

# 사료의 P, Ca, Zn, Mg, Fe, K, Mn과 Se이 조피볼락의 성장 및 체성분에 미치는 영향

이상민 · 박승렬\*  
강릉대학교 해양생명공학부, \*국립수산진흥원

## Influence of P, Ca, Zn, Mg, Fe, K, Mn, or Se in the Dietary Mineral Premix on Growth and Body Composition of Korean Rockfish (*Sebastes schlegelii*)

Sang-Min LEE and Sung-Real PARK\*

Faculty of Marine Bioscience & Technology, Kangnung National University, Kangnung 210-702, Korea  
\*National Fisheries Research and Development Institute, Pusan 619-900, Korea

A 10-week feeding experiment was conducted to determine the influence of several minerals from dietary mineral premix on growth and body composition in juvenile Korean rockfish. Three replicate groups of fish initially averaging 4.2 g were fed one of the ten experimental diets. Korean rockfish muscle and casein as protein sources were used in the basal diet, and deleted one of each mineral (P, Ca, Zn, Mg, Fe, K, Mn, Se or all) in the control mineral premix. Weight gain, feed efficiency and nutrient retention in fish fed the diet not containing mineral premix were significantly lower than those in fish fed other diets ( $P < 0.01$ ). Weight gain in fish fed the diets deleted each mineral (P, Ca, Zn, Mg, Fe, K, Mn or Se) was lower than that of control diet ( $P < 0.01$ ). Feed efficiency and protein retention in fish fed the diets deleted each of P, Ca, Zn or Mn were lower than those of control diet ( $P < 0.01$ ). Daily feed intake and lipid retention were not affected by dietary mineral premixes ( $P > 0.01$ ). Proximate analysis and mineral contents in the whole body, muscle, liver or bone of fish fed the diets deleted each mineral were not different to control diet ( $P > 0.01$ ). The data obtained in this study indicate that each of the P, Ca, Zn, Mg, Fe, K, Mn or Se is essential for normal growth of Korean rockfish.

**Key words:** mineral, rockfish

### 서 론

육상 동물과 마찬가지로 어류도 그들이 처해 있는 환경에서 정상적인 생명을 유지하기 위하여 각종 미네랄을 요구한다(NRC, 1993). 이러한 미네랄들은 체 골격(뼈, 이빨, 비늘 및 연골) 형성, 산-염기의 평형 조절, 삼투압 조절 및 각종 효소의 보조 인자로 작용하여 생체의 활동, 성숙 및 성장에 관여한다. 미네랄의 섭취가 부족하면 성장, 사료효율 및 식욕이 감소되고 폐사율이 높아지는 등 무기물의 종류에 따라서 여러 가지 부작용이 초래된다(NRC, 1993). 이러한 미네랄은 그 요구량 차이에 따라 Ca와 P 등과 같은 대량원소 외에는 그들의 요구량이 낮기 때문에 연구에 어려움이 따르며, 현재까지 어류에 대하여 Ca, P, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, Se과 I의 요구량이 연구되어 왔다(NRC, 1993). 어류는 미네랄들을 환경수로부터 아가미와 피부를 통하여 받아들이고, 먹이 중의 미네랄을 장으로 흡수한다. 그러나 어류가 필요로 하는 미네랄을 수중에서 섭취할 수 없다면, 사료에 필요량을 첨

가하여 주어야 할 것이다. 더욱이 고밀도 양식이 이루어지는 어종에 대해서는 그들이 천연적인 먹이로부터 필요한 미네랄을 모두 섭취할 수 없으므로 배합사료에 부족한 미네랄의 첨가는 필수적이다. 따라서 양식어의 성장을 최대로 유지하고 사료효율을 높이기 위해서는 대상 어종의 미네랄 요구에 관한 연구가 먼저 수행되어야 할 것으로 판단된다. 그래서 본 연구에서는 우리 나라 중요 해산양식종인 조피볼락에 대하여 사료에 주요 미네랄 첨가 필요성을 성장과 체성분의 변화를 통해 조사하였다.

### 재료 및 방법

해산어류의 단백질원으로 사용되는 어분에는 각종 미네랄이 다량 함유되어(NRC, 1993)있기 때문에 미네랄의 영양요구에 관한 실험사료의 단백질원으로 사용하기에 부적합하다. 따라서 정제사료를 제조하여 실험하는 것이 가장 과학적인 방법이기는 하나, casein과 gelatin만을 단백질원으로 첨가한 실험 정제사료는 조피볼락의 기호성

에 맞지 않았으며, Lee et al. (1993c)도 실험사료원으로 casein과 gelatin 단백질원들은 적합치 않다고 보고하였다. 그래서 본 실험에서는 Table 1에 표시한 것처럼 주요 mineral 함량이 낮은 조피볼락 근육과 casein을 사료 단백질원으로 선정하였다. 1kg 전후의 양식산 조피볼락의 등근육을 분리하여 껍질을 제거한 후 동결하였다가 저온으로 건조하여 분쇄한 것을 단백질원으로 사용하였다. 탄수화물원으로  $\alpha$ 와  $\beta$  전분을 혼합하여 첨가하였으며, 지질원으로 오징어 간유를 첨가하여 사료의 일반성분이 조피볼락의 요구에 맞도록 (Lee and Lee, 1994) 설계하였다 (Table 2).

