조피볼락 치어 및 성어에서 분 수집 방법에 따른 영양소 소화율

이 상 민
국립수산진흥원 양식개발과 영양사료연구실

Evaluation of the Nutrient Digestibilities by Different Fecal Collection Methods in Juvenile and Adult Korean Rockfish (*Sebastes schlegeli*)

Sang-Min LEE
Fish Feed and Nutrition Laboratory, Aquaculture Division, National Fisheries Research and Development Agency, Kijang-gun, Pusan 619-900, Korea

The apparent nutrient digestibilities were examined by using chromic oxide indicator according to the various fecal collection methods in juvenile and adult Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). Feces were collected from three replicate groups of fish by dissection, stripping or decantation using fecal collector attached to fish rearing tank, respectively.

The digestibilities of dry matter, protein, lipid, and energy were affected by fecal collection methods ($P<0.01$), but not affected by fish size. The digestibilities of nutrient determined by stripping or decantation methods were significantly higher than those determined by dissection method ($P<0.01$). No significant differences in the digestibilities of protein, lipid and energy were found between the stripping and decantation methods in adult fish ($P>0.01$). The digestibilities of dry matter, protein, lipid, energy, nitrogen-free extract, and total amino acids in juvenile and adult fish were 58, 93, 94, 79, 32, and 93%, and 61, 94, 96, 80, 29, and 94%, respectively, when they were measured by decantation method. Methionine, cystine and valine digestibilities were significantly lower than those of other amino acids in both juvenile and adult fish ($P<0.01$). Results indicate that stripping or decantation with fecal collector could be a reliable digestibility procedure for measuring the nutrient digestibilities in Korean rockfish

Key words : rockfish, digestibility (protein, lipid, energy, and amino acid), fecal collection method (dissection, stripping and decantation), fish size

서 론

최근 양식 생산량이 매년 급격히 증가되고 있는 조피볼락의 배합사료 개발에 필요한 기초자료를 제공하기 위해, 조피볼락의 영양소 요구에 관한 연구가 수행 (Lee et al., 1993a, b, c, d; Lee and Lee, 1994a, b; Lee et al., 1994)되었으며, 계속하여 사료의 질을 향상시키기 위하여 성장 및 각종 사료 대체 단백원 등에 관한 연구들이 추진 (Lee et al., 1995a, b,; 1996a, b)되었다. 이러한 자료를 바탕으로 배합사료에 사용될 원료를 선정하여 평가하는 것은 경제적인 사료를 제조하는데 매우 중요하다. 사료원료의 품질 평가 방법 중에서 그 원료의 영양소 소화율을 측정하는 것이 가장 기본적인 방법 중에 하나이다. 즉, 원료의 소화율 측정은 경제적인 실용사료 설계, 영양 연구의 기초 자료, 원료의 영양적 가치를 결정하는데 매우 필수적인 자료가 된다. 또한, 그 원료 중의 영양소 소화율을 구명하므로서 수질오염을 줄일 수 있는 사료를 설계 할 수 있다.

영양소의 소화율 측정에는 그 측정 방법이 매우 중요한데, 특히 물고기는 가축과 달리 수중에 살고 있기 때문에 측정방법이 다양하고, 측정방법에 따라서도 소화율에 많은 차이가 날 수 있다. 영양소 소화율 측정에서 소화되지 않는 산화크롬과 같은 지표물질을 사료에 혼합하여 간접식으로 소화율을 측정하는 방법이 많이 적용되고 있다 (Nose, 1960a, b; Hasting, 1969; Hajen et al., 1993a, b; Smith and Lovell, 1971, 1973; Windell et al., 1978; Smith, 1971; Cho and Slinger, 1979; Cho et al., 1982; Choubert et al., 1982; Cho and Kaushik, 1985, 1990; Spyridakis et al., 1989). 이 방법에서는 분을 수집하는 것이 중요한데, 장을 절개하는 방법 (dissection), 항문 부위를 눌러서 분을 짜내는 방법 (stripping), 항문 부위의 분을 흡입하는 방법 (anal suction), 사육수에 배설된 분을 pipetting하거나 siphon하는 방법 및 분 수집 통을 이용하여 침전된 분을 채취하는 방법 (decantation) 등이 있다. 이

중에서 분 수집 통을 이용하는 방법이 가장 많이 사용되고 있으며, Guelph system (Cho and Slinger, 1979)이 담수어의 소화율 측정에 대표적으로 사용되고 있다.

위에서 열거한 방법들 사이에서도 소화율 측정값에 차이가 나타나는데, 장이나 항문에서 수집한 분의 경우는 아직 소화되지 않은 영양소가 남아 있기 때문에 소화율이 낮은 것으로 측정되고, 배설된 분을 수집할 경우에는 분 중의 영양소가 물 속에 쉽게 용출될 수 있어 소화율이 높게 측정되는 문제가 잠재되어 있다 (Austreng, 1978; Cho and Slinger, 1979). 뿐 만 아니라 어류의 영양소 소화율은 어종, 크기, 실험사료의 종류 및 가공방법, 수온 등에 따라 달라지기 때문에 (NRC, 1983; Smith, 1989) 소화율의 측정방법은 어종마다 그 적합성 여부가 결정되어야 할 것이다. 특히 해산어류에 대해서는 아직 소화율 측정에 대해서 연구된 것이 많이 없기 때문에 이에 대한 연구가 수행되어져야 할 것으로 생각된다. 따라서 본 실험에서는 우리 나라의 중요 양식종인 조피볼락을 대상으로 영양소 요구량을 충족시킨 표준사료에 산화크롬을 지표물질로 첨가하여 분 수집 방법에 따른 건물, 단백질, 지질, 에너지, 탄수화물 및 아미노산의 소화율을 치어와

