

저수온기 참돔 치어의 성장 및 체조성에 미치는 사료내 지질의 영향

황형규* · 김경덕¹ · 박민우¹ · 한석중² · 강용진³ · 김응오 · 김대현¹
국립수산과학원 남해수산연구소, ¹양식관리과, ²제주수산연구소, ³중앙내수면연구소

Effects of Dietary Lipid Level on Growth and Body Composition of Juvenile Red Sea Bream (*Pagurus major*) during Winter

Hyung Kyu HWANG*, Kyoung-Duck KIM¹, Min-Woo PARK¹, Seock-Jung HAN²,
Yong Jin KANG³, Eung-Oh KIM and Dae-Hyun KIM¹
South Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Yeosu 556-906, Korea
¹Aquaculture Management Division, NFRDI, Busan 619-902, Korea
²Jeju Fisheries Research Institute, NFRDI, Jeju 690-192, Korea
³Inland Fisheries Research Institute, NFRDI, Gapyeong 477-815, Korea

This study was conducted to investigate effects of dietary lipid level on growth and body composition of juvenile red sea bream in low temperatures. Duplicate groups of fish (initial body weight of 79 g) were fed one of three isonitronic diets (47% crude protein) containing different lipid levels (10%, 17% and 22%) for 25 weeks during the winter season. Weight gain and survival of fish fed 17% lipid diet were significantly ($P<0.05$) higher than those fish fed the 10% or 22% lipid diet. Protein efficiency ratio, daily feed intake, condition factor, hepatosomatic index and viscerasomatic index were not affected by dietary lipid level, but feed efficiency of fish fed 10% lipid diet was significantly ($P<0.05$) lower than those fish fed the 17% or 22% lipid diet. Proximate composition of the whole body, liver, viscera and dorsal muscle were not significantly different among all groups except for crude protein content of dorsal muscle. The contents of 16:0, 18:0, 20:4n-3 and 20:5n-3 of the whole body were significantly ($P<0.05$) affected by dietary lipid level. The results of this study suggest that an increased dietary lipid level from 10% to 17% can improve growth of juvenile red sea bream in low temperature periods.

Key words: Lipid level, Red sea bream, Growth, Low temperature

서 론

현재 우리나라의 해산어류 양식은 넙치와 조피볼락 위주이며, 이외 어종의 양식 생산량은 미약한 실정이다. 양식어종이 넙치 및 조피볼락에 편중되어 이들 생산량이 전체의 90% 내외를 차지하기 때문에 일시 대량 출하시 가격 하락 등의 문제점을 초래할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 넙치나 조피볼락을 대신할 수 있는 양식어종을 다양화 하려는 추세이다. 그 중 참돔은 맛이 뛰어나 소비자들에게 인기가 좋은 고급어종이며, 또한 가격이 높아 양어인들이 선호하는 어종이다.

사료의 지질은 단백질이나 탄수화물보다 에너지가가 높아 값비싼 사료 단백질을 절감시킬 수 있을 뿐만 아니라, 필수지방산 공급원으로 어류의 성장과 체내대사에 있어 중요한 영양소이다. 또한 사료의 지질함량은 어류의 성장이나 체조성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며, 동일한 사료 단백질 함량에서 지질 함량을 조절함으로써 무지개송어 (Takeuchi, 1982), 차넬메기 (Garling and Wilson, 1976) 및 조피볼락 (Lee et al., 2002) 등 여러 어종에서 성장 및 사료효율이 개선되었다고 보고된 바 있다.