Mineral premix는 Table 2에 나타낸 바와 같이 미네랄 영양연구를 위한 reference premix를 준비하였는데, 조피볼락 영양연구 (Lee et al., 1993a,b; Lee et al., 1994)에서 사용된 H-440 premix (NAS, 1973)와 그 효능을 비교한 결과, 성장, 사료효율, 영양소 축적률, 어체의 일반성분 및 미네랄 함량, 간 조직 성장 및 뼈의 융합 상태에서 서로 차이가 없었다 ( $P>0.01$ ). 이러한 결과를 바탕으로 본 실험

**Table 1. Chemical composition of the protein sources**

	Protein source		
	Fish meal	Rockfish muscle	Casein
Moisture (%)	4.7-4.8	8.3	5.4-7.1
Protein (%)	68.4-69.3	75.3	87.5-88.6
Lipid (%)	7.6-9.4	13.0	0.1
Ash (%)	15.6-18.5	4.7	1.1-3.4
P (%)	2.7-3.5	0.2	0.03-0.8
Ca (%)	2.0-6.4	0.4	0.6
Zn (mg/kg)	50-93	-	27
Mn (mg/kg)	4-12	10	4.3
Mg (%)	0.2-0.3	0.2	0.01
Fe (mg/kg)	160-277	800	14
K (%)	0.3-0.9	1.8	0.01

험에서는 reference premix 중에 P, Ca, Zn, Mg, Fe, K, Mn 및 Se을 각각 첨가하지 않은 사료와 mineral 전부를 첨가하지 않은 사료를 설정하여 모두 10종의 실험

**Table 2. Composition (%) of the experimental diet**

Ingredients	Control	-P	-Ca	-Zn	-Mg	-Fe	-K	-Mn	-Se	-All
Rockfish muscle	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Casein	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
$\alpha$ -starch	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
$\beta$ -starch	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Squid liver oil	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Vitamin premix <sup>1</sup>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Mineral premix <sup>2</sup>	8	8	8	8	8	8	8	8	8	-
Carboxymethyl cellulose	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
$\alpha$ -cellulose	3	3	3	3	3	3	3	3	3	11
Chemical composition (dry matter basis)										
Protein (%)	49.2	48.5	49.1	50.1	49.0	50.1	49.0	49.0	49.3	49.0
Lipid (%)	10.5	10.1	10.4	10.4	10.0	10.3	10.1	10.0	9.9	10.7
Ash (%)	8.0	6.6	7.0	7.9	8.4	7.9	7.3	7.9	8.4	3.9
Fiber (%)	4.5	7.5	7.4	4.7	5.2	4.8	5.1	4.5	4.5	12.5
P (mg)	719.6	132.0								
Ca (mg)	618.7		248.0							
Zn (mg)	36.4			-						
Mg (mg)	164.0				100.8					
Fe (mg)	76.9					4.0				
K (mg)	1446.6						901.1			
Mn (mg)	5.3							0.1		

<sup>1</sup> Vitamin premix contained the following amount which were diluted in cellulose (g/kg mix): ascorbic acid, 92.7;  $\alpha$ -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 benzoic acid, 13.9; K<sub>3</sub>, 1.4; A, 0.6; D<sub>3</sub>, 0.002; choline chloride, 278.3; cyanocobalamin, 0.003.

<sup>2</sup> Deleted each mineral from reference mineral premix, which contained the following ingredients (g/kg mix): MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 80; NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O, 370; KCl, 130; Ferric citrate, 40; ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 20; Ca-lactate, 356.5; CuCl<sub>2</sub>, 0.2; AlCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O, 0.15; KI, 0.15; Na<sub>2</sub>Se<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0.01; MnSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O, 2; CoCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O, 1.

사료를 제조하였다.

동일 친어로부터 산출된 치어를 예비사육하다가 평균 체중 4.2 g의 치어를 실험어로 선별하여, 40ℓ plastic 수조에 25마리씩 실험사료마다 각각 3반복으로 수용하여 10주간 사육실험하였다. 여과해수를 유수식 실험수조에 수조당 3ℓ/min씩 주수하였으며, 약하게 산소를 공급하여 주었다. 사료는 1일 2회 (09:00, 17:00) 반복으로 공급하여 주었으며, 수온은 17~23℃였다. 어체성분 분석용으로 최초 50마리를 sample하였으며, 실험 종료시에는 각 실험수조에 수용된 25마리중에서 전어체의 성분분석용으로 7마리씩, 간, 근육 및 뼈의 성분분석용으로 15마리씩 임의로 sample하여 냉동(-75℃) 보관하였다.

사료 및 어체의 일반성분은 AOAC (1990)방법에 따랐으며, 일반성분 및 미네랄의 분석을 위하여 전어체를 냉동된 상태로 masscolloider (Masuko Co., Ltd., Japan)에서 분쇄하였고, 뼈의 회분 및 미네랄 성분을 분석하기 위해 어체로부터 뼈 분리는 Willson et al. (1982)이 사용한 방법과 동일하게 실시하였다. 미네랄 중 P의 정량은 molybden blue 비색법에 의하여 시료분해액 1ml에 인산표준액 2ml와 ammonium molybdic acid 2ml를 가하여 혼합한 다음 10분간 방치한 후, 아황산소오다 2ml를 넣고 25ml로 정용하여 30분후에 650 nm에서 비색정량하였다. K, Ca, Mg, Fe, Zn 및 Mn의 정량은 Table 3과 같은 조건으로 atomic absorption spectrophotometer를 이용하여 Graham et al. (1982)의 방법에 따라 측정하였다. 결과의 통계처리는 Duncan's multiple range test로 평균간의 유의성을 SPSS (SPSS Inc., 1993) program을 사용하여 검정하였다.

**Table 3. Operating condition for mineral alalysis with atomic absorption spectrophotometer**

Condition	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn
Wave length (nm)	766.5	422.7	285.2	248.3	213.9	279.5
Lamp current (mA)	7	7	3	8	5	5
Airflow rate (ℓ/min)	14	14	14	10	12	12
Acetylene flow rate (ℓ/min)	3	3	3	3	3	3
Burner height (nm)	40	40	40	40	40	40

### 결과 및 고찰

미네랄 조성이 다른 10종류의 실험사료로 10주간 사육 실험한 결과, 모든 실험구에서 폐사개체는 없었으며, 성장차이 외에는 외관상 특별한 부작용이 관찰되지 않았다. 사료별로 성장효과 (Table 4), 어체의 일반성분 (Table 5) 및 전어체와 뼈의 미네랄 조성 (Table 6과 7)을 분석하여

각 미네랄의 영양을 조사하였다.