Table 1. Composition (%) of the diets

Ingredients	Control diet	Protein-free diet
White fish meal	58.0	–
Wheat flour	22.5	–
Yeast	3.0	–
Squid liver oil	4.0	8.0
Vitamin premix[1]	3.0	3.0
Mineral premix[2]	4.0	4.0
α-cellulose	2.0	50.0
Sodium alginate	3.0	3.5
Dextrin	–	31.0
Cr_2O_3	0.5	0.5
Chemical composition (% in dry basis)		
Crude protein	47.6	1.6
Crude lipid	8.5	9.2
Crude fiber	3.6	43.2
Crude ash	15.4	3.3
N-free extract[3]	24.9	42.7
ross energy (kcal/kg)	4742	4094
Amino acid composition (% in protein)		
Arg	6.7	
His	2.1	
Ile	4.4	
Leu	8.2	
Lys	6.9	
Met+Cys	2.3+1.2	
Phe+Tyr	4.4+3.4	
Thr	4.8	
Val	4.9	
Ala	6.3	
Asp	9.7	
Glu	16.1	
Gly	6.5	
Pro	6.2	
Ser	5.1	

[1] Vitamin mix contained the following amount which were diluted in cellulose (g/kg mix): ascorbic acid, 92.7; α-tocopheryl acetate, 14.5; thiamin, 2.1; riboflavin, 7.0; pyridoxine, 1.4; nicin, 27.8; Ca-D-pantothenate, 9.7; myo-inositol, 139.1; D-biotin, 4.2; folic acid, 0.5; p-amino benjoic acid, 13.9; K_3, 1.4; A, 0.6; D3, 0.002; choline chloride, 278.3; cyanocobalamin, 0.003.

[2] Mineral mix contained the following ingredients (g/kg mix): $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 80; $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$, 370; KCl, 130; Ferric citrate, 40; $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, 20; Ca-lactate, 356.5; CuCl, 0.2; $AlCl_3 \cdot 6H_2O$, 0.15; KI, 0.15; $Na_2Se_2O_3$, 0.01; $MnSO_4 \cdot H_2O$, 2; $CoCl_2 \cdot 6H_2O$, 1.

[3] Calculated by difference.

성어에서 측정하였다.

재료 및 방법

실험사료

실험사료 (Table 1)에 산화크롬 (Cr_2O_3)을 0.5% 첨가하여 소화율의 지표물질로 사용하였고, 표준 사료의 주 단백원으로서는 북양어분 (steam-dried white fish meal, 고려원양 개척호 제품)을 사용하였으며, 소맥분, 오징어 간유 (이화유지 제품), 비타민 및 미네랄 혼합물 등을 첨가하였다. 또한, 분 수집 장치를 이용하여 소화율을 측정할 경우 진정 단백질 소화율 측정의 필요 여부를 조사하기 위해 protein-free 사료를 준비하였는데 이 사료의 단백질 함량이 1.6%로 분석된 것은 사용된 원료 중에 비단백태 질소가 함유되었기 때문으로 판단된다.

실험어 및 분 수집 방법

1993년과 1994년에 각각 국립수산진흥원 완도수산종묘배양장 (전남 완도)으로 부터 구입한 조피볼락 치어 (평균체중: 1 g)를 본 실험실에서 예비 사육하다가 수온을 15 ± 0.5℃ (평균 ± S.D.)로 조절하여 10주간 분 수집을 위한 실험 사육 수조와 실험사료 (표준사료)에 순치시켜 실험어로 사용하였다. 사용한 실험어는 성어 (평균체중: 300 g)와 치어 (평균체중: 30 g)로 분 수집 방법별로 각각 3 반복으로 실험하였다.

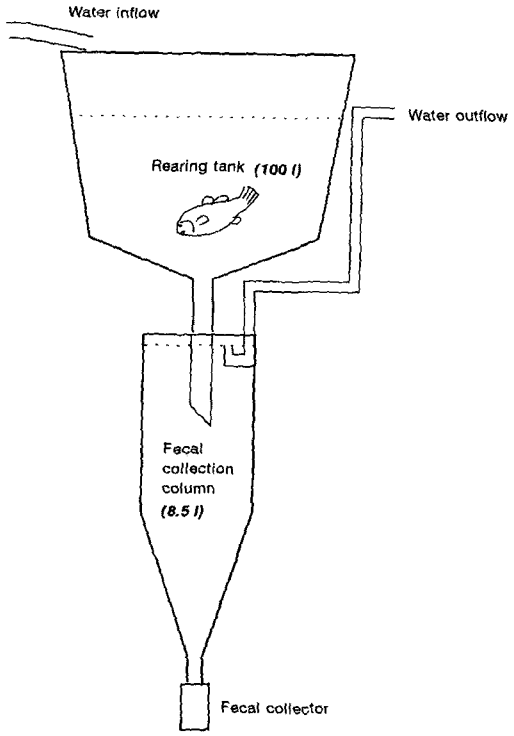

Fig. 1. Apparatus used for fecal collection.

분 수집을 위하여 위, 장, 항문을 각각 절개한 방법 (dissection), 항문 부위를 눌러서 분을 짜내는 방법 (stripping)과 배설된 분을 분 수집 통으로 수집한 방법 (decantation)을 사용하였다. 실험사료를 오후 2시에 만복에 가깝도록 매일 급여하다가 다음날 오전 10시에 실험수조 (150 *l*, 실수용적: 100 *l*)에 수용된 실험어를 100 ppm의 MS222에 마취한 후, −30℃에 냉동시켜 위, 장 (위 다음부터 항문전까지)과 항문 (성어: 항문 끝에서 부터 약 1.5 cm 까지, 치어: 약 1 cm 까지)을 절개하여 분을 채취하였다. 이와 동시에 같은 방법으로 MS222로 마취시킨 성어를 냉동하지 않은 상태로 항문 부위를 stripping하여 분을 수집하였다. 분 수집 통을 이용한 방법으로 Guelph system (Cho and Slinger, 1979)이나 siphon형식의 장치는 본 실험에 실험어로 사용된 조피볼락에는 적용하기 어려운 문제가 있어 본 연구실에서 자체적으로 분 수집 장치 (Fig. 1)를 개발하였다. 이 장치의 분 수집 통을 이용한 방법으로 Guelph system (Cho and Slinger, 1979)이나 siphon형식의 장치는 본 실험에 실험어로 사용된 조피볼락에는 적용하기 어려운 문제가 있어 본 연구실에서 자체적으로 분 수집 장치 (Fig. 1)를 개발하였다. 이 장치의 분 수집 통을 이용한 방법은 위와 동일하게 사료를 급여한 후, 오후 5시에 수조 및 분 수집 통을 깨끗이 청소한 후 다음날 아침 10시에 수집통에 모인 분을 여과지에 받아 4가에서 약 1시간동안 방치한 후 −80℃에서 동결 보존하였다.