어류의 영양소 이용률은 수온에 따라 달라질 수 있으며, 특히 사료의 지질 및 에너지 함량은 사육수온에 따라서 어류의 성장 및 사료이용률에 다르게 영향을 미칠 수 있다 (Olsen and Ringø, 1998; Peres and Oliva-Teles, 1999). 참돔은 수온 20-26°C에서 성장이 잘되는 어종이며, 참돔의 영양요구에 관한 대부분의 연구들은 이들의 성장에 적합한 수온에서 수행되었다 (Yone et al., 1971; Fujii and Yone, 1976). 그러나 우리나라의 참돔 양성장에서는 수온이 20°C 보다 낮은 저수온을 상당기간 나타내고 있다. 따라서 사육수온 혹은 계절별로 참돔 사육에 적합한 사료제조를 위해서는 수온에 따른 영양소 이용성에 관한 연구들이 수행되어야 한다. 그러나 저수온기에 참돔을 대상으로 한 사료 영양소 이용에 관한 연구는 미비한 실정이다. 그래서 본 연구에서는 저수온기에 참돔 양식 생산성을 향상시키기 위한 사료연구의 일환으로, 사료의 지질(에너지)함량이 겨울철에 사육된 참돔 치어의 성장 및 체조성에 미치는 영향에 관하여 조사하였다.

재료 및 방법

실험사료

실험사료는 Table 1에 나타낸 바와 같이 단백질원으로 갈색

*Corresponding author: ktson@nfrdi.go.kr

Table 1. Ingredient and nutrient contents of experimental diets

Ingredient (%)	Lipid levels (%)		
	10	17	22
Brown fish meal	64.0	64.0	64.0
α -Starch	28.5	22.5	16.5
Squid liver oil	3.0	9.0	15.0
Vitamin premix ¹	2.0	2.0	2.0
Mineral premix ²	2.0	2.0	2.0
Choline chloride	0.5	0.5	0.5
Nutrient contents (DM basis)			
Crude protein (%)	47.1	47.0	46.5
Crude lipid (%)	9.9	16.5	21.8
Ash (%)	11.5	11.4	11.3
Crude fiber (%)	2.2	2.2	2.0
Gross energy (cal/g)	4821	5090	5213

¹ Vitamin premix contained the following amount which were diluted in cellulose (g/kg premix): L-ascorbic acid, 121.2; DL- α -tocopheryl acetate, 18.8; thiamin hydrochloride, 2.7; riboflavin, 9.1; pyridoxine hydrochloride, 1.8; niacin, 36.4; Ca-D-pantothenate, 12.7; myo-inositol, 181.8; D-biotin, 0.27; folic acid, 0.68; p-aminobenzoic acid, 18.2; menadione, 1.8; retinyl acetate, 0.73; cholecalciferol, 0.003; cyanocobalamin, 0.003.

² Mineral premix contained the following ingredients (g/kg premix): MgSO₄·7H₂O, 80.0; NaH₂PO₄·2H₂O, 370.0; KCl, 130.0; Ferric citrate, 40.0; ZnSO₄·7H₂O, 20.0; Ca-lactate, 356.5; CuCl, 0.2; AlCl₃·6H₂O, 0.15; KI, 0.15; Na₂Se₂O₃, 0.01; MnSO₄·H₂O, 2.0; CoCl₂·6H₂O, 1.0.

Table 2. Fatty acids composition (% of total fatty acids) of the experimental diets

Fatty acids	Lipid levels (%)		
	10	17	22
C14:0	3.7	4.1	4.2
C16:0	19.5	18.1	15.9
C16:1n-7	5.9	6.8	8.2
C18:0	3.9	3.6	2.8
C18:1n-9	14.5	16.7	19.3
C18:2n-6	1.1	1.5	1.7
C18:3n-3	1.2	1.2	1.4
C18:4n-3	0.4	0.5	0.6
C20:1n-9	2.2	2.6	5.2
C20:3n-6	0.1	0.1	0.1
C20:4n-6	0.8	0.7	0.6
C20:4n-3	0.6	0.8	0.7
C20:5n-3	19.0	17.1	16.1
C22:1n-9	0.9	1.2	3.6
C22:2n-6	1.0	0.9	0.8
C22:3n-3	0.4	0.4	0.3
C22:5n-3	3.9	4.2	3.2
C22:6n-3	21.0	19.6	15.3
n-3 HUFA ¹	44.9	41.9	35.6

¹ Highly unsaturated fatty acids (C₂₀≤20).

