

육성 넙치(*Paralichthys olivaceus*) 사료 내 인 공급제의 첨가가 성장률, 사료이용효율, 혈액성상 및 어체 내 광물질 조성에 미치는 영향

윤태현 · 이초롱¹ · 차지훈¹ · 김주민 · 신승준 · 이경준¹ · 김정대*

강원대학교 동물생명과학대학, ¹제주대학교 해양생명과학과

Supplemental Effects of Dietary Phosphorus on the Growth, Feed Utilization, Blood Parameters and Mineral Composition of the Bodies of Juvenile Olive Flounders *Paralichthys olivaceus*

Tae-Hyun Yoon, Chorong Lee¹, Ji-Hoon Cha¹, Joo-Min Kim, Seung-Jun Shin, Kyeong-Jun Lee¹ and Jeong-Dae Kim*

College of Animal Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

¹Department of Marine Life Sciences, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

A feeding trial was conducted to investigate the effects of supplementation with four phosphorus (P) additives [monocalcium phosphate (MCP), dicalcium phosphate (DCP), tricalcium phosphate (TCP) and magnesium hydrogen phosphate (MHP)] on the growth, feed utilization and whole body mineral composition of juvenile olive flounders *Paralichthys olivaceus*. A basal diet without P supplementation was prepared as a negative control and four supplemental P sources were added at a level of 2%. Triplicate groups of fish (initial mean body weight 11 g) were fed one of the experimental diets to apparent satiation twice a day, at 08:30 and 18:00 for 10 weeks. The final body weights of fish fed the experimental diets ranged from 29.4 g (DCP) to 34.2 g (MCP) and did not differ significantly ($P>0.05$) among treatments. Similar tendencies were found for all parameters including weight gain (%), specific growth rate (SGR), feed conversion ratio (FCR), protein efficiency ratio (PER), feed intake (FI) and survival rate (SR). The hematocrit (%), hemoglobin (g/dL), serum inorganic P and whole body mineral composition did not differ significantly different ($P>0.05$) among the treatments. Therefore, dietary P addition is not necessary for juvenile olive flounder fed a fish meal-based diet.

Key words: *Paralichthys olivaceus*, Phosphorus, Growth, Feed conversion ratio, Mineral composition

서론

인(P)은 동물이나 식물의 성장, 번식 그리고 건강에 관련된 정상적인 생명현상 유지를 위한 필수 영양소의 하나인 동시에 수중에서 조류의 성장을 촉진하여 수질오염을 유발하는 인자이다(Auer et al., 1986). 어류와 같은 여러 수중 생명체는 환경 수로부터 인을 흡수할 수 있으나, 담수나 해수내 인의 함량은 0.02-0.6 mg/L로 저농도로 존재하며 흡수율 또한 낮기 때문에(Lall, 1991) 양식동물의 경우 사료를 통해 공급된다. 사육어류의 인 요구량은 0.3에서 0.9%로 어종에 따라 수준 차이를 보이고 있는데(NRC, 2011), 사료원료에 함유된 인의 이용성 차

이로 인해 일반적으로 일인산칼슘(monocalcium phosphate, MCP), 이인산칼슘(dicalcium phosphate, DCP) 또는 삼인산칼슘(tricalcium phosphate, TCP)과 같은 인 공급제가 육상동물이나 양식동물의 최적 성장을 위해 관행적으로 사료에 첨가된다. 그러나 사료원료뿐 아니라 첨가되는 인 공급제의 인 이용성 또한 어종별로 다르기 때문에(Yoon et al., 2014; 2015; 2016) 최적성장을 유지하고 동시에 수질오염을 줄이기 위해서는 사료내 총 인(total phosphorus) 함량을 대상동물의 인 요구량 수준으로 가능한 한 낮게 유지할 수 있도록 해야 한다(Yoon et al., 2017). 넙치(*Paralichthys olivaceus*)는 한국의 대표 해산양식 어종으로 2016년 41,636톤이 생산되어 전체 해산양식어류 생

