

단백질원이 어분인 조피볼락 치어 사료에 인(P)과 철(Fe)의 보충 효과

박승렬 · 이상민* · 정관식** · 장영진***

국립수산진흥원 양식개발과, *순천향대학교 자원과학부

여수수산대학교 양식학과, *부경대학교 양식학과

Effects of Supplemental Phosphorus and Iron in the Fish Meal Diets on Growth in Juvenile Korean Rockfish (*Sebastes schlegeli*)

Sung-Real Park, *Sang-Min Lee, **Gwan-sik Jeong and ***Young Jin Chang

Aquaculture Division, National Fisheries Research and Development Institute, Pusan, 619-900, Korea

*Dept. of Biological Resources, Soonchunhyang University, Asan 336-600, Korea

**Aquaculture Division, Yosu National Fisheries University, Yosu, 550-749, Korea

***Aquaculture Division, Pukyong National University, Pusan, 608-737, Korea

In order to investigate the effects of phosphorus and iron levels in the diets containing fish meal as only protein source on the growth, feed conversion, body composition and blood characteristics of juvenile Korean rockfish, either graded monobasic potassium phosphate (MPP) of 1% (MPP-1), 2% (MPP-2), 3% (MPP-3) and 4% (MPP-4), or Fe-citrate (FC) of 0.022% (FC-1), 0.044% (FC-2), 0.066% (FC-3) and 0.088% (FC-4) was added to fish meal-based diet (MMP-0 or FC-0), respectively. Duplicate groups of 40 fish weighing 7 g were fed the diets for 21 weeks.

Weight gain, feed efficiency and nutrient retention of fish fed diets with different MPP levels were not significantly different ($P>0.05$). Lipid content of whole body decreased with an increase in dietary MPP ($P<0.05$). No significant differences were found in the Ht, Hb, total protein, or total glucose in serum among diets containing different MPP levels ($P>0.05$). Weight gain of fish fed the FC-0, FC-1 and FC-3 diets was significantly higher than that of FC-4 diet ($P>0.05$), whereas feed efficiency, nutrient retention, hematological values (Ht, Hb, total protein, and total glucose), and whole body composition were not affected by dietary FC levels ($P>0.05$). The present results revealed that phosphate or iron supplementation to the diet containing 65% fish meal for juvenile Korean rockfish was not necessary.

Key words : Mineral supplement, Phosphorus, Iron, Rockfish

서 론

미네랄 중 인(P)은 생체내 체액의 완충작용을 담당하고 있을 뿐만 아니라 인지질, 핵단백질 및 ATP의 구성성분으로서 에너지 대사에 관련된 필수 영양소로 알려져 있다 (NRC, 1993). 그러나 사료내 인이 과다 첨가되면 어분의 인은 양식과정에서 배출되어 해조류 성장을 촉진하는

요소로 부영양화를 조장하여 수질오염의 주원인이 되기도 한다. 또한 철(Fe)은 hemoglobin, myoglobin, cytochrome 및 효소의 생성과 기능에 중요한 역할을 담당하고 있다 (NRC, 1993). 인(P) 첨가와 관련한 연구로는 Satoh et al. (1987)와 Wiesmann et al.(1988)이 무지개송어에 관하여, Satoh et al. (1992)는 잉어에 관하여, Andrews et al.(1973)은 차넬메기에

관하여 연구한 바 있으며, 해산어류에 관하여는 示野(1982)가 방어사료에 대하여 연구하였고, Sakamoto et al. (1978, 1979)이 참돔에 Fe에 관한 연구를 실시한 바 있다.

최근에 조피볼락의 생산량이 급증하여 넙치 다음의 중요 양식종으로 부각됨에 따라 그 동안 조피볼락용 배합사료 개발에 필요한 자료를 축적하기 위해 연구(이 등, 1993a, b)가 진행되어 왔다. 그러나 조피볼락의 미네랄에 관한 연구는 보고된 바 없다. 따라서 본 실험에서는 어분이 주단백원으로 첨가된 조피볼락 사료종의 적정 인(P)과 철(Fe) 첨가량을 조사하기 위해 사육실험을 실시하여 성장, 사료효율, 영양소 이용률, 혈액성상 및 어체성분을 조사하였다.