어분을 사용하여 사료의 단백질함량이 47% 전후가 되도록 하였으며, 지질원으로 오징어간유를 3%, 9% 및 15%로 증가시키는 대신 탄수화물원으로 α -전분을 28.5%, 22.5% 및 16.5%로 감소시킨 3종류의 실험사료를 설정하였다. 이와 같이 설계된 원료들을 잘 혼합한 후 원료 100 g 당 물 40 g 내외를 첨가하여 펠렛제조기로 사료를 성형한 후 실온에서 24시간 건조하였다. 제조된 사료는 -30°C에 보관하면서 사용하였으며, 실험사료의 지방산 조성을 Table 2에 나타내었다.

실험어 및 사육관리

사육실험은 평균체중 79±0.3 g의 참돔 치어를 6개의 250 L 수조에 각각 30마리씩 각 사료마다 3반복으로 수용하였으며, 1주일에 6일간 하루에 2회 오전과 오후 (10:00, 17:00)에 실험사료를 반복 공급하였다. 사육수로 여과해수를 각 수조에 분당 10 L 내외로 조절하여 흘려주었으며, 2007년 11월 15일부터 2008년 4월 22일까지 25주간 사육하였다. 사육실험 기간 동안의 사육수온의 범위는 6.0~14.5°C였으며, 평균수온은 9.9±2.5°C였다. 사육실험 시작시와 종료시에는 측정 전일 질 식시킨 후 각 수조에 수용된 모든 실험어의 전체무게를 측정하였다.

성분분석

어체 성분 분석용으로 사육실험 시작시 10마리를, 실험 종료시에는 각 실험수조에 수용된 모든 실험어를 샘플하여 냉동 (-75°C) 보관하였다. 실험사료 및 어체의 수분은 105°C에서 6시간 건조하여 측정하였으며, 조단백질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl System (Gerhardt VAP500T/TT125, Germany)을 사용하여 분석하였다. 조지방은 조지방추출기 (Velp SER148, Italy)를 사용하여 ether로 추출한 후 측정하였으며, 조회분은 550°C의 회화로에서 4시간 동안 태운 후 정량하였다. 실험사료의 조섬유는 조섬유분석기 (Fibertec, Tecator, Sweden)를 사용하여 분석하였으며, 에너지함량 열량측정기 (Parr-6200, USA)를 사용하여 분석하였다. 지방산 분석은 Folch et al. (1957)의 방법에 따라 메탄올과 클로로포름 혼합액으로 지질을 추출하였으며, 14% BF₃-methanol (Sigma, USA)로 지방산을 methylation 시킨 후, capillary column (HP-INNOWax, 30 m×0.32 mm×0.5 μ m, USA)이 장착된 gas chromatography (HP-6890, USA)로 분석하였다. Carrier gas는 헬륨을 사용하였으며, oven 온도는 170°C에서 225°C까지 분당 1°C씩 증가시켰고, injector의 온도는 250°C, detector (FID) 온도는 270°C로 설정하였다.

통계처리

결과의 통계처리는 SPSS 프로그램을 사용하여 ANOVA-test를 실시한 후, Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균간의 유의성(P<0.05)을 검정하였다.

결과 및 고찰

적정 지질함량 설정

지질 함량이 다른 사료로 겨울철에 참돔 치어를 25주간 사육한 결과, 생존율은 지질 10% 실험구에서 67%로서 가장 낮은 결과를 보여, 지질 17%와 22% 실험구와는 통계적으로 유의하게 낮았다 (P<0.05) (Table 3). 본 연구는 겨울철 저수온기(5.9-16.7°C)에서 실시되었으므로 정상적인 성장이 되지 않았으며, 수온 7°C이하에서는 모든 실험구의 실험어가 사료를 거의 섭취하지 않았다.