실험어 중 성어는 위, 장과 항문 절개 방법에 1반복당 18마리, stripping에는 30마리씩, 분 수집 장치에는 8마리씩 사용하였고, 치어의 경우는 위, 장과 항문 절개 방법에 1반복당 45마리, 분 수집 장치에는 50마리씩 사용하였으며, 어체 크기가 작아서 stripping 방법은 수행되지 않았다. 이와 같은 각각의 방법으로 1주일간 수집한 분을 수조별로 모아서 동결 건조시켜 혼합 분쇄한 후 분석하였다. 각각의 사육수조에 고압모래여과해수를 어체 크기와 수용밀도에 따라 2~4 l/min가 되도록 조정하여 흘려주었다.

성분분석

사료 및 분의 일반성분, 에너지, 조섬유, 가용무질소물 (NFE) 및 아미노산은 다음과 같은 방법으로 분석되었다. 즉, 일반성분은 AOAC methods (1984)에 따라, 조단백질 (N×6.25)은 Automatic analyzer (Vapodest 5/6, Gerhardt,

W-Germany)를 사용하여 분석되었고, 조지방은 Automatic analyzer (Soxtec, Tecator, Sweden)를 사용하여 ether로 추출되었으며, 수분은 105℃의 dry oven에서 4시간 동안 건조 후 측정되었다. 또한, 조섬유는 Automatic analyzer (Fibertec, Tecator, Sweden)를 이용하여 분석되었고, 조회분은 550℃의 회화로에서 4시간 동안 태운 후 정량되었다. Nitrogen free extract (NFE)는 100− (수분+조단백질+조지방+조섬유+조회분)의 식으로 계산되었다. 총에너지는 adiabatic bomb calorimeter (Parr, USA)를 이용하여 측정되었으며, 아미노산은 Lee et al. (1996a)이 실시했던 방법과 동일하게 분석되었다. 산화크롬은 Furukawa and Tsukahara (1966)의 방법에 따라 분석되었고, 소화율은 다음의 공식에 의하여 계산되었다.

$$\text{건물 소화율} = 100 - \left(\frac{\text{사료중의 } Cr_2O_3(\%)}{\text{분중의 } Cr_2O_3(\%)} \times 100 \right)$$

$$\text{영양소 소화율} = 100 - \left(\frac{\text{사료중의 } Cr_2O_3(\%)}{\text{분중의 } Cr_2O_3(\%)} \times \frac{\text{분중의 영양소 (\%)}}{\text{사료중의 영양소 (\%)}} \times 100 \right)$$

통계처리

실험 결과는 One-way ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 처리 평균간의 유의성 ($P<0.01$)을 SPSS (SPSS Inc., 1993) program으로 검정하였다. 또한, 어체 연령 (크기)에 따른 소화율의 차이를 t-test로 검정하였으며, 분 수집 방법별 및 어체 크기별에 대한 효과를 Two-way ANOVA-test로 처리하였다.

결과 및 고찰

Table 2에 표시한 바와 같이 성어 및 치어 모두 위 (stomach)에서는 건물, 단백질, 지질 및 에너지가 전혀 소화 또는 흡수되지 않았고, 장, 항문 부위로 갈수록 유의하게 ($P<0.01$) 소화율이 높아졌다. 또한, 성어에서 건물과 단백질의 소화율은 stripping한 것이 항문 부위에서 절개하여 채취한 분보다 유의하게 높은 값을 보인 반면 ($P\%0.01$), 지질과 에너지의 소화율은 유의차가 없었다. 건물 소화율을 제외한 단백질, 지질과 에너지의 소화율은 분 수집 장치에서 측정한 값이 항문 부위에서 stripping

Table 2. Apparent digestibilities of nutrient determined by different fecal collection methods in juvenile and adult Korean rockfish (% of dry matter basis)[1]

Deit	Control					Protein-free
Collection methods	Dissection			Stripping	Fecal collector	Fecal collector
	Stomach	Intestine	Anus			
Dry matter						
Adult	0.2 ± 0.57^{a}	17.0 ± 7.25^{b}	33.0 ± 0.41^{c}	34.9 ± 0.32^{d}	60.6 ± 1.60^{e}	10.7 ± 6.12
Juvenile	−3.1 ± 1.25^{a}	18.1 ± 1.82^{b}	40.4 ± 3.63^{c}		58.4 ± 1.78^{d}	17.9 ± 1.03
P-value[2]	0.07	0.9	0.005		0.2	0.05
Protein						
Adult	−1.0 ± 1.05^{a}	41.4 ± 10.59^{b}	67.0 ± 1.32^{c}	82.9 ± 1.52^{d}	93.5 ± 0.17^{d}	21.5 ± 0.20
Juvenile	−3.7 ± 0.24^{a}	40.5 ± 3.23^{b}	66.9 ± 4.00^{c}		93.0 ± 1.83^{d}	35.3 ± 3.68
P-value[2]	0.3	0.9	0.8		0.09	0.005
Lipid						
Adult	0.5 ± 1.50^{a}	43.5 ± 9.37^{b}	74.7 ± 9.73^{c}	89.6 ± 1.46^{cd}	95.5 ± 3.45^{d}	75.8 ± 6.60
Juvenile	−2.8 ± 2.73^{a}	40.7 ± 3.73^{b}	72.8 ± 9.37^{c}		93.8 ± 1.87^{d}	84.7 ± 0.70
P-value[2]	0.3	0.8	0.8		0.6	0.1
N-free extract						
Adult					28.7 ± 8.92	42.2 ± 3.72
Juvenile					31.5 ± 0.05	48.1 ± 0.10
P-value[2]					0.7	0.3
Energy						
Adult	−0.3 ± 0.72^{a}	30.0 ± 10.76^{b}	54.9 ± 2.85^{c}	68.2 ± 0.99^{cd}	80.4 ± 0.49^{d}	28.7 ± 4.20
Juvenile	−2.0 ± 0.19^{a}	28.3 ± 1.80^{b}	56.8 ± 3.92^{c}		78.8 ± 1.34^{d}	37.3 ± 1.29
P-value[2]	0.3	0.9	0.5		0.01	0.09

[1] Values (Mean ± S.D. of three replicate groups) in each row with a different superscript are significantly different ($P<0.01$).