재료 및 방법

주단백질원으로 북양어분을 65%, 탄수화물원으로 α 감자전분을 10%, 지질원으로 오징어 간유를 10% 첨가하여 설계한 사료(Table 1)에 P와 Fe 함량을 조절하였다. 실험사료의 P 함량은

monobasic potassium phosphate (MPP, KH_2PO_4)를 P공급원으로 첨가하여 조절하였고, Fe 함량은 Fe-citrate (FC)를 Fe공급원으로 첨가하여 조절하였다. 즉 P 첨가실험에서는 사료 미네랄 혼합물 (N.A.S., 1973)에 P원을 제거한 후 MPP를 0, 1, 2, 3, 4%씩 첨가하였고, Fe 첨가 실험에서는 미네랄 혼합물 중 Fe원 만을 제거한 후 FC를 0.022, 0.044, 0.066, 0.088%씩 첨가하였다. 이들 각 첨가량의 차이에 따른 사료조성은 α -cellulose로 조절하였다. 각 실험사료는 원료를 잘 혼합한 후 40% 증류수를 가하여 실험어의 입 크기에 맞도록 모이스트 펠렛 형태로 제조하여 냉동보관(-30°C)하면서 사용하였다.

실험어인 조피볼락 치어는 거제 사설 배양장에서 출산된 치어를 구입하여 2 ton FRP 수조에 수용한 후 모이스트 펠렛(생사료: 분말사료=1:1)으로 사육하다가 실험개시 2주전 부터 본 실험에 사용한 사료조성에서 P와 Fe를 제거하지 않은 실험사료를 제조하여 예비사육 하다가 선별하여 사용하였다. 100 FRP 원형수조에 평균 어체중 7 g 의 치어를 40마리씩 수용하여 여과

Table 1. Composition (%) of experimental diets

Ingredients	Diets									
	MPP-0	MPP-1	MPP-2	MPP-3	MPP-4	FC-0	FC-1	FC-2	FC-3	FC-4
White fish meal	65	65	65	65	65	65	65	65	65	65
α -potato starch	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Squid liver oil	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
KH_2PO_4	0	1	2	3	4					
Fe-citrate							0.022	0.044	0.066	0.088
Mineral mix ¹	5 ³	5 ³	5 ³	5 ³	5 ³	5 ⁴	5 ⁴	5 ⁴	5 ⁴	5 ⁴
α -cellulose	4	3	2	1	0	5	4.978	4.956	4.934	4.912
Vitamin mix. ²	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Binder (CMC)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Total P(mg/100 g) ⁵	1950	2178	2406	2633	2861					
Available P(mg/100 g) ⁶	585	802	1018	1234	1450					
Total Fe (mg/100 g) ⁵						11.6	16.6	21.6	26.6	36.6
Crude protein (%)						45.4~46.5				
Crude lipid (%)						13.8~14.9				
Crude ash (%)						16.2~16.7				

¹H-440 premix No. 5 (mineral) (N.A.S., 1973). ²Halver (1957). ³P was deleted. ⁴Fe was deleted. ⁵Calculated based on P and Fe contents of fish meal and mineral premix. ⁶P availability in the fish meal was calculated by 30%.

해수를 각 실험수조에 4 /min 씩 주수하였다. 각 실험구는 2반복으로 하여 21주간 사육실험을 실시하였으며, 먹이공급은 1일 2회(09 : 30, 16 : 00)로 수조바닥에 먹이가 남지 않도록 매회 포식량에 가깝게 공급하였다. 사육기간중의 수온은 자연수온 조건으로 13~17℃ 범위였다. 1개월 간격으로 측정 전일 절식시킨 후 MS222 100 ppm으로 마취시켜 각 수조별로 실험어 전체의 무게를 측정하였다.