지질 함량이 다른 사료로 참돔 치어를 겨울철 사육 실험한 본 연구의 성장 결과로 볼 때 사료의 지질함량 증가는 겨울철 저수온기에 참돔 치어의 성장을 향상시킬 수 있을 것으로

Table 3. Growth performance of juvenile red sea bream fed the diets containing the different lipid levels for 25 weeks in low temperature season

	Lipid levels (%)		
	10	17	22
Initial mean weight (g/fish)	79±0.2	79±0.3	79±0.3
Survival (%)	67±3.4 ^a	88±1.7 ^b	85±1.7 ^b
Final mean weight (g/fish)	86±3.8 ^a	147±31.5 ^b	108±13.5 ^{ab}
Mean weight gain (g/fish)	7±3.8 ^a	68±30.9 ^b	29±13.5 ^c
Feed efficiency (%) ¹	5±1.8 ^a	31±15.5 ^b	25±10.6 ^b
Daily feed intake ²	0.20±0.00	0.19±0.01	0.19±0.01
Protein efficiency ratio ³	0.10±0.04	0.66±0.33	0.53±0.23
Condition factor ⁴	1.52±0.07	1.58±0.01	1.58±0.07
Hepatosomatic index ⁵	1.36±0.17	1.05±0.02	1.14±0.24
Viscerasomatic index ⁶	4.46±0.05	4.23±0.21	4.24±0.47

Values (mean±SE of two replications) in each row with the different superscript are significantly different ($P<0.05$).

¹ Fish wet weight gain × 100/feed intake (dry matter).

² Feed intake (dry matter) × 100/[(initial fish weight + final fish weight + dead fish weight) × days fed/2].

³ Fish wet weight gain × 100/protein intake.

⁴ Fish weight × 100/total length³.

⁵ Liver weight × 100/body weight.

⁶ Viscera weight × 100/body weight.

판단된다. 그러나 Yone et al. (1971)은 수온 25°C에서 최종 체중 12 g의 참돔 치어를 지질함량이 10% 및 20%인 사료로 사육한 결과, 지질 10% 실험구가 지질 20% 실험구에 비하여 높은 성장 및 사료효율을 보여 본 연구와 상반된 결과를 보였다. 이러한 차이는 사료조성 및 사육 수온에 따른 사료섭취율이나 영양소 소화율 및 사료이용률 등의 차이에 의한 것으로 판단된다. 일반적으로 사료의 에너지 함량이 과다하면 어류의 사료 섭취량이 적어지고, 이에 따라 다른 필수 영양소를 충분히 공급받을 수 없게 되므로 오히려 성장이 저하될 수 있다 (Lee et al., 2002). 그러나 본 실험에서 최종 체중 및 증체량은 사료의 지질함량이 10%에서 17%로 증가함에 따라 증가하였으나, 지질 20% 실험구에서는 더 이상 증가하지 않았다 (Table 3). 또한 사료효율과 단백질효율은 지질 17% 실험구가 가장 높은 값을 보여, 지질 22% 실험구와는 유의차가 없었으나 ($P>0.05$), 지질 10% 실험구에 비하여 유의하게 높았다 ($P<0.05$). 일일사료 섭취율, 비만도, 간중량지수 및 장중량지수도 사료의 지질 함량에 영향을 받지 않았다. 이러한 결과는 겨울철 수온 10°C 전후에서 사육실험이 수행되었기 때문에 일일사료섭취율도 어체 중의 0.2% 전후로 매우 낮았으며, 이로 인하여 에너지 함량이 상대적으로 낮은 10% 지질 실험구의 경우 에너지가 제한적으로 공급되어 실험어의 성장이 현저하게 낮은 것으로 판단된다.