[2] P-value from t-test between juvenile and adult fish.

Table 3. Statistical analysis for digestibilities of nutrient determined by different fecal collection methods in juvenile and adult Korean rockfish

	Two-way ANOVA			One-way ANOVA	
	Collection methods	Size	Interaction	Adult	Juvenile
Dry matter	P<0.0001	P<0.6	P<0.08	P<0.0001	P<0.0001
Protein	P<0.0001	P<0.6	P<1.0	P<0.0001	P<0.0001
Lipid	P<0.0001	P<0.4	P<1.0	P<0.0001	P<0.0001
Energy	P<0.0001	P<0.7	P<0.9	P<0.0001	P<0.0001

한 것보다 높았지만, 유의한 차이는 없었다 (P>0.01). 항문 부위의 분 중 건물의 소화율이 치어가 성어보다 높은 것외 분 수집 방법이 동일할 때 각각의 영양소 소화율은 어체 크기에 특별한 영향을 받지 않았다. 또한, 전체적으로 건물, 단백질, 지질 및 에너지의 소화율은 Table 3에 표시한 바와 같이 분 수집 방법에 따라 매우 유의한 차이 (P<0.0001)를 보인 반면, 어체 크기에는 영향을 받지 않음을 알 수 있었다. 타 연구의 경우, 영양소 소화율이 사료 원료, 온도 및 어체 크기에 따라 차이가 난다는 보고도 있다 (Ferraris et al., 1986; Windell et al., 1978; Kitamikado et al., 1964). 이와 같이 stripping할 때까지 부위별로 영양소 소화율이 점차 높아지는 것은 영양소가 위에서는 전혀 소화 또는 흡수되지 않고 있다가 장에서부터 항문 부위까지 점차적으로 소화, 흡수된 것으로 해석된다. 국립수산진흥원 (1993)의 보고에 의하면 조피볼락의 식도에서는 단백질 분해 효소의 활성이 없었지만, 위에서는 pepsin 활성이 높게 측정되어 위에서부터 단백질이 소화됨을 알 수 있었다. 하지만 본 실험에서 단백질 소화 효소 활성은 측정되지 않았고, 위에서 측정된 소화율 값이 거의 0에 가까운 것으로 보아 영양소가 소화되었다 하더라도 흡수되지 않았거나, 흡수될 만큼 시간이 경과되지 않았기 때문으로 간주된다. 조피볼락 장내의 empty time을 측정해 본 결과 (국립수산진흥원, 1993), 치어기 (평균체중: 9 g)의 위 내용물이 완전히 비워지기까지는 21시간이 소요되었기 때문에 본 실험에서 하루에 한 번 오후 2시에 매일 계속 사료를 만복에 가깝게 급여하여 20시간 후에 sample하였다. 이와 같이 장내의 내용물이 완전히 비워지기 전에 매일 오후 2시마다 사료가 급여되어서 다음날 오전 10시경에 장을 절개할 때는 위나 장내에 내용물이 가득 차 있는 상태였고, 본 실험에 사용된 어체 크기도 국립수산진흥원 (1993)에서 사용한 어체 (9 g)보다 큰 30 g과 300 g이었기 때문에 위 절개시 위 내용물이 흡수되기 전의 상태가 될 수 있음도 추측 가능하다. 따라서 이러한 차이에 대해서는 사료 급여 시간, 사료 급여 후 sample 시간 등을 감안하여 보다 상세한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다. Austreng (1978)과 Dabrowski (1983)는 장의 윗 부분 (upper intestine)에서 단백질이 많이 소화된다고 보고한 반면, Ferraris and Ahearn (1983, 1984)은 장의 아래 부분 (lower intestine)에서 많은 량의 영양소가 흡수된다고 보고하였다.

유의적인 차이는 없었지만 본 연구에서 조피볼락 성어의 경우, 단백질, 지질 및 에너지의 소화율이 stripping한 것보다 분 수집 장치를 사용한 방법에서 높은 것은 여러 가지 요인에서 유래될 수 있다. 즉, 항문 부위에서의 분은 영양소 소화, 흡수가 덜 되었거나 분 수집 장치 중에서 수집 통에 분이 모일 때 영양소가 물에 용출되는 문제가 잠재되어 있기 때문이다. 이외에도 stripping하기 위해 실험어를 handling해야 하기 때문에 이에 대한 스트레스 요인 등을 지적하지 않을 수 없다. 이에 대해서는 보다 상세한 연구가 뒤따라야 할 것이다.

본 실험에서 치어의 경우에 어체 크기가 작아서 분석에 필요한 량의 분을 모을 만큼 stripping할 수 없는 문제가 있었다. 또한, stripping 방법은 어체가 작을수록 실험에 소요되는 고기의 수나 처리하는데 시간이 많이 필요하고, 위에서 지적한 여러 가지 문제점이 잠재되어 있다. 그래서 많은 연구자들이 분을 수집할 때 siphon이나 분 수집 장치를 이용하여 소화율을 측정하여 왔다 (Cho and Slinger, 1979; Cho et al., 1982; Choubert et al., 1982; Hajen et al. 1993a,b; Henken et al. 1985; Hossain and Jauncey, 1989; Spyridakis et al., 1989). 본 실험에서도 성어의 경우, stripping한 것과 분 수집 통을 이용하여 측정한 소화율의 값이 건물 외에는 유의한 차이가 없었으므로 (P>0.01), 분 수집 통을 이용하여 소화율을 측정하여도 믿을 수 있는 결과를 얻을 것으로 판단된다.