사료내 어분 및 전어체의 P 함량은 molybden blue 비색법에 의하였고 전어체는 각 실험구별로 5마리씩 무작위 추출하여 masscolloider (Masuko Co., Ltd., Japan)에서 잘 분쇄한 뒤 분석하였다. 실험사료 및 전어체의 일반성분은 AOAC(1990)의 방법에 따라 수분은 상압가열 건조법, 조지질은 Soxhlet 추출법(ether 추출법), 조회분은 전기회화법, 조단백질은 Kjeldahl 질소정량법(N×6.25)에 의하여 각각 분석하였다. 실험종료후 전어체 분석에 사용하고 남은

어체는 원래의 수조에 수용하여 동일 먹이를 공급하여 2주간 계속 사육하다가 채혈전 2일간 절식시켰다. 채혈은 미부정맥에서 일회용 주사기로 채혈하여 Ht, Hb, 총단백 및 혈당량은 이등(1993c)이 사용한 방법과 동일하게 실시하였다. 실험결과는 ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 처리평균간의 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

P의 첨가량이 각기 다른 실험사료로 조피볼락 치어를 21주간 실험사육한 결과(Table 2), 모든 실험구의 실험어는 정상적으로 먹이를 섭취하여 실험개시시 평균어체중 7.0 g의 치어는 39.8~45.9 g으로 성장하였으며, 사육기간동안 P첨가량 차이에 의한 결핍증 혹은 폐사현상은 관찰되지 않았다. 최종평균체중 및 증체율은 MPP-1 구가 다른 실험구에 비해 약간 높았고, MPP-4 구가

Table 2. Performance of Korean rockfish fed the diets with graded levels of P for 21 weeks¹

Diets	Dietary available P (mg/100 g diet)				
	585	802	1,018	1,234	1,450
	MPP-0	MPP-1	MPP-2	MPP-3	MPP-4
Initial mean weight (g)	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
Final mean weight (g)	43.9 ^a	45.9 ^a	42.9 ^a	44.0 ^a	39.8 ^a
Weight gain (%)	527 ^a	556 ^a	513 ^a	529 ^a	469 ^a
Feed efficiency (%)	106.1 ^a	114.6 ^a	116.5 ^a	110.6 ^a	138.5 ^a
Daily feeding rate (%)	0.994 ^a	0.942 ^a	0.909 ^a	0.964 ^a	0.784 ^a
Protein retention (%)	36.2 ^a	39.0 ^a	38.2 ^a	39.2 ^a	46.3 ^a
Lipid retention (%)	98.3 ^a	103.1 ^a	103.9 ^a	98.7 ^a	117.2 ^a

¹Values (mean) in the same row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

Table 3. Proximate composition (%) of whole body of Korean rockfish fed the diets with graded levels of P for 21 weeks¹

Diets	Dietary available P (mg/100 g diet)				
	585	802	1,018	1,234	1,450
	MPP-0	MPP-1	MPP-2	MPP-3	MPP-4
Moisture	68.7 ^a	69.1 ^a	68.6 ^a	68.5 ^a	69.3 ^a
Crude protein	16.2 ^a	16.2 ^a	16.1 ^a	16.5 ^a	15.8 ^a
Crude lipid	11.0 ^c	10.8 ^{bc}	10.9 ^{bc}	10.7 ^b	10.4 ^a
Crude ash	4.0 ^a	4.0 ^a	4.3 ^a	4.1 ^a	4.6 ^a

¹Values (mean) in the same row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

다소 낮았으나, 실험구간에 유의적인 차이는 없었다($P>0.05$). 사료효율은 106~135%로 실험 사료간의 유의한 차는 없었으며, 일일사료섭취율과 단백질 및 지질 축적율도 실험구간에 차이를 보이지 않았다($P>0.05$).

P 보충효과 실험의 실험종료시 전어체의 일반성분을 Table 3에 표시하였으며, 수분 함량, 조단백질 및 조회분 함량은 실험구간에 유의한 차는 보이지 않았고($P>0.05$), 조지방의 경우는 P의 함유량이 높을수록 감소하여 MPP-4 구는 다른 실험구보다 유의적으로 낮은 값을 보였다($P<0.05$). 또한 P의 첨가에 따른 혈액성상(Ht, Hb, total protein, total glucose)은 각 실험사료간에 유의한 차가 없었다($P>0.05$).