성장, 사료효율, 영양소이용률, 전어체의 지질 함량에서 mineral premix를 첨가하지 않은 -all 사료가 가장 낮았다 (P<0.01). P, Ca, Zn, Mg, Fe, K, Mn 및 Se을 각각 첨가하지 않은 실험 사료의 증체율은 모두 대조구보다 유의하게 낮았다 (P<0.01). 사료효율은 Mg, Fe, K 및 Se을 첨가하지 않은 실험구가 대조구와 통계적으로 차이가 없었으며, P, Ca 및 Zn 무첨가구는 대조구, Mg, Fe, K 및 Se 무첨가구보다 유의하게 낮은 값을 보였다 (P<0.01). 일일사료섭취율은 실험구간에 유의차가 없었지만 (P>0.01), 성장률과 유사하게 단백질축적률에서도 P, Ca 및 Zn 무첨가구들은 대조구보다 저조한 성적을 보였으며, 지질축적률은 Zn 무첨가구만 대조구와 차이를 보였다 (P<0.01). 이와 같이 각각의 미네랄을 제거한 실험구들의 성장 및 영양소이용률의 성적이 낮은 것은 이러한 각 미네랄들이 조피볼락의 성장에 필수적이기 때문이다. 특히, 본 실험에서 P, Ca 및 Zn을 제거한 실험구가 Mg, Fe, K, Mn 및 Se을 제거한 실험구보다 유의적으로 더 낮은 성장값을 보인 것은 Table 1에 나타내었던 바와 같이 실험사료의 주 단백질원으로 사용된 조피볼락 근육에 P, Ca 및 Zn의 함량이 다른 미네랄 함량보다 더 적게 함유되어 있어 성장 저하효과가 더 뚜렷하게 나타난 것으로 판단된다. 따라서 Mg, Fe, K 및 Mn 무첨가구의 성장효과가 P, Ca 및 Zn 무첨가보다 좋았던 것도 주 단백질원의 미네랄 함량과 관련지어 설명할 수 있을 것으로 생각된다.

타 어종의 미네랄 영양요구에 대해서는 많이 연구 (NRC, 1993)되었지만, 해산어에 대해 수행된 연구가 그리 많지 않다. Sakamoto and Yone (1973, 1978a)는 참돔 사료에 적정 Ca/P ratio를 1:2로 보고하였으며, 이때 사료의 Ca 함량은 340 mg, P 함량은 680 mg이었다. 잉어, 뱀장어, 차넬메기 및 틸라피아의 Ca 요구량은 0.34~0.7% (Ogino and Takeda, 1976; Robinson et al., 1986, 1987)로 연구되었다. 또한, 대부분의 어종에서 사료중의 P 요구량은 0.5~0.8% (Ogino and Takeda, 1978; Ketola, 1975; Watanabe et al., 1980)로 알려져 있다. 본 실험에서 Ca 또는 P 무첨가구의 Ca과 P의 함량은 각각 248 mg과 132 mg으로 나타나 타 어종의 요구량보다 낮은 값을 보였다. 이러한 Ca과 P은 골격 구성에 필수적이며 삼투압 조절 및 체내 대사과정에 중요한 기능을 가진 영양소로 이들의 결핍증은 성장 및 사료효율 저하, 체내의 회분 감소, 어체의 P와 Ca의 감소 및 어체 지질함량 증가 등으로 보고되어 있다 (NRC, 1993). 본 실험에서도 Ca과 P의 무첨가구들은 성장 및 사료효율이 저하되었으며,

**Table 4. Performance of Korean rockfish fed the diets containing different mineral premix after 10 weeks of the experimental period<sup>1</sup>**

Diets	Weight gain (%) <sup>2</sup>	Feed efficiency (%) <sup>3</sup>	Daily feed intake (%) <sup>4</sup>	Protein retention (%) <sup>5</sup>	Lipid retention (%) <sup>5</sup>
Control	193 ± 12.4 <sup>f</sup>	90.7 ± 2.4 <sup>e</sup>	1.80 ± 0.04 <sup>a</sup>	28.9 ± 1.47 <sup>e</sup>	67.4 ± 7.0 <sup>c</sup>
-P	118 ± 4.0 <sup>bc</sup>	68.3 ± 1.9 <sup>bc</sup>	1.81 ± 0.05 <sup>a</sup>	21.8 ± 1.99 <sup>bcd</sup>	55.0 ± 3.8 <sup>bc</sup>
-Ca	105 ± 9.3 <sup>b</sup>	63.6 ± 2.3 <sup>bc</sup>	1.81 ± 0.05 <sup>a</sup>	19.9 ± 1.64 <sup>bc</sup>	61.1 ± 14.1 <sup>bc</sup>
-Zn	100 ± 14.6 <sup>b</sup>	61.7 ± 8.5 <sup>b</sup>	1.79 ± 0.06 <sup>a</sup>	19.2 ± 3.67 <sup>b</sup>	47.8 ± 6.6 <sup>b</sup>
-Mg	151 ± 8.2 <sup>de</sup>	81.5 ± 3.3 <sup>de</sup>	1.76 ± 0.02 <sup>a</sup>	27.1 ± 1.80 <sup>e</sup>	62.2 ± 3.1 <sup>bc</sup>
-Fe	147 ± 11.6 <sup>de</sup>	81.6 ± 4.5 <sup>de</sup>	1.72 ± 0.06 <sup>a</sup>	24.8 ± 2.55 <sup>de</sup>	61.9 ± 3.9 <sup>bc</sup>
-K	154 ± 8.0 <sup>de</sup>	81.8 ± 4.8 <sup>de</sup>	1.76 ± 0.07 <sup>a</sup>	25.3 ± 1.36 <sup>de</sup>	59.6 ± 1.6 <sup>bc</sup>
-Mn	132 ± 12.4 <sup>cd</sup>	74.2 ± 3.9 <sup>cd</sup>	1.78 ± 0.03 <sup>a</sup>	24.1 ± 1.20 <sup>cde</sup>	69.2 ± 4.2 <sup>c</sup>
-Se	160 ± 11.8 <sup>e</sup>	82.8 ± 3.5 <sup>e</sup>	1.79 ± 0.01 <sup>a</sup>	25.7 ± 1.21 <sup>de</sup>	71.6 ± 9.8 <sup>c</sup>
-All	46 ± 8.5 <sup>a</sup>	32.6 ± 4.8 <sup>a</sup>	1.89 ± 0.02 <sup>a</sup>	8.8 ± 1.16 <sup>a</sup>	30.0 ± 4.6 <sup>a</sup>