본 실험에서 분 수집 장치를 이용한 방법의 표준사료 소화율은 건물이 성어 61%, 치어 58%, 단백질이 성어 94%, 치어 93%, 지질이 성어 96%, 치어 94%, 에너지가 성어 80%, 치어 79% 및 NFE (nitrogen-free extract)가 성어 29%, 치어 32%로 나타났다. 조피볼락을 대상으로 이미 연구된 Lee et al. (1993b)의 실험에서 가장 좋았던

사료의 단백질 소화율이 90%, 지질이 97%, 에너지가 81%로서 본 실험과 거의 비슷하였다. 타 어종의 경우, 본 실험에서와 같이, 산화크롬을 이용한 간접법으로 어분사료의 단백질 소화율을 측정한 것을 보면, 송어, 차넬메기, 농어, 잉어, 참돔이 85~95% 사이인 것으로 나타나 (Cho et al., 1985; Lovell, 1977; Spyridakis et al., 1989; Furuichi and Yone, 1982) 본 실험에서 측정된 조피볼락의 단백질 소화율 (93~94%)과 큰 차이가 없었다. 또한, 지질 소화율은 송어, 차넬메기, 농어, 대구의 97~98% (Cho et al., 1985; Lovell, 1977; Spyridakis et al., 1989; Lie et al., 1988)보다 조금 낮았지만 역시 큰 차이는 없어, 대부분의 어류가 지질을 잘 소화 흡수하는 것을 알 수 있다.

탄수화물은 그 측정방법이 까다롭기 때문에 NFE (nitrogen-free extract)를 탄수화물로 간주하고 있다. 본 실험에서 표준사료의 NFE 소화율은 29%~32%로 아주 낮게 나타났는데, 조피볼락을 대상으로 실험한 Lee et al. (1993b)은 dextrin 소화율이 69~73% 범위로 나타나 본 실험보다 훨씬 높은 값을 보였다. 본 실험에서 dextrin을 탄수화물원으로 한 단백질 무 첨가 사료의 NFE 소화율은 42%~48%로 나타나 표준사료보다는 높았지만 Lee et al. (1993b)의 결과보다는 여전히 낮은 값을 보였다. 또한, 잡식성 어류인 잉어의 탄수화물 소화율 96%와 참돔의 67% (Furuichi and Yone, 1982)보다 훨씬 낮은 값을 보였다. 어류의 탄수화물 소화율은 탄수화물의 종류에 따라 차이가 나는 것으로 보고되어 있고 (Furuichi and Yone 1982; Furuichi et al., 1986; Smith 1976; Smith et al., 1980; Kaushik and Teles 1985), 사료에 탄수화물 첨가량이 많으면 탄수화물 소화율은 물론 단백질 소화율도 낮아진다고 알려져 있다 (Nose 1967; Page and Andrews 1973; Austreng et al., 1977; Singh and Nose 1967). Lee et al. (1993b)의 실험에서는 조피볼락 사료의 탄수화물원으로서 dextrin만을 사용하였고, 조피볼락의 탄수화물 이용 능력은 다른 해산어류인 방어나 참돔보다는 클 것으로 추측하였으나, 본 실험에서는 표준사료에 소맥분을 사용하였기 때문에 소화율 및 체내 이용성이 낮아졌을 가능성이 높을 것으로 생각된다. 이에 대해서는 금후에 보다 체계적인 연구를 수행하여야 할 것이다.

단백질 무 첨가 사료 (단백질 함량: 1.57%)를 먹인 실험어 중 분에 단백질 함량이 성어는 1.35~1.41%, 치어는 1.16~1.33% 함유되어 있어 사료의 단백질함량과 거의 비슷하였고, 단백질의 소화율은 22~35%로 나타났다. 하지만 Ferraris et al. (1986)은 단백질 무 첨가 사료를 먹인 milk fish의 장 내용물 단백질 함량이 사료 단백질 함량 (0.4% protein)보다 높다고 보고하여 소화기관에서 분비되거나 떨어져 나오는 효소, 세포, 각종 부산물 등이 분의 단백질 함량을 증가시키는 것으로 간주하고 있지만, 정확한 원인은 구명되지 않았다. 또한, 이들의 연구에서 어체 크기가 작을수록 장 내용물의 단백질 함량이 높은 것을 대사활동이 활발하기 때문으로 해석하였다. 그러나 본 연구에서는 Ferraris et al. (1986)의 결과와 반대 경향을 보였다. 이러한 차이에 대해 정확히 원인을 밝히기는 어렵지만 Ferraris et al. (1986)은 장을 절개하는 방법으로 소화율을 측정하였기 때문에 handling함으로서 stress에 의한 장내의 점액분비나, 장내에서 유래된 단백질이 완전히 재 흡수되지 않았기 때문일 수도 있다. 반면에 본 실험에서는 분 수집 통을 이용하였기 때문에 인위적인 자극으로 인한 stress 요인이 없었고, 분이 분 수집 통에 모일 때 용출될 수 있는 가능성이 잠재되어 있다. 따라서 다른 연구자들이 적용 (Ferraris et al., 1986; Ogino and Chen, 1973; Page and Andrews, 1975; Willson et al.,1981)하고 있는 진정 단백질 소화율 (true protein digestibility)은 분 수집 장치를 이용했을 경우 조피볼락에는 적용할 수 없는 것으로 판단된다. 단백질 무 첨가 구의 소화율은 NFE외에는 모두 표준사료보다 훨씬 낮은 값을 보였고, 모든 항목의 소화율이 성어보다 치어에서 더 높게 나타났지만, 단백질 소화율 외에는 크기에 따른 유의차가 없었다 ($P>0.01$).