위와 같이 어분이 65% 첨가된 사료에 인산염을 첨가하는 것은 특별히 조피볼락의 성장을 개선시키지 못하였는데, 이는 이미 사료의 어분에 조피볼락이 요구하는 유용한 P가 함유되어 있기 때문으로 판단된다. 또한 본 실험에서는 어분 중에 P가 3% 함유되어 있었고, 이러한 인은 골격유래의 제 3인산칼슘의 형태로서 어류가 잘 이용하지 못하기 때문에 그 이용률을 30%로 계산하였다. 이처럼 P 이용률을 30%로 계산하였을 때, MPP 무첨가구의 가용 P가 사료에 0.6% 함유되어 있었고, 타어종의 인 요구량인 0.4~0.8% (NRC, 1993)를 감안하여 볼 때, 본 실험의 P 무첨가구의 P 함량만으로도 조피볼락의 요구량을 만족하는 것으로 판단된다. 더욱이 본 실험의 조피볼락이 어분 중의 P를 얼마나 이용할 수 있는지에 대해서는 아직 연구된 것이 없기 때문에 여기서 추정된 30%의 이용률 값은 예상보다 훨씬 낮은 수치가 될 수 있다. 이러한 어분중의 제 3인산칼슘은 위(胃)가 없는 잉어의 경우에는 그 이용성이 매우 낮고, 위(胃)가 존재하는 육식성 어류의 경우에도 그 이용성이 그리 높지 않은 것으로 알려져 있다(NRC, 1993).

P를 사료에 과다하게 첨가하면, 수질 오염원으로 작용하기 때문에 적정량 이상의 P 첨가는 불필요할 것으로 판단되며, P를 첨가할 때 Ca/P 비도

고려되어야 한다고 Sakamoto and Yone (1973)가 지적한 바 있다. 본 실험에서도 유의적인 차이는 없었지만, MPP가 4% 첨가된 실험구의 사료섭취율 및 증체율은 다른 실험구보다 다소 낮아지는 경향을 보였으며, 示野 등(1994)도 방어 사료에의 인산칼륨 첨가효과 실험에서 brown fishmeal (72%)을 주 단백질원으로 실험한 결과, 1.5% 첨가구에서 성장이 제일 좋았고 3% 이상 첨가구에서는 오히려 성장이 떨어진다고 보고하여 본 실험결과와 유사한 경향을 보이고 있다.

또한, 본 실험에 사용된 어분의 P 함량은 $3 \pm 0.3\%$ 로 분석되었고, 이용하지 못하는 P는 수중으로 유출되므로 이러한 P를 감소시키기 위해서는 사료중의 어분 첨가비를 낮추는 것이 시급하다. 따라서 원료의 P 이용률, P 요구량 등에 관해서는 체계적인 연구와 함께 이미 연구된 어분 첨가비가 낮은 경제적인 배합비(이 등, 1996)에 대하여 P의 적정 첨가량 구명과 첨가될 적정 P원 등에 대한 연구가 계속 수행되어야 할 것으로 판단된다.

본 실험에서는 P원으로 제 1인산칼륨을 사용하였는데, 示野 등(1979)이 무지개송어와 잉어에서 제 2인산칼륨이나 제 3인산칼륨보다 제 1인산칼륨의 첨가가 성장이 우수하였다고 보고한 바 있다. 그리고 示野 등(1994)은 방어사료에 제 1인산칼륨을 1.5% 첨가한 것이 가장 빠른 성장을 보였다고 하였다. 또한, 荻野 · 武田(1978)은 Ca 함량이 일정하게 유지되도록 한 뒤 P 함량이 0.65~1.09%인 사료를 무지개 송어 치어에 공급한 결과, P 함량이 적은 사료를 공급한 실험구의 수분 함량이 높고 회분 함량이 낮았으며 단백질이나 지질 함량에는 변화가 없었다고 보고하였다. 荻野 등(1979)은 잉어사료내 P의 이용성에 관한 보고에서 제 1인산나트륨을 인 첨가원으로 하여 P 함량이 0.74~0.84%인 사료를 공급하였을 때 실험종료 후 전어체의 조단백질, 조지질 및 조회분 함량에는 유의한 차가 없었다고 하였다. 본 연구결과에서는 사료내 P 함량이 높아질수록 전어체내 조지방 함량이 낮아져 이들 보고와는 다른 결과를 보였다.

사료중에 P가 결핍되면 지질대사가 방해된다는 보고(Takeuchi and Nakazoe, 1981)도 있어, 본 실험결과 P무첨가구에서의 높은 지질 함량은 섭취된 지질이 에너지원으로 유효하게 이용되지 못한 것이 아닌가 생각되나 보다 상세한 연구가 수행되어야 할 것이다. 또한, 본 실험에서 P의 첨가에 따른 전어체의 회분 함량과 P 함량은 각각 4.0~4.6% 및 544~681 mg% 범위로서 유의한 차가 없었으며(P>0.05), Watanabe et al. (1980)도 어분이 단백질원으로 첨가된 사료에 P를 달리 보충하여 실험한 결과 텔라피아의 전어체 P 함량은 차이가 없었다고 하였다.