또한 지질 10% 실험구의 최종체중은 최초 실험어의 체중에 비하여 거의 정체상태를 보였는데, 이는 에너지 함량이 낮은 사료의 필수 영양소들이 실험어의 성장보다는 기초대사 유지를 위한 에너지원으로 사용되었기 때문인 것으로 사료된다. 섭취된 필수 영양소들이 어류의 성장에 이용되기 위해서는 어류의 기초대사 유지를 위한 에너지 요구량이 먼저 충족되어야 하기 때문이다. Lee et al. (2004)은 단백질 및 지질 함량이 다른 사료로 겨울철에 강도다리를 25주간 사육한 결과, 사료

에너지 함량이 가장 낮은 실험구에서 실험어의 체중이 감소하여 본 연구와 유사한 결과를 보였다.

본 연구에서의 사료효율(5-31%)과 일일사료섭취율(0.19-0.20%)은 체중 7 g 참돔을 수온 21~29°C에서 사육 실험한 Jeong (1992)의 연구에서 보고된 사료효율(77-99%) 및 일일사료섭취율(2.73-2.96)에 비하여 상당히 낮은 값을 보였다. 겨울철 저수온에서 사료공급 횟수를 달리하여 넙치 치어를 사육 실험한 Kim et al. (2005)의 연구에서도 사료효율 및 사료섭취율이 적정수온 조건에 비하여 감소하여 본 연구와 유사한 결과를 보였다. 이러한 차이는 어체의 크기에도 영향을 받았겠지만, 겨울철의 낮은 수온으로 인하여 체내 대사가 감소하였기 때문으로 판단된다. 수온은 어류의 대사와 성장에 영향을 미치는 중요한 요소이며 (Iwata et al., 1994), 일반적으로 적정수온 범위 내에서 수온이 높아질 경우 어류의 대사율 증가와 함께 사료 섭취량이 증가하여 성장 및 사료효율이 향상된다 (Seikai et al., 1986).

일반성분 및 지방산 분석

사육실험 종료 후, 전어체, 간, 내장 및 등근육의 일반성분 분석결과를 등근육의 조단백질 함량을 제외한 전어체, 간 및 내장의 일반성분은 모든 실험구간에 유의한 차이가 없었다 (Table 4). 전어체의 지방산 분석결과 (Table 5), 16:0, 18:0, 20:4n-3 및 20:5n-3은 실험구간에 유의한 차이를 보였다. 따라서 본 연구에서 실험어의 체조성은 사료 지질 함량에 크게 영향을 받지 않았으나, 여름철에 참돔 치어를 사육 실험한 Jeong (1992)의 연구에서는 고지질 사료 실험구가 저지질 사료 실험구에 비하여 체내 지질 함량이 높아진 것으로 보고되어 본 연구와 차이를 보였다. 넙치의 경우에도 이들의 성장이 적합한 여름철 수온 22°C에 사육된 치어의 체조성은 사료의 영양소 함량에 따라서 유의한 차이를 보였으나 (Lee et al., 2000), 겨울철 저수온기에 사육된 넙치 치어는 사료의 지질

Table 4. Proximate composition (%) of juvenile red sea bream fed the diets containing the different lipid levels for 25 weeks in low temperature season

	Initial	Lipid levels (%)		
		10	17	22
Whole body				
Moisture	62.2	71.8±2.29	72.4±1.60	68.6±0.38
Crude protein	17.5	15.2±0.86	16.21±0.10	16.6±0.57
Crude lipid	14.8	8.0±0.71	5.8±1.80	7.0±0.90
Ash	4.6	5.4±0.29	6.6±0.22	6.8±1.04
Liver				
Moisture	64.8	76.6±0.14	75.0±1.19	75.3±0.47
Crude protein	10.0	13.5±0.65	14.6±0.28	15.0±0.33
Crude lipid	17.0	7.6±0.67	6.4±0.67	6.9±0.45
Viscera				
Moisture	45.8	67.3±0.08	68.8±0.68	67.8±0.67
Crude protein	7.5	8.7±0.13	9.1±0.07	9.0±0.74
Crude lipid	43.0	23.0±1.81	19.5±1.62	21.1±1.32
Dorsal muscle				
Moisture	74.9	78.8±0.05	77.1±0.40	77.4±0.50
Crude protein	21.6	17.2±0.17 ^a	18.4±0.18 ^b	18.6±0.11 ^b
Crude lipid	2.0	1.9±0.33	2.4±0.85	2.9±0.81

Values (mean±SE of two replications) in each row with the different superscript are significantly different ($P<0.05$).