Table 4와 5에 표시한 바와 같이 성어 및 치어 모두 아미노산 종류별로 소화율에서 유의한 차이 ($P<0.01$)를 보였는데, 성어의 경우는 Met이 가장 낮았고, 다음으로 Cys과 Val이 낮은 값을 보였다. 그 외 아미노산의 소화율은 서로 유의한 차이없이 93%~97%로 나타났다. 치어의 경우도 Met, Cys, His과 Val의 소화율이 다른 아미노산에 비해 낮은 값을 보였다. 총 아미노산의 소화율은 성어 및 치어가 각각 94% 및 93%로 나타났고, 어체 크기에 따른 영향은 없었다. 하지만 Table 5에서 보면, Two-way ANOVA에서 통계적으로 어체 크기에 따라 아미노산의 소화율은 유의한 차이를 보이는 것으로 나타났는데, 성어의 Met 소화율이 치어보다 3%정도 낮은 것 외에는 대부분의 아미노산 소화율이 치어와 비교해 비슷하거나 약간씩 높았다.

본 실험의 결과를 종합하여 보면, 조피볼락 사료의 외견상 영양소 소화율을 측정할 때에는 장이나 항문을 dissection하는 것보다는 항문 부위를 가볍게 stripping하거나 분 수집 통을 이용하는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 또한, 어체의 크기가 작아서 분을 충분히 수집할 수 없거나, 어류의 handling으로 인한 stress 요인이 측정되는 소화율 값에 큰 영향을 미치는 상황에서는 본 실험

Table 4. Amino acids digestibilities of control diet determined by using the fecal collector in juvenile and adult Korean rockfish[1]

AA	Digestibility (%)		P-value[2]
	Adult	Juvenile	
Arg	96.6 ± 0.26^{c}	96.4 ± 0.11^{f}	0.2
Thr	93.6 ± 0.65^{bc}	92.4 ± 9.28^{bcd}	0.3
His	94.5 ± 0.15^{c}	90.3 ± 3.63^{ab}	0.1
Ile	94.8 ± 4.93^{c}	94.6 ± 0.17^{def}	0.2
Leu	95.1 ± 0.25^{c}	94.4 ± 0.23osu1/def	0.3
Lys	96.7 ± 0.25^{c}	96.6 ± 0.11^{f}	0.4
Met	85.5 ± 1.44^{a}	88.3 ± 2.42^{a}	0.5
Cys	91.5 ± 1.97^{b}	89.9 ± 0.34^{ab}	0.3
Phe	94.8 ± 1.97^{c}	94.6 ± 0.17^{def}	0.2
Tyr	94.6 ± 0.94^{c}	93.2 ± 0.28^{cde}	0.3
Val	91.7 ± 2.09^{b}	90.5 ± 0.34^{abc}	0.3
Ala	95.3 ± 2.92^{bc}	95.1 ± 0.96^{def}	0.9
Asp	92.8 ± 0.15^{c}	92.4 ± 0.40^{bcd}	0.5
Glu	96.5 ± 0.30^{c}	95.7 ± 0.17^{ef}	0.003
Gly	96.6 ± 0.15^{c}	94.1 ± 0.75^{def}	0.2
Pro	96.3 ± 0.15^{c}	94.9 ± 1.05^{def}	0.08
Ser	93.6 ± 1.57^{bc}	93.2 ± 0.28^{cde}	0.2
	Total94.1	93.3	

[1] Values (Mean ± S.D. of three replicate groups) in each column with a different superscript are significantly different (P<0.01).
[2] P-value from t-test between juvenile and adult fish.

Table 5. Statistical analysis for amino acids digestibilities of control diet determined by using the fecal collector in juvenile and adult Korean rockfish

	Two-way ANOVA			One-way ANOVA	
	AA	Size	Interaction	Adult	Juvenile
Digestibility	P<0.0001	P<0.006	P<0.2	P<0.0001	P<0.0001

의 분 수집 통을 이용하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

요 약

분 수집 방법에 따른 건물, 단백질, 지질, 에너지, 탄수화물 및 아미노산의 소화율을 어체 크기별로 측정하기 위해 산화크롬 (Cr_2O_3)을 지표물질로 사용하여 표준사료와 단백질 무 첨가 사료를 제조하였다. 조피볼락 성어 (평균체중: 300 g)와 치어 (평균체중: 30 g)를 대상으로 위, 장, 항문을 각각 절개한 방법, 항문 부위를 눌러서 분을 짜내는 방법과 배설된 분을 분 수집 통으로 수집한 방법을 사용하여 각 방법별로 각각 3 반복으로 실험하였다.

건물, 단백질, 지질 및 에너지의 소화율은 분 수집 방법에 따라 유의한 차이 (P<0.0001)를 보인 반면 어체 크기에 대해서는 영향을 받지 않았다. 성어 및 치어 모두 위에서는 건물, 단백질, 지질 및 에너지가 전혀 소화 또는 흡수되지 않았고, 장, 항문 부위로 갈수록 유의하게 (P<0.01) 소화율이 높아지는 경향을 보였다. 성어에서 건물과 단백질의 소화율은 stripping한 것이 항문 부위에서 절개하여 채취한 분보다 유의하게 높은 값을 보인 반면 (P<0.01), 지질과 에너지의 소화율은 유의차가 없었다. 건물 소화율을 제외한 단백질, 지질과 에너지의 소화율은 분 수집 장치에서 측정한 값이 항문 부위에서 stripping한 것보다 높았지만 유의한 차이는 없었다 (P>0.01). 분 수집 장치를 이용하여 측정된 표준사료의 소화율은 건물이 성어 61%, 치어 58%, 단백질이 성어 94%, 치어 93%, 지질이 성어 96%, 치어 94%, 에너지가 성어 80%, 치어 79% 및 NFE (nitrogen-free extract)가 성어 29%, 치어 32%로 나타났다. 단백질 무 첨가 사료 (단백질 함량: 1.57%)를 먹인 실험어의 분에 단백질 함량이 성어는 1.35~1.41%, 치어는 1.16~1.33% 함유되어 있어 사료의 단백질함량과 거의 비슷하거나 낮게 나타났다. 성어 및

치어 모두 아미노산 종류별로 소화율이 유의한 차이 ($P<0.01$)를 보였는데, 성어의 경우는 Met이 가장 낮았고, 다음으로 Cys과 Val이 낮은 값을 보였다. 그 외 아미노산의 소화율은 서로 유의한 차이없이 93%~97%로 나타났다. 치어의 경우도 Met, Cys, His과 Val의 소화율이 다른 아미노산에 비해 낮은 값을 보였다. 본 실험의 결과로부터, 조피볼락의 외견상 소화율 측정은 stripping하거나 분 수집 통을 이용하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

AOAC. 1984. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemicals, 14th edition. Arlington. AV. 1141 pp.