Fe의 첨가량이 각기 다른 실험사료로 조피볼락 치어를 21주간 사육 실험한 결과(Table 4와 5), 최종평균체중 및 증체율은 FC-0, FC-1 및 FC-3 구가 FC-4 구보다 유의하게 높은 값을 보였다(P<0.05). 반면에, 사료효율, 일일사료섭취율, 영양소축적율, 전어체의 일반성분 및 혈액성상

(Ht, Hb, protein, glucose)에는 사료간에 유의한 차이가 없었다(P>0.05). 본 실험에 사용된 어분에는 Fe가 18 mg/100 g 함유되어 있으며, 본 실험에서 사료에 FC를 보충하여도 성장 및 체성분 등이 개선되지 않았고, FC-0 구에서도 특별히 Fe 결핍증이 나타나지 않는 것으로 보아 어분 중의 Fe 함량만으로도 조피볼락이 필요로 하는 철요구량을 충족시키는 것으로 판단된다. 담수어의 Fe 요구량은 3~17 mg/100 g diet로 보고(NRC, 1993)되어 있으며, 본 실험에서 FC 무첨가구의 Fe 함량이 11.6 mg으로 담수어의 요구량 범위에 포함되어 있다. 또한 Fe 함량이 가장 높은 FC-4 구의 성장이 낮아지는 것은 오히려 역효과를 초래하는 것으로 보인다.

이상의 결과로 부터 조피볼락 양식시 사료의 주단백원으로 어분이 65% 배합될 경우에는 별도의 P 또는 Fe 첨가는 필요 없을 것으로 판단된다.

Table 4. Performance of Korean rockfish fed the diets with graded levels of Fe for 21 weeks¹

Diets	Dietary total Fe (mg/100 g diet)				
	11.6	16.6	21.6	26.6	36.6
	FC-0	FC-1	FC-2	FC-3	FC-4
Initial mean weight (g)	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
Final mean weight (g)	42.1 ^{bc}	45.1 ^c	40.9 ^{ab}	43.0 ^{bc}	37.8 ^a
Weight gain (%)	500.3 ^{bc}	543.8 ^c	485.0 ^{ab}	514.8 ^{bc}	440.6 ^a
Feed efficiency (%)	107.4 ^a	107.6 ^a	106.2 ^a	109.6 ^a	106.3 ^a
Daily feeding rate (%)	0.963 ^a	0.998 ^a	0.977 ^a	0.971 ^a	0.955 ^a
Protein retention (%)	35.5 ^a	35.7 ^a	35.9 ^a	34.3 ^a	36.2 ^a
Lipid retention (%)	92.4 ^a	92.5 ^a	99.7 ^a	104.9 ^a	88.6 ^a

¹Values (mean) in the same row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

Table 5. Proximate composition (%) of whole body of Korean rockfish fed the diets with graded levels of Fe for 21 weeks¹

Diets	Dietary total Fe (mg/100 g diet)				
	11.6	16.6	21.6	26.6	36.6
	FC-0	FC-1	FC-2	FC-3	FC-4
Moisture	69.2 ^a	69.9 ^a	69.0 ^a	69.5 ^a	69.7 ^a
Crude protein	16.1 ^a	15.9 ^a	16.1 ^a	15.2 ^a	16.0 ^a
Crude lipid	10.5 ^a	10.9 ^a	11.3 ^a	11.3 ^a	9.5 ^a
Crude ash	4.7 ^a	4.1 ^a	4.4 ^a	4.0 ^a	4.3 ^a

¹Values (mean) in the same row not sharing a common superscript are significantly different (P<0.05).

요 약

어분이 65% 첨가된 사료에 P와 Fe의 보충 효과를 조사하기위해 인산염(KH_2PO_4)을 0%, 1%, 2%, 3% 및 4% 첨가한 사료와 철(Fe-citrate)을 0.022%, 0.044%, 0.066% 및 0.088% 첨가한 실험사료를 설계, 제조하여 조피볼락 치어(평균 체중 7 g)를 각 수조(100 l)에 40마리씩 2반복으로 수용하여 각각 21주간 사육실험하였다.