Table 5. Fatty acids composition (% of total fatty acids) of juvenile red sea bream fed the diets containing the different lipid levels for 25 weeks in low temperature season

Fatty acids	Initial	Lipid levels (%)		
		10	17	22
C14:0	1.9	2.2±0.0	2.5±0.3	2.9±0.1
C16:0	19.2	18.8±0.1 ^a	21.6±0.9 ^b	23.9±0.5 ^b
C16:1n-7	6.5	6.4±0.2	6.6±0.8	7.4±0.1
C18:0	6.5	6.6±0.0 ^a	7.7±0.4 ^{ab}	8.5±0.1 ^b
C18:1n-9	32.5	27.7±1.0	28.1±3.7	31.2±0.0
C18:2n-6	9.1	10.6±0.3	10.7±1.5	8.4±0.2
C18:3n-3	0.8	0.9±0.0	0.8±0.1	0.7±0.0
C18:4n-3	0.4	0.4±0.0	0.3±0.0	0.4±0.1
C20:1n-9	2.6	3.1±0.0	3.4±0.6	4.1±0.1
C20:3n-6	0.3	0.4±0.0	0.3±0.1	0.3±0.0
C20:4n-6	1.0	1.3±0.1	1.1±0.4	0.7±0.0
C20:4n-3	0.5	0.5±0.0 ^b	0.3±0.1 ^{ab}	0.2±0.0 ^a
C20:5n-3	4.1	4.0±0.0 ^b	2.9±0.7 ^{ab}	2.1±0.1 ^a
C22:1n-9	0.9	1.2±0.1	1.2±0.0	1.2±0.0
C22:3n-3	0.6	0.7±0.0	0.6±0.2	0.4±0.0
C22:5n-3	2.0	1.9±0.6	1.9±0.5	1.2±0.0
C22:6n-3	11.0	12.5±0.7	9.9±3.2	6.2±0.2
n-3HUFA ¹	18.1	19.6±1.3	15.7±4.7	10.1±0.4

Values (mean±SE of two replications) in each row with the different letter are significantly different (P<0.05).

¹ Highly unsaturated fatty acids (C≤20).

함량에 따라 어체 성분에 차이를 보이지 않아 본 연구와 유사한 경향을 보였다 (Kim et al., 2006). 어체의 지방산 조성이 사료 지질의 지방산 조성에 영향을 받는다는 것은 알려져 있다 (Mugrditchians et al., 1981; Kim et al., 2002). 본 연구에서도 어체의 20:5n-3과 22:6n-3의 함량은 사료내 지질함량이 증가함에 따라서 감소하는 경향을 보였다. 그러나 어체의 16:0 및 18:0와 같은 포화지방산 함량은 사료의 이들 지방산 함량과 달리 지질 함량이 증가함에 따라서 증가하는 결과를 보였다. 이러한 차이를 본 연구에서 명확히 설명할 수는 없으나, 지질 17% 및 22% 사료의 16:0 및 18:0의 함량 비율이 지질 10% 사료에 비하여 비록 낮았지만 사료내 지질 함량의 증가에 의한 포화지방산 섭취량은 지질 10% 실험구에 비하여 더 높았을 것이다. 이렇게 섭취된 포화지방산들이 체내에 축적되어 이들 지방산의 함량 비율이 증가할 수 있을 것으로 판단되나, 이에 대한 명확한 원인을 조사하기 위해서는 금후 보다 상세한 연구가 이루어져야 할 것이다.

