of orange juice. Nippon Shokuhu Kogyo Gakkaishi 18, 13-20.
- Whang HJ. 1999. The change of carotenoid pigment in Korean pumpkin using drying. Food Eng Prog 3, 214-219.

2010년 8월 20일 접수

2010년 10월 12일 수정

2010년 12월 3일 수리