<sup>1</sup> Values (mean ± s.d. of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ( $P < 0.01$ ).

<sup>2</sup> (Final fish weight-initial fish weight) × 100 / Initial fish weight.

<sup>3</sup> (Fish weight gain × 100) / Feed intake (dry matter).

<sup>4</sup> [Feed intake (dry matter) × 100] / [(Initial fish weight + final fish weight) / 2] × days fed.

<sup>5</sup> [Protein (or lipid) gain × 100] / Protein (or lipid) intake.

**Table 5. Chemical composition (%) of whole body, dorsal muscle and liver after 10 weeks of the experimental period\***

Diets	Moisture		Protein		Lipid		
	Whole body	Muscle	Whole body	Muscle	Whole body	Muscle	Liver
Initial:	75.6	78.0	15.5	20.2	3.6	0.9	-
Final:							
Control	74.4 ± 0.8 <sup>ab</sup>	78.4 ± 0.2 <sup>a</sup>	15.6 ± 0.3 <sup>a</sup>	18.6 ± 0.4 <sup>a</sup>	5.2 ± 0.5 <sup>b</sup>	1.2 ± 0.2 <sup>a</sup>	14.0 ± 1.6 <sup>ab</sup>
-P	75.0 ± 0.4 <sup>ab</sup>	79.0 ± 1.0 <sup>a</sup>	15.5 ± 0.5 <sup>a</sup>	18.2 ± 0.2 <sup>a</sup>	4.5 ± 0.2 <sup>ab</sup>	1.4 ± 0.4 <sup>a</sup>	11.6 ± 2.5 <sup>ab</sup>
-Ca	74.8 ± 0.6 <sup>ab</sup>	78.8 ± 0.7 <sup>a</sup>	15.4 ± 0.5 <sup>a</sup>	18.4 ± 0.6 <sup>a</sup>	5.2 ± 1.2 <sup>b</sup>	1.0 ± 0.5 <sup>a</sup>	11.9 ± 1.3 <sup>ab</sup>
-Zn	74.2 ± 0.8 <sup>a</sup>	79.3 ± 1.1 <sup>a</sup>	15.7 ± 0.4 <sup>a</sup>	18.4 ± 0.4 <sup>a</sup>	4.1 ± 0.3 <sup>ab</sup>	1.2 ± 0.3 <sup>a</sup>	10.9 ± 0.8 <sup>ab</sup>
-Mg	73.5 ± 0.6 <sup>a</sup>	79.2 ± 0.5 <sup>a</sup>	16.0 ± 0.3 <sup>a</sup>	18.7 ± 0.1 <sup>a</sup>	4.7 ± 0.2 <sup>b</sup>	1.2 ± 0.5 <sup>a</sup>	9.5 ± 2.4 <sup>a</sup>
-Fe	74.5 ± 0.7 <sup>ab</sup>	79.0 ± 0.2 <sup>a</sup>	15.6 ± 0.6 <sup>a</sup>	19.4 ± 0.4 <sup>a</sup>	4.7 ± 0.1 <sup>b</sup>	0.7 ± 0.1 <sup>a</sup>	13.7 ± 2.5 <sup>ab</sup>
-K	74.0 ± 0.3 <sup>a</sup>	78.8 ± 0.8 <sup>a</sup>	15.4 ± 0.2 <sup>a</sup>	18.7 ± 0.4 <sup>a</sup>	4.5 ± 0.1 <sup>ab</sup>	1.1 ± 0.1 <sup>a</sup>	10.2 ± 1.1 <sup>a</sup>
-Mn	73.4 ± 0.9 <sup>a</sup>	79.2 ± 0.3 <sup>a</sup>	15.8 ± 0.3 <sup>a</sup>	18.9 ± 0.4 <sup>a</sup>	5.4 ± 0.3 <sup>b</sup>	0.8 ± 0.1 <sup>a</sup>	10.1 ± 2.2 <sup>a</sup>
-Se	74.2 ± 1.1 <sup>a</sup>	79.9 ± 0.5 <sup>a</sup>	15.4 ± 0.2 <sup>a</sup>	18.7 ± 0.7 <sup>a</sup>	5.3 ± 0.7 <sup>b</sup>	0.8 ± 0.2 <sup>a</sup>	12.5 ± 2.3 <sup>ab</sup>
-All	76.2 ± 0.7 <sup>b</sup>	79.1 ± 1.0 <sup>a</sup>	15.0 ± 0.3 <sup>a</sup>	18.2 ± 0.4 <sup>a</sup>	3.3 ± 0.5 <sup>a</sup>	0.7 ± 0.1 <sup>a</sup>	11.4 ± 2.7 <sup>ab</sup>

\* Values (mean ± s.d. of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ( $P < 0.01$ ).