Austreng, E. 1978. Digestibility determination in fish using chromic oxide marking and analysis of contents from different segments of the gastrointestinal tract. Aquaculture, 13, 265~272.

Austreng, E., S. Risa, D.J. Edwards and H. Hvidsten. 1977. Carbohydrate in rainbow trout diets. II. Influence of carbohydrate levels on chemical composition and feed utilization of fish from different families. Aquaculture, 11, 39~50.

Cho, C.Y., C.B. Cowey and T. Watanabe. 1985. Finfish nutrition in Asia. Methodological approaches to research and development. Ottawa, Ont. IDRC. 154 pp.

Cho, C.Y. and S.J. Slinger. 1979. Apparent digestibility measurement in feedstuff for rainbow trout. In Proc. World symp. on Finfish Nutrition and Fishfeed Technology. Hamburg, 20~23 June 1978, Vol. II, Berlin. pp. 239~248.

Cho, C.Y. and S.J. Kaushik. 1985. Effects of protein intake on metabolizable and net energy values of fish diets. In *Nutrition and Feeding of Fish.* Academic Press, London, pp.95~117.

Cho, C.Y. and S.J. Kaushik. 1990. Nutrional energetics in fish: energy and protein utilization in rainbow trout. In *Aspects of Food Production, Consumption and Energy Values.* World Rev. Nutr. Diet., Basel, Karger, 61, 132~172.

Cho, C.Y., S.J. Slinger and H.S. Bayley. 1982. Bioenergetics of salmonid fishes: energy intake, expenditure and productivity. Comp. Biochem. Physiol., 73B, 25~-41.

Choubert, G., J. De la Noue and P. Luquet. 1982. Digestibility in fish: improved device for automatic collection of feces. Aquaculture, 29, 185~189.

Dabrowski K. 1983. Comparative aspects of protein digestion and amino-acid absorption in fish and other animals. Comp. Biochem. Physiol., 74A, 417~425

Duncan, D. B. 1955. Multiple-range and multiple F tests. Biometrics, 11, 1~42

Ferraris, R.P., M.R. Catacutan and P.J. Adan. 1986. Digestibility in mikfish, Chanos chanos (Forsskal): effect of protein source, fish size and salinity. Aquaculture, 59, 93~105.

Ferraris, R.P. and G.A. Ahearn. 1983. Intestinal glucose transport in carnivorous and herbivorous marine fishes. J. Comp. Physiol., 152, 79~90.

Ferraris, R.P. and G.A. Ahearn. 1984. Sugar and amino acid transport in fish intestine. Comp. Biochem. Physiol., 77 A, 397~413.

Furukawa, A. and H. Tsukahara. 1966. On the acid digestion for the determination of chromic oxide as an index substance in the study of digestibility of fish feed. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 32, 502~506 (in Japanese).

Furuichi M. and Y. Yone. 1982. Availability of carbohydrate in nutrition of carp and red sea bream. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 48, 945~948.

Furuichi, M., H. Taira and Y. Yone. 1986. Availability of carbohydrate in nutrition of yellowtail. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 51, 99~102.

Hajen, W. E., R.M. Beames, D.A. Higgs and B.S. Dosanjh. 1993a. Digestibility of various feedstuffs by post-juvenile chinook salmon (Oncorhynchus tshawytscha) in sea water. 1. Validation of technique. Aquaculture., 112, 321~332.

Hajen, W. E., D.A. Higgs, R.M. Beames and B.S. Dosanjh. 1993b. Digestibility of various feedstuffs by post-juvenile chinook salmon (Oncorhynchus tshawytscha) in sea water. 2. Measurement of digestibility. Aquaculture, 112, 333~348.

Henken, A.M., D.W. Kleingeld and P.A.T. Tijssen. 1985. The effect of feeding level on apparent digestibility of dietary dry matter, crude protein and gross energy in the African catfish Clarias gariepinus (Burchell 1822). Aquaculture, 51, 1~11.

Hastings, W. H. 1969. Nutritional score, pp. 263-292. In; O. W. Neuhaus and J. E. Halver, eds. Fish in research. Academic press, New york.

Hossain, M.A. and K. Jauncey. 1989. Studies on the protein, energy and amino acid digestibility of fish meal, mustard oilcake, linseed and sesame meal for common carp (Cyprinus carpio L.). Aquaculture, 83, 59~72.

Kaushik, S.J. and A.O. Teles. 1985. Effect of digestible energy on nitrogen and energy balance in rainbow trout. Aquaculture, 50, 89~101.

Lee, J. Y., Y. J. Kang, S. M. Lee and I.B. Kim. 1993a. Protein requirements of the Korean rockfish Sebastes schlegeli. Korean J. Aquacult., 6, 13~27 (in Korean).

Lee, J. Y., Y. J. Kang, S. M. Lee and I. B. Kim. 1993b. Optimum digestible energy to protein ratio in diets for the Korean rockfish Sebastes schlegeli. Korean J. Aquacult., 6, 29~46 (in Korean).

Lee, S. M., J. Y. Lee, Y.J. Kang, H. D. Yoon and S. B. Hur. 1993c. n-3 highly unsaturated fatty acid requirement of the Korean rockfish Sebastes schlegeli. Bull. Korean Fish. Soc., 26, 477~492 (in Korean).