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0157>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Korean J Fish Aquat Sci 51(2) 157-162, April 2018

Received 8 March 2018; Revised 26 March 2018; Accepted 30 March 2018

*Corresponding author: Tel: +82. 33. 250. 8634 Fax: +82. 33. 259. 5570

E-mail address: menzang@gmail.com

산량의 51.9%를 차지하였다(KOSIS, 2017). 그러나 넙치 생산에 사용된 사료 251,652톤 중 92%는 생사료가 차지하였는데, 이를 배합사료로 환산할 경우 약 70,000톤에 이를 것으로 추정된다(Kim, 2017). Choi et al. (2005)은 개시어체중 4 g의 넙치를 6주간 반정제사료로 사육하여 최대성장에 필요한 인 요구량이 0.45-0.57%라고 보고하였다. 넙치용 배합사료는 일반적으로 어분 함량이 50-70% 수준으로 높기 때문에(Kim, 2014), 어분 내 인 함량만 고려하더라도 총 인 함량은 요구량 수준을 2배 이상 초과하게 된다. 그러나 지금까지 넙치에 의한 여러 원료사료 내 인 이용성에 관한 연구는 수행되지 않았을 뿐 아니라, 인 공급제의 첨가가 넙치의 성장률에 미치는 영향 또한 조사되지 않았다. 따라서 본 연구는 관행사료와 유사하게 어분을 55% 함유하는 넙치사료 내 여러 인 공급원의 첨가가 넙치의 성장능력, 혈액성상 및 전어체 화학적 조성 및 광물질 조성에 미치는 영향을 조사하고자 수행되었다.

재료 및 방법

실험사료의 제조

본 연구에 대한 실험계획안은 강원대학교 및 제주대학교 동물실험윤리위원회에 의해 승인을 받았다. 실험사료는 인 공급제가 첨가되지 않은 무첨가구(control)와 MCP (monocalcium phosphate), DCP (dicalcium phosphate), TCP (tricalcium phosphate) 그리고 돼지분뇨에서 추출한 새로운 인 공급원인 MHP (magnesium hydrogen phosphate, $MgHPO_4$)를 각 2%씩 첨가(Kim et al., 1998)한 4개 첨가구로 총 5종으로 구성되었다. 사료배합 전 원료사료의 화학적 분석에 의거하여 조단백질 50% 및 조지방 10% 대조구 사료의 배합비를 작성하였으며, 단백질급원으로 어분 55%, 대두박 11.5%, 콘글루텐 3%, 소맥분 18%를 함유하였으며, 지방급원으로 어유를 3% 함유하였다. 기호축진물질로 오징어간분 3%와 핀스팁 1%를 함유하였다. 옥수수알곡은 첨가하는 인산공급제의 대체물질로 사용되었다. 전체 비율을 보면 대조구 사료는 동물성 61%, 식물성 37.1% 그리고 첨가제 1.9%로 구성되었으며, 기타 실험사료는 인산제 각 2%를 옥수수알곡 2%와 대체하였다(Table 1). 실험에 사용된 원료사료는 햄머밀을 이용하여 100 mesh (140 μ m) 크기로 분쇄한 후 혼합에 사용하였다. 각 500 kg의 실험사료 혼합물을 배합하기 위해 배합비(Table 1)에 따라 분쇄된 원료사료를 계량하였다. 계량된 원료사료는 V-mixer (Hangjin Co., Korea)를 이용하여 10분간씩 혼합한 후 투입기로 이송하였다. 5종의 실험사료는 twin extruder (model ATX-2, Fesco Precision Co., Korea)를 이용하여 2 mm 및 3 mm 칩합사료로 제조하였다. 실험사료의 화학적 조성은 Table 1에 제시된 바와 같고 사료 제조에 이용된 extrusion 조건은 다음과 같았다. Feeder speed 16-18 rpm, conditioner temperature 80-90 $^{\circ}$ C, 물 공급량은 100-150 mL, screw speed 250-320 rpm, 1st barrel 물 공급량

은 50 mL, 2nd barrel과 3rd barrel temperature 105-135 $^{\circ}$ C, steam heater pressure 4-6 kgf/cm², 4th barrel temperature 80-90 $^{\circ}$ C이었다. 성형된 펠렛은 열풍건조기를 이용, 60-80 $^{\circ}$ C에서 6시간 동안 건조하여 수분함량이 5-8% 수준을 유지토록 하였다.