**Table 6. Ash and mineral contents of whole body after 10 weeks of the experimental period\***

Diets	Ash (% of wet wt.)	P (% of dry wt.)	Ca (% of dry wt.)	Zn (mg/100 g dry wt.)	Mg (% of dry wt.)	Fe (mg/kg dry wt.)	K (% of dry wt.)
Control	4.25 ± 0.18 <sup>ab</sup>	2.27 ± 0.07 <sup>a</sup>	4.03 ± 0.75 <sup>a</sup>	10.4 ± 3.2 <sup>b</sup>	0.26 ± 0.02 <sup>a</sup>	80.3 ± 26.6 <sup>a</sup>	1.42 ± 0.10 <sup>a</sup>
-P	3.62 ± 0.09 <sup>a</sup>	1.92 ± 0.15 <sup>a</sup>	3.78 ± 0.49 <sup>a</sup>	14.5 ± 0.2 <sup>d</sup>	0.23 ± 0.02 <sup>a</sup>	58.0 ± 50.4 <sup>a</sup>	1.52 ± 0.10 <sup>a</sup>
-Ca	4.20 ± 0.31 <sup>ab</sup>	2.64 ± 0.26 <sup>a</sup>	4.57 ± 0.46 <sup>a</sup>	13.2 ± 0.6 <sup>cd</sup>	0.24 ± 0.02 <sup>a</sup>	49.7 ± 32.9 <sup>a</sup>	1.48 ± 0.06 <sup>a</sup>
-Zn	4.27 ± 0.27 <sup>ab</sup>	2.48 ± 0.16 <sup>a</sup>	4.79 ± 0.58 <sup>a</sup>	7.3 ± 0.9 <sup>a</sup>	0.23 ± 0.08 <sup>a</sup>	61.0 ± 13.2 <sup>a</sup>	1.53 ± 0.12 <sup>a</sup>
-Mg	4.10 ± 0.26 <sup>ab</sup>	2.26 ± 0.33 <sup>a</sup>	4.67 ± 0.61 <sup>a</sup>	12.0 ± 0.8 <sup>bc</sup>	0.25 ± 0.02 <sup>a</sup>	71.3 ± 25.6 <sup>a</sup>	1.43 ± 0.03 <sup>a</sup>
-Fe	4.03 ± 0.02 <sup>ab</sup>	2.23 ± 0.02 <sup>a</sup>	4.99 ± 0.48 <sup>a</sup>	11.7 ± 0.1 <sup>bc</sup>	0.25 ± 0.01 <sup>a</sup>	67.7 ± 25.5 <sup>a</sup>	1.44 ± 0.02 <sup>a</sup>
-K	4.43 ± 0.17 <sup>b</sup>	2.44 ± 0.39 <sup>a</sup>	4.67 ± 0.35 <sup>a</sup>	11.5 ± 0.6 <sup>bc</sup>	0.27 ± 0.01 <sup>a</sup>	58.3 ± 25.7 <sup>a</sup>	1.47 ± 0.12 <sup>a</sup>
-Mn	4.06 ± 0.27 <sup>ab</sup>	2.26 ± 0.29 <sup>a</sup>	4.37 ± 0.48 <sup>a</sup>	11.4 ± 0.8 <sup>bc</sup>	0.23 ± 0.01 <sup>a</sup>	77.7 ± 48.9 <sup>a</sup>	1.43 ± 0.09 <sup>a</sup>
-Se	4.14 ± 0.21 <sup>ab</sup>	2.14 ± 0.22 <sup>a</sup>	4.31 ± 0.48 <sup>a</sup>	12.4 ± 0.5 <sup>c</sup>	0.23 ± 0.03 <sup>a</sup>	143.3 ± 19.2 <sup>a</sup>	1.41 ± 0.08 <sup>a</sup>
-All	4.58 ± 0.42 <sup>b</sup>	2.83 ± 0.41 <sup>a</sup>	4.21 ± 0.43 <sup>a</sup>	10.5 ± 0.9 <sup>b</sup>	0.26 ± 0.02 <sup>a</sup>	81.7 ± 9.2 <sup>a</sup>	1.51 ± 0.08 <sup>a</sup>

\* Values (mean ± s.d. of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ( $P < 0.01$ ).

**Table 7. Ash and mineral contents of bone after 10 weeks of the experimental period\***  
(lipid-free dry matter basis)

Diets	Ash (%)	P (%)	Ca (%)	Zn (mg/100 g)	Mg (%)	K (g/kg)
Initial:	58.4	8.3	11.9	11.9	0.43	1.5
Final:						
Control	56.3 ± 0.6 <sup>a</sup>	5.8 ± 1.1 <sup>a</sup>	10.7 ± 0.2 <sup>a</sup>	26.8 ± 10.6 <sup>a</sup>	0.41 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.50 ± 0.10 <sup>a</sup>
-P	55.1 ± 4.0 <sup>a</sup>	6.7 ± 2.5 <sup>a</sup>	10.8 ± 0.3 <sup>a</sup>	22.8 ± 10.9 <sup>a</sup>	0.41 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.43 ± 0.49 <sup>a</sup>
-Ca	57.9 ± 2.4 <sup>a</sup>	5.3 ± 1.2 <sup>a</sup>	10.7 ± 0.3 <sup>a</sup>	15.4 ± 12.3 <sup>a</sup>	0.44 ± 0.05 <sup>a</sup>	1.10 ± 0.60 <sup>a</sup>
-Zn	57.3 ± 0.6 <sup>a</sup>	5.8 ± 1.5 <sup>a</sup>	10.7 ± 0.5 <sup>a</sup>	7.9 ± 13.6 <sup>a</sup>	0.44 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.76 ± 0.76 <sup>a</sup>
-Mg	55.9 ± 2.2 <sup>a</sup>	6.0 ± 3.0 <sup>a</sup>	11.0 ± 0.7 <sup>a</sup>	14.5 ± 14.1 <sup>a</sup>	0.41 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.50 ± 0.40 <sup>a</sup>
-Fe	54.8 ± 2.9 <sup>a</sup>	6.1 ± 2.3 <sup>a</sup>	10.8 ± 0.7 <sup>a</sup>	20.4 ± 13.4 <sup>a</sup>	0.43 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.86 ± 0.37 <sup>a</sup>
-K	58.2 ± 1.8 <sup>a</sup>	4.7 ± 0.4 <sup>a</sup>	11.2 ± 0.1 <sup>a</sup>	22.3 ± 13.9 <sup>a</sup>	0.43 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.50 ± 0.36 <sup>a</sup>
-Mn	58.3 ± 1.8 <sup>a</sup>	5.5 ± 1.1 <sup>a</sup>	11.4 ± 0.7 <sup>a</sup>	24.3 ± 13.5 <sup>a</sup>	0.48 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.26 ± 0.76 <sup>a</sup>
-Se	56.3 ± 2.4 <sup>a</sup>	5.3 ± 2.1 <sup>a</sup>	10.8 ± 0.4 <sup>a</sup>	24.1 ± 11.0 <sup>a</sup>	0.46 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.20 ± 0.17 <sup>a</sup>
-All	54.9 ± 3.7 <sup>a</sup>	6.6 ± 0.5 <sup>a</sup>	10.9 ± 1.0 <sup>a</sup>	8.1 ± 8.5 <sup>a</sup>	0.41 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.70 ± 0.55 <sup>a</sup>