Lee, S. M., J. Y. Lee and Y. J. Kang. 1993d. Effects of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids and water temperatures on growth and body composition of the Korean rockfish Sebastes schlegeli. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency, 48, 107~124 (in Korean).

Lee, J. Y. and S. M. Lee. 1994a. Nutritional studies and feed development for Korea rockfish (Sebastes schlegeli.) Proceedings of FOID, '94 The Third International Conference on Fisheries and Ocean Industrial Development for Productivity Enhancement of the Coastal Waters. pp. 75~92.

Lee, S. M., and J. Y. Lee 1994b. Effects of dietary-cellulose levels on the growth, feed efficiency and body compositions of Korean rockfish, Sebastes schlegeli. Korean J. Aquacult., 7, 97~107 (in Korean).

Lee S. M., J. Y. Lee and S. B. Hur. 1994. Essentiality of dietary EPA (eicosapentaenoic acid) and DHA (docosahexaenoic acid), and importance of dietary EPA/DHA ratio in the Korean rockfish Sebastes schlegeli. Bull. Korean Fish. Soc., 26, 477~492.

Lee, J. Y., S. M. Lee and I. G. Jeon. 1995a. Growth pattern of Korean rockfish (Sebastes schlegeli) from the indoor culture system. Korean J. Aquacult., 8, 221~229 (in Korean).

Lee, S. M., J. Y. Lee and I. G. Jeon. 1995b. Effects of a practical Korean rockfish (Sebastes schlegeli) diet; comparison with raw fish and moist pellet diet. Korean J. Aquacult., 8, 261~269 (in Korean).

Lee S. M., J. H. Yoo and J. Y. Lee. 1996a. The use of soybean meal, corn gluten meal, meat meal, meat and bone meal, or blood meal as a dietary protein source replacing fish meal in Korean rockfish (Sebastes schlegeli). Kor. J. Anim. Nutr. Feed., 20 (1), 21~30 (in Korean).

Lee, S. M., I. G. Jeon and J. Y. Lee. 1996b. Comparison of various fish meals as dietary protein sources for Korean rockfish (Sebastes schlegeli). J. Korean Fish. Soc., 29 (2), 135~142 (in Korean).

NRC (National Research Council). 1983. Nutrient Requirements of Warmwater Fishes and Shellfishes. National Acad. Press, Washington, D.C. 102 pp.

Lie, ϕ., E. Lied and G. Lambertsen. 1988. Feed optimization in Atlantic cod (*Gadus morhua*): fat versus protein content in the feed. Aquaculture, 69, 333~341.

Lovell, R.T. 1977. Digestibility of nutrients in feedstuffs for catfish. In *Nutrition and Feeding of channel catfish.* Southern Cooperative Series Bulletin, 218. p. 33~37.

Nose, T. 1960a. On the digestion of food protein by goldfish (*Carassius auratus L.*) and rainbow trout (*Salmo irideus G.*). Bull. Freshwater Fish. Res. Lab., 10, 12~22.

Nose, T. 1960b On the effective balue of freshwater green algae, Chlorella ellipsoidea, as a nutritive source to goldfish. Bull. Freshwater Fish. Res. Lab., 10, 10.

Nose, T. 1967. Recent advances in the study of fish digestion. In *Trout Salmon Cult.*, Rome. FAO EIFAC Tech. Pap., NO. 3. p. 83~94.

Ogino, C. and M.S. Chen. 1973. Protein nutrition in fish, III. Apparent and true digestibility of dietary protein in carp. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 39, 649~651.

Page, J.W. and J.W. Andrews. 1973. Interaction of dietary levels of protein and energy on channel catfish (Ictalurus punctatus). J. Nutr. 102, 1399~1346.

Singh, C.S. and T. Nose. 1967. Digestibility of carbohydrates in young rainbow trout. Bull. Freshw. Fish. Res. Lab., 17, 21~25.

Smith, R. R. 1971. A method for measuring digestibility and metabolizable energy of fish feeds. Prog. Fish-Cult., 33, 132~134.

Smith, R. R. 1976. Metabolizable energy of feedstuffs for trout. Feedstuffs, 48, 16~17.

Smith, R. W. and R. T. Lovell. 1971. Digestibility of nutrients in semipurified rations by channel catfish in stainless troughs. Proc. Annual Conf. Southeast Assoc. Game Fish Comm., 25, 425~459.

Smith, R. W. and R. T. Lovell. 1973. Determination of apparent protein digestibility in feds for channel catfish. Trans. Am. Fish. Soc., 102, 831~835.

Smith, L.S. 1989. Digestive functions in teleost fishes. In *Fish Nutrition.* Academic Press, Inc. p. 331~421.

Smith, R.R., M.C. Peterson, and A.C. Allred. 1980. The effect of leaching on apparent digestion coefficients in determining digestibility and metabolizable energy of feedstuffs for salmoids. Prog. Fish Cult., 42, 195~199.

Spyridakis, P., R. Metailler, J. Gabaudan and A. Riaza. 1989. Studies on nutrient digestibility in European sea bass (Dicentrarchus labrax). 1. Methodological aspects concerning faeces collection. Aquaculture, 77, 61~70.

SPSS for Window. 1993. Base System User's Guide, Release 6.0, SPSS Inc., 444N. Michigan Avenue, Chicago,

IL, 60611.
Willson R. P., E. H. Rovinson and W. E. Poe. 1981. Apparent and true availatility of amino acids from common feed ingredients for channel catfish. J. Nutr., 111, 923~929.
Windell, J. T., J. W. Foltz and J. A. Sarokon. 1978. Methods of fecal collection and nutrient leaching in digestibility studies. Prog. Fish-Cult., 40, 51~55.
국립수산진흥원. 1993. '93년도 시험연구사업 최종평가 회의 자료 (증양식분야). 52 pp.

1996년 2월 27일 접수
1996년 12월 28일 수리