실험어 및 사육관리

실험에 사용된 넙치 치어는 제주도에 위치한 종묘배양장(동

Table 1. Ingredient and chemical composition of the experimental diets

Ingredient (%)	Experimental diets				
	Control	MCP ¹	DCP ¹	TCP ¹	MHP ¹
Fish meal	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00
Soybean meal	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50
Wheat flour	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
Squid liver powder	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Fish oil	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Vitamin mix ²	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Mineral mix ³	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Corn gluten meal	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Finnstim ⁴	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Choline-HCl ⁵	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
P source	-	2.00	2.00	2.00	2.00
Corn grain	4.60	2.60	2.60	2.60	2.60
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Composition (% , DM) ⁶					
C. protein	51.32	50.34	49.68	49.29	49.78
C. lipid	10.30	9.88	10.08	9.57	10.26
C. ash	12.59	14.33	14.35	15.78	15.55
CHO	27.79	25.45	25.89	25.36	24.41
Ca	3.12	3.69	3.60	3.86	3.79
P	2.13	2.49	2.50	2.54	2.51

¹MCP, monocalcium phosphate; DCP, dicalcium phosphate; TCP, tricalcium phosphate; MHP, magnesium hydrogen phosphate. ²Vitamin added to supply the following (per kg diet): vitamin A, 8000 IU; vitamin D₃, 1600 IU; vitamin E, 200 IU; vitamin K₃, 30 mg; thiamine HCl, 80 mg; riboflavin, 50 mg; D-Ca pantothenate, 100 mg; biotin, 1 mg; folic acid, 10 mg; vitamin B₁₂, 80 mg; niacin, 200mg; pyridoxine HCl, 40 mg; ascorbic acid, 500 mg; inositol, 400 mg; BHT, 15 mg; BHA, 15 mg. ³Mineral added to supply the following (per kg diet): ferrous sulfate (20.1% Fe), 220 mg; copper sulfate (25.4% Cu), 63.5 mg; zinc sulfate (22.7% Zn), 352 mg; manganous sulfate (32.5% Mn), 100 mg; cobalt chloride (24.8% Co), 20 mg; potassium iodide (76.4% I), 6.5 mg; sodium selenite (45.6% Se), 2.2 mg; sodium fluoride (45.2% F), 8 mg. ⁴Betaine S₁, DANISCO, Finland. ⁵Coline Chloride-50, Cofavet special, Korea. ⁶Values are means of 2 or 3 determinations.

원수산)에서 구입하여 제주대학교 소속 해양과학연구소로 이송하였다. 2주 동안 3톤 FRP수조에서 시판 배합사료를 공급하면서 실험환경에 적응할 수 있도록 순치시킨 후 사료공급 실험에 사용하였다. 예비사육 후 넙치치어 (개시평균어체중, 11 g)는 총 15개의 120 L 원형 수조 (3반복/처리)에 각 수조 당 35마리씩 무작위로 선택 배치하였다. 사육수는 모래 여과해수를 사용하여 3 L/min의 유수량이 되도록 조절하였고 모든 실험수조에 용존산소 유지를 위하여 에어스톤을 설치하였다. 광주기는 형광등을 이용하여 12L:12D 조건으로 유지하였고, 전 실험기간 동안 사육수온은 13-18.5℃ 범위로 자연수온에 의존하였다. 실험사료는 1일 2회(08:30 hr와 18:00 hr)에 나누어서 반복공급하였다. 성장률 측정은 4주와 종료(10주) 시 실시하였고, 측정 전 24시간 동안 모든 실험어류를 절식시켰다. 실험사료는 4주간 2 mm 펠릿을 후속 6주는 3 mm 펠릿을 공급하였으며, 사양 실험은 총 10주간 수행하였다.