\* Values (mean ± s.d. of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different (P<0.01).

Ca과 P 무첨가구의 어체 성분 (회분, 미네랄)이 대조구와 통계적인 차이는 없었지만 (P>0.01), P 무첨가구의 경우 전어체의 회분과 P 함량이 대조구와 다른 미네랄 무첨가구들보다 낮은 값을 보였다.

체내 대사에 관여하는 효소들의 보조인자인 Zn의 결핍증은 성장 및 생존률 저하, 백내장, 어체의 Zn 감소 등이며, 담수어의 Zn 요구량은 15~30 mg/kg diet 수준으로 보고되었다 (Ogino and Yang, 1978, 1979; Gatlin and Wilson, 1983; McClain and Gatlin, 1988). Zn은 미량원소임에도 불구하고 본 실험에서 Zn 무첨가구의 성장 및 영양소이용률의 값이 다른 미네랄 무첨가구보다 낮았고, 전어체와 뼈의 미네랄 조성에서도 다른 미네랄보다 사료의 미네랄에 더 직접적으로 영향을 받았는데, 이는 Zn이 타 미네랄보다 사료의 미네랄에 더 의존적일 수 있음을 시사하고 있다. 따라서 Zn의 요구량의 설정이 급후 계속 연구되어야 할 것이다. Mg 무첨가 사료의 Mg 함량은 0.1%로 담수어의 Mg 요구량인 0.04~0.08% (Ogino et al., 1978; Ogino and Chiou, 1976; Gatlin et al., 1982; Nose and Arai, 1979; Shim and Ng, 1988; Dabrowska et al., 1989)보다 높음에도 불구하고 증체율은 대조사료보다 낮은 값을 보였고 (P<0.01), 사료효율, 영양소이용률 및 어체성분은 차이가 없었다. Fe 무첨가구의 Fe 함량이 4 mg으로 나타나 참돔의 요구량인 15 mg (Sakamoto and Yone, 1976a; 1978b; 1979b)보다 낮은 수준으로 성장은 대조구보다 낮았지만, 사료효율, 영양소이용률 및 어체성분은 대조구와 차이가 없었다 (P>0.01).

K는 어체내에 함유량이 많고, 전해질 등 중요한 작용을 담당하는 필수영양소이지만, 어류는 환경수로부터 충분히 흡수할 수 있고, 사료원료에 많이 함유되어 있

으므로 별도의 첨가는 정제된 실험사료가 아니면 필요없는 것으로 알려져있다 (NRC, 1993). 본 실험에서 단백질 원으로 사용된 조피볼락 근육에 K가 1.8% 함유되어 있고, K 함량이 0.9%인 K 무첨가구의 증체율은 대조구보다 유의하게 낮은 값 (P>0.01)을 보였으며, 사료효율, 영양소이용률 및 어체성분은 대조구와 차이가 없었다 (P>0.01). Chinook salmon의 K 요구량은 0.8% (Sheare, 1988)로 보고되어 있고 본 실험의 K 무첨가구의 K 함량이 이미 이 수준임을 감안하면, 조피볼락의 K 요구량은 0.9% 이상일 가능성이 높을 것으로 보인다. Mn 무첨가 사료의 Mn 함량은 1 mg/kg diet로 다른 어종의 요구량인 2.4~13 mg/kg diet (Gatlin and Wilson, 1984a; Ogino and Yang, 1980)에 못 미치는 수준이었으며, Mn 무첨가구의 성장과 사료효율은 대조구보다 낮았고 (P<0.01), 영양소이용률 및 어체성분은 대조구와 차이가 없었다. Se은 당 대사에서 보조인자 및 glutathione peroxidase의 구성성분으로 glutathione과 함께 항산화제로 작용하며, 비타민 E 함량과 상호적이다. Se로 연어의 영양장애를 치료할 수 있다는 보고 (Poston et al., 1976)도 발표되었으며, 무지개송어와 메기의 Se 요구량은 0.15~0.38 mg/kg diet로 보고 (Hilton et al., 1980; Gatlin and Wilson, 1984b)되었다. 본 실험에서 Se 무첨가구의 증체율은 대조구보다 낮았고, 사료효율, 영양소이용률 및 어체성분은 대조구와 차이가 없었다. 이미 수행된 연구들 중에서 mineral premix에 Se을 첨가하지 않은 경우도 많았고, 필요량이 사료원료에 대부분 함유되어 있을 뿐 아니라 과다하게 사료에 첨가되면 부작용이 나타나므로 (NRC, 1993), 어종마다 그 요구량을 밝혀 사료에 첨가 여부가 다각적인 면에서 결정되어야 할 것으로 생각된다. 조피볼락도 Se 영

양연구가 계속 수행되어야 하겠지만, 비타민 E의 함유량 등을 고려하여 본 실험사료의 수준에서는 Se가 첨가되어야 할 것으로 판단된다.