사육실험 결과, 증체율, 사료효율, 영양소축적율, 혈액성상 및 전어체의 수분, 단백질, 회분과 P 함량은 사료의 P 첨가량에 따른 유의적인 차이가 인정되지 않았다($P>0.05$). 조지방의 경우는 사료의 P 함량이 높을수록 감소하여 유의적으로 낮은 값을 보였다($P<0.05$). Fe 보충효과 실험에서, 증체율, 사료효율, 영양소축적율, 혈액성상 및 전어체의 일반성분은 Fe를 보충하여도 개선되지 않았으며, 성장률은 오히려 Fe 첨가량이 높은 실험구에서 저하되는 현상을 보였다. 따라서 조피볼락 사료에 어분이 65% 배합될 경우에는 별도의 P와 Fe 첨가는 필요 없을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- Anderson, J. V., M. Takesi and C. Cambell. 1973. Effects of dietary calcium and phosphorus on growth, food conversion, bone ash and hematocrit levels of catfish. *J. Nutrition*, 103 : 766-777.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia. 1298pp.
- Duncan, D.B. 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics*, 11 : 1-42.
- Halver, J. E. 1972. The vitamins. In : Fish nutrition, edited by J.E. Halver. Acad. Press, New York & London. pp.29-103.
- NAS (National Academy of Sciences). 1973. Nutrient requirements of trout, salmon and catfish. NAS, Washington, D.C. 50 pp.
- NRC (National Research Council). 1993. Nutrient requirements of fish. National Academy Press, Washington, D.C. 114pp.
- Sakamoto, S., Y. Yone. 1978. Requirement of red sea bream for dietary iron-II. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 44(3) : 223-225.
- 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. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 39 : 343-348.
- Sakamoto, S. and Y. Yone. 1979. Availabilities of three iron compounds as dietary iron sources for red sea bream. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 45(2) : 231-235.
- Satoh, S., T. Takeuchi and T. watanabe. 1987. Effect of deletion of several trace elements from a mineral mixture in fish meal diets on mineral composition of gonads in rainbow trout and carp. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 53(2) : 281-286.
- Satoh, S., K. Izume, T. Takeuchi and T. Watanabe. 1992. Effect of supplemental tricalcium phosphate on zinc and manganese availability to common carp. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58(3) : 539-545.
- Takeuchi, M. and J. Nakazoe. 1981. Effect of dietary phosphorus on lipid content and its composition in carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 47 : 347-352.
- Watanabe, T., T. Takeuchi, A. Murakami and C. Ogino. 1980. The availability to *Tilapia nilotica* of phosphorus in white fish meal. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 46 : 897-899.
- Wiesmann, D., H. Scheid and E. Pfeffer. 1988. Water pollution with phosphorus of dietary origin by intensively fed rainbow trout. *Aquaculture*, 69 : 263-270.
- 이종윤 · 강용진 · 이상민 · 김인배. 1993a. 조피볼락 *Sebastes schlegeli*의 단백질 요구량. *한국양식학회지*, 6 : 13-27.
- 이상민 · 이종윤 · 강용진 · 윤호동 · 허성범. 1993b. 조피볼락 *Sebastes schlegeli*의 n-3계 고도불포화지방산 요구량. *한국수산학회지*, 26 : 477-492.
- 이상민 · 이종윤 · 강용진 · 허성범. 1993c. 사료의 n-3계 고도불포화지방산 함량에 따른 조피볼락 *Sebastes schlegeli*의 성장 및 생화학적 변화 II. 혈액성분 변화 및 간세포 성상. *한국양식학회지*, 6 : 107-123.
- 이상민 · 전임기 · 이창국 · 임치원 · 김태진 · 민진기. 1996. 경제적인 조피볼락용 배합사료 설계 및 평가. *한국양식학회지*, 9 : 255-264.
- 示野貞夫 · 橋本敦士 · 宇川正治. 1994. プリ實用飼料に對するリン酸カリウム添加效果. *水産増殖*, 42 : 239-245.
- 荻野珍吉 · 武田 博. 1978. ニジマスにおけるカルシウムおよび磷の要求. *日本水産學會誌*, 44 : 1019-1022.