이상의 결과로 볼 때, 사료의 지질함량 증가는 겨울철 저수 온기에 사육된 참돔 치어의 성장을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 해양수산부 2007 수산특정연구개발사업 (RP-2008-AQ-032)의 연구비 지원에 의한 것이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Duncan, D.B., 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics*, 11, 1-42.
- Folch, J., M. Lees and G.H.S. Stanley, 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, 226, 496-509.
- Fujii, M. and Y. Yone, 1976. Studies on nutrition of red sea bream-X III. Effect of dietary linolenic acid and ω3 polyunsaturated fatty acids on growth and feed efficiency. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 42, 583-588.
- Garling, D.L. and R.P. Wilson, 1976. Optimum dietary protein to energy ratios for channel catfish fingerlings, *Ictalurus punctatus*. *J. Nutr.*, 106, 1368-1375.
- Iwata, N., K. Kikuchi, H. Honda, M. Kiyono and H. Kurokura, 1994. Effects of temperature on the growth of Japanese flounder. *Fish. Sci.*, 60, 527-531.
- Jeong, K.-S., 1992. Availability of soybean meal and suitable protein · energy level in different types of diet of red seabream (*Pagrus major*). *J. Aquacult.*, 5, 9-17.
- Kim, K.-D., S.-M. Lee, H.G. Park, S.C. Bai and Y.-H. Lee, 2002. Essentiality of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids in juvenile Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *J. World Aquacult. Soc.*, 33, 432-440.
- Kim, K.-D., K.-M. Kim, K.-W. Kim, Y.J. Kang and S.-M. Lee, 2006. Influence of lipid level and supplemental lecithin in diet on growth, feed utilization and body composition of juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*) in suboptimal water temperatures. *Aquaculture*, 251, 484-490.
- Lee, S.-M., S.H. Cho, and K.-D. Kim, 2000. Effects of dietary protein and energy levels on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. *J. World Aquacult. Soc.*, 31, 306-315.
- Lee, S.-M., I.-G. Jeon and J.Y. Lee, 2002. Effects of digestible protein and lipid levels in practical feed on growth, protein utilization and body composition of juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture*, 211, 227-239.
- Lee, J. H., S.H. Cho, H.K. Lim, K.-D. Kim and S.-M. Lee, 2004. Effects of dietary protein and lipid levels on growth, feed utilization and body composition of adult starry flounder (*Platichthys stell-*

- atus*). J. Fish. Sci. Tech., 7, 184-191.
- Mugrditchian, D.S., R.W. Hardy and W.T. Iwaoka, 1981. Linseed oil and animal fat as alternative lipid sources in dry diets of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). Aquaculture, 25, 161-172.
- Olsen, R.E. and E. Ringø, 1998. The influence of temperature on the apparent nutrient and fatty acid digestibility of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* L. Aquac. Res., 29, 695-701.
- Peres, H. and A. Oliva-Teles, 1999. Influence of temperature on protein utilization in juvenile European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). Aquaculture, 170, 337-348.
- Seikai, M., J.B. Tanangonan and M. Tanaka, 1986. Temperature influence on larval growth and metamorphosis of the Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* in the laboratory. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 52, 977-982.
- Takeuchi, T. and T. Watanabe, 1982. Effects of various polyunsaturated fatty acids compositions of rainbow rainbow trout *Salmo gairdneri*, coho salmon *Oncorhynchus kisutch*, and chum salmon *Oncorhynchus keta*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 48, 1745-1752.
- Yone, Y., M. Furuichi and S. Sakamoto, 1971. Studies on nutrition of red sea bream-III. Nutritive value and optimum content of lipid in diet. Rep. Fish. Res. Lab. Kyushu Univ., 1, 49-60.

2009년 5월 15일 접수

2009년 6월 15일 수정

2009년 8월 13일 수리