위와 같이 본 실험 사료의 Ca, P, Zn 및 Fe 무첨가구의 이들 함량이 타 어종의 요구량보다 낮았으며, 이는 Ca, P, Zn 및 Fe 무첨가구의 함량이 조피볼락의 요구량에 미치지 못했기 때문에 성장이 그만큼 저하된 것으로 판단된다. Satoh et al. (1983, 1987)은 어분이 55% 첨가된 무지개송어와 잉어 사료로 각각 93주 및 83주간 사육실험한 결과 미량원소 (Zn, Mn, Cu 및 Mg)의 첨가가 필요하다고 하였다. 반면에 참돔의 정제사료에 Na, K (63 g, 63일간 사육), Ca (24 g, 100일간 사육) 및 Mg (42 g, 60일간 사육)를 각각 첨가하지 않아도 성장에 영향을 미치지 않은 것으로 보고되었다 (Sakamoto and Yone, 1976b; 1978c; 1979a). Sakamoto and Yone (1978d)는 미량원소 (Al, Zn, Mn, Cu, Co, I)를 정제사료에 첨가하지 않고 49g의 참돔을 90일간 사육하여도 성장이나 체내의 생리적인 변화에 특별한 영향이 없었다고 보고하여 본 실험 결과와 차이를 보였다. 이러한 차이는 종에 따른 특성에 의한 것이겠지만, 참돔의 미네랄 실험은 사용된 어체의 크기에 비해 사육기간이 다소 단축되지 않았나 하는 아쉬움이 남는다. 또한, Sakamoto and Yone (1979)는 참돔 (26g, 90일간 사육)의 mineral premix로  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 와 ferric citrate만을 혼합하여도 Halver 처방 (Halver, 1957)과 차이가 없다고 보고하였으나 조피볼락에는 이들의 premix를 적용할 수 없을 것으로 판단된다. 이상의 결과에서 조피볼락용 사료의 mineral premix에 각종 mineral이 골고루 다 첨가되어야 할 것으로 판단되며, 각 미네랄의 요구량과 어분이 함유된 실용 배합사료에 대해서 미네랄 첨가효과 및 요구량이 차후 계속해서 연구되어야 할 것으로 판단된다.

## 요 약

조피볼락 사료의 각종 미네랄 필수성을 조사하기 위해 주요 mineral 함량이 낮은 조피볼락 근육과 casein을 사료 단백질원으로 선정하여 영양연구용으로 자체 설계된 reference premix중에 P, Ca, Zn, Mg, Fe, K, Mn 및 Se를 각각 첨가하지 않은 premix와 mineral 전부를 첨가하지 않은 사료를 설정하여 모두 10종 실험사료를 제조하였다. 평균체중 4.2g의 조피볼락 치어를 각 수조에 25마리씩 실험사료마다 3반복으로 수용하여 10주간 사육실험하였다. 성장, 사료효율, 영양소이용률, 전어체의 지질 함량에서 mineral premix를 첨가하지 않은 사료가 가장 낮은 것 ( $P < 0.01$ )으로 나타났다. Reference mineral premix에 P, Ca, Zn, Mg, Fe, K, Mn 및 Se를 각각 첨가하지 않은

실험 사료의 증체율은 모두 reference premix를 첨가한 대조구보다 유의하게 낮았다 ( $P < 0.01$ ). 사료효율은 Mg, Fe, K 및 Se를 첨가하지 않은 실험구가 대조구와 통계적으로 차이가 없었으며, 그의 실험구는 대조구보다 낮은 값을 보였다 ( $P < 0.01$ ). 일일사료섭취율은 실험구간에 유의차가 없었지만 ( $P > 0.01$ ), P, Ca 및 Zn 무첨가구들의 단백질축적률은 대조구보다 저조한 성적을 보였으며, 지질축적률은 Zn 무첨가구만 대조구와 차이를 보였다 ( $P < 0.01$ ). 각 미네랄을 첨가하지 않은 실험구들의 어체성분은 대조구와 통계적인 차이가 없었다.

## 참 고 문 헌

- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia. 1298pp.
- Dabrowska, H., K, -D. Gunther, and K, Meyer-Burgdorff. 1989. Interaction between dietary protein and magnesium level in tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 76, 277~291.
- Gatlin, D. M., III, E. H. Robinson, W. E. Poe, and R. P. Wilson. 1982. Magnesium requirement of fingerling channel catfish and signs of magnesium deficiency. *J. Nutr.*, 112, 1181~1187.
- Gatlin, D. M., III, and R. P. Wilson. 1983. Dietary zinc requirement of fingerling channel catfish. *J. Nutr.*, 114, 630~635.
- Gatlin, D. M., III, and R. P. Wilson. 1984a. Studies on the manganese requirement of fingerling channel catfish. *Aquaculture*, 41, 85~92.
- Gatlin, D. M., III, and R. P. Wilson. 1984b. Dietary selenium requirement of fingerling channel catfish. *J. Nutr.*, 114, 627~633.
- Graham, P.P., J. Bittel, K.P. Board, A. Iope and H.L. Williams. 1982. Mineral element composition of bovine spleen and separated spleen compounds. *J. Food Sci.*, 47, 720~722.
- Hilton, J. W., P. V. Hodson, and S. J. Slinger. 1980. The requirement and toxicity of selenium in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Nutr.*, 110, 2527~2535.
- Halver, J. E. 1957. Nutrition of salmonoid fishes. III. Water-soluble vitamin requirements of chinook salmon. *J. Nutr.*, 62, 225~243.
- Ketola, H. G. 1975. Requirement of Atlantic salmon for dietary phosphorus. *Trans. Am. fish. Soc.*, 104, 548~551.
- Lee, J. Y., Y. J. Kang, S. M. Lee and I.B. Kim. 1993a. Protein requirements of the Korean rockfish *Sebastes schlegelii*. *Korean J. Aquacult.*, 6, 13~27 (in Korean with English abstract).
- Lee, S. M., J. Y. Lee, Y.J. Kang, H. D. Yoon and S. B. Hur. 1993b. n-3 highly unsaturated fatty acid requirement of the Korean rockfish *Sebastes schlegelii*. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 26, 477~492 (in Korean with English abstract).

- ract).
- Lee, J.Y., Y.J. Kang, S.M. Lee and Y.J. Park. 1993c. Evaluation of protein source for Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*) test diets. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency, 48, 97~105. (in Korean with English abstract).
- Lee, S. M., J. Y. Lee and S. B. Hur. 1994. Essentiality of dietary eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid in Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*. Bull. Korean Fish. Soc., 27, 721~726.
- Lee, J. Y. and S. M. Lee. 1994. 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.
- McClain, W. R., and D. M. Gatlin, III. 1988. Dietary zinc requirement of *Oreochromis aureus* and effects of dietary calcium and phytate on zinc bioavailability. J. World Aquacult. Soc., 19, 103~108.
- N.A.S. (National Academy of Sciences). 1973. Nutrient requirements of trout, salmon and catfish. N.A.S., Washington, D.C., p. 50.
- NRC (National Research Council). 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Acad. Press, Washington, D.C. 114pp.
- Ogino, C., and J. Y. Chiou. 1976. Mineral requirements in fish. 2. Magnesium requirements of carp. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 42, 71~75.
- Ogino, C., and H. Takeda. 1976. Mineral requirements in fish. 3. Calcium and phosphorus requirements of carp. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 42, 793~799.
- Ogino, C., and H. Takeda. 1978. Requirements of rainbow trout for dietary calcium and phosphorus. Bull. Jpn. Soc. Sci. fish, 44, 1019~1022.
- Ogino, C., and G. Y. Yang. 1978. Requirement of rainbow trout for dietary zinc. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 44, 1015~1018.
- Ogino, C., and G. Y. Yang. 1979. Requirement of carp for dietary zinc. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 45, 967~969.
- Ogino, C., and G. Y. Yang. 1980. Requirements of carp and rainbow trout for dietary manganese and copper. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 46, 455~458.
- Ogino, C., F. Takashima, and J. Y. Chiou. 1978. Requirement of rainbow trout for dietary magnesium. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 44, 1105~1108.
- Poston, H. A., G. F. Combs, Jr., and L. Leibovitz. 1976. Vitamin E and selenium interrelations in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*): Gross, histological and biochemical deficiency signs. J. Nutr., 106, 892~904.
- Robinson, E. H., S. D. Rawles, P. B. Brown, H. E. Yette, and L. W. Greene. 1986. Dietary calcium requirement of channel catfish (*Ictalurus punctatus*), reared in calcium-free water. Aquaculture, 53, 263~270.
- Robinson, E. H., D. LaBomascus, P. B. Brown, and T. L. Linton. 1987. Dietary calcium and phosphorus requirements of *Oreochromis aureus* reared in calcium-free water. Aquaculture, 64, 267~276.
- Sakamoto, S. and Y. Yone. 1973. Effect of dietary calcium /phosphorus ratio upon growth, feed efficiency and blood serum Ca and P level in red sea bream. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 39, 343~348.
- Sakamoto, S. and Y. Yone. 1976a. Requirement of red sea bream for dietary Fe-I. Rep. Fish. Res. Lab. Kyushu Univ., 3, 53~58.
- Sakamoto, S. and Y. Yone. 1976b. Requirement of red sea bream for dietary Ca. Rep. Fish. Res. Lab. Kyushu Univ., 3, 59~64.
- Sakamoto, S. and Y. Yone. 1978a. Effect of dietary phosphorus level on chemical composition of red sea bream. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 44, 227~229.
- Sakamoto, S. and Y. Yone. 1978b. Requirement of red sea bream for dietary iron-II. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 44, 223~225.
- Sakamoto, S. and Y. Yone. 1978c. Requirement of red sea bream for dietary Na and K. J. Fac. Agr. Kyushu Univ., 23, 79~84.
- Sakamoto, S. and Y. Yone. 1978d. Requirement of red sea bream for dietary trace elements. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 44, 1341~1344.
- Sakamoto, S. and Y. Yone. 1979. Mineral mixture in purified diet for red sea bream. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 45, 873~877.
- Satoh, S., H. Yamamoto, T. Takeuch and T. Watanabe. 1983. Effects on growth and mineral composition of rainbow trout of deletion of trace elements or magnesium from fish meal diet. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 49, 425~429 (in Japanese with English abstract).
- Satoh, S., T. Takeuch and T. Watanabe. 1987. Effects of deletion of several trace elements from a mineral mixture in fish meal diet on mineral composition of gonads in rainbow trout and carp. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 53, 281~286.
- Sheare, K. D. 1988. Dietary potassium requirements of juvenile chinook salmon. Aquaculture, 73, 119~130.
- Shim, K. F., and S. H. Ng. 1988. Magnesium requirement of the guppy *Poecilia reticulata* Peters. Aquaculture, 73, 131~142.
- SPSS Inc. 1993. SPSS for Window Base System User's Guide, Release 6.0, SPSS Inc., 444N. Michigan Avenue, Chicago, IL, 60611.
- Watanabe, T., A. Murakami, L. Takeuchi, T. Nose, and C. Ogino. 1980. Requirement of chum salmon held in freshwater for dietary phosphorus. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 46, 361~367.
- Willson, R.P., E.H. Robinson, D.M. Gatlin III and W.E. Poe. 1982. Dietary phosphorus requirement of channel catfish. J. Nutr., 112, 1197~1202.