샘플수집 및 생화학적 분석

10주간의 사료공급 실험 후, 어류의 최종 무게를 측정하여 증체율(weight gain), 일간성장률(specific growth rate), 사료 전환효율(feed conversion ratio), 단백질이용효율(protein efficiency ratio) 및 생존율(survival rate)을 계산하였다. 최종무게 측정 후, 각 수조마다 5마리의 어류를 무작위로 선별하여 2-phenoxyethanol 용액(200 ppm)으로 마취시켜 일회용주사기를 사용하여 실험어류의 미부동맥에서 혈액을 채혈하였다. 5마리(실험구 당 15마리)의 혈액은 헤파린을 처리하여 hematocrit, hemoglobin 및 inorganic P 측정을 위해 사용되었다. 실험사료 원 및 실험사료의 일반성분 분석은 AOAC (1995) 방법에 따라 수분은 상압가열건조법(125℃, 3시간), 조회분은 직접회화법(550℃, 6시간), 단백질은 자동 조단백 분석기(Kjeltec System 2300, Sweden)로 분석하였으며, 지방은 Folch et al. (1957)의 방법에 따라 Soxhlet 추출장치(Soxhlet Heater System C-SH6, Korea)를 이용하여 분석하였다.

시료의 중금속 분석을 위해 분쇄한 시료 1.0 g을 취한 다음, 마

이크로파 분해장치를 사용하여 분해시켰다(START-D microwave digestion system, Milestone, USA). 중금속의 용출은 시료를 테프론(PFA, Perfluoroalkoxy) 용기에 넣고 진한 질산 10 mL를 가하여 약 6시간 정도 방치시킨 후, 마이크로파를 조사하여 용해하였다. 마이크로파 조사는 15분 동안 온도를 180℃로 올리고 이 온도에서 15분간 유지시킨 후 10분간 서서히 온도를 떨어뜨렸으며, 기체의 압력이 200-250 psi 정도 이내 범위를 유지하였다. 분해한 뒤 분해된 용액을 0.45 μm의 주사기필터로 여과하여 불용성 입자를 거른 후 초순수를 사용하여 최종적으로 25 mL로 희석하였다. 마이크로파 전처리를 거친 시료 용액 중의 성분은 ICP-OES법으로 분석하였다. 이 때 검정곡선 작성용 표준용액은 ICP (Inductively Coupled Plasma) 용 1000 μg/mL 용액(AccuStandard, USA)을 초순수와 질산 용액으로 희석하여 조제하였다. 표준용액 조제 시 희석용매는 매트릭스 효과를 최소화시키기 위하여 시료의 전처리 과정과 동일한 비율로 HNO₃ 용액을 사용하였다. 그리고 표준용액의 농도는 시료의 농도에 따라 고농도 성분들은 0.01-5.0 μg/mL, 저농도 성분들은 0.01-1.0 μg/mL 범위로 조제하여 ICP-OES (Perkin Elmer OPTIMA 7300DV, USA)로 분석하였다. Hematocrit은 헤파린이 처리된 모세혈관 채혈튜브(Micro-hematocrit Capillary Tubes)에 혈액을 채운 후, 혈액진단원심분리기(Micro Hematocrit VS-12000, Vision Scientific, Korea)에서 10분간 원심분리하여 값을 측정하였다. Hemoglobin과 phosphorus분석은 시판 kit시약과 반응시킨 후 혈액생화학분석기(Express plus system, Bayer, USA)를 이용하여 분석하였다.

통계학적 분석

실험사료의 배치는 완전확률계획법(completely randomized design)을 실시하고, 성장 및 분석결과는 SPSS version 12.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하여 One-way ANOVA로 통계 분석되었다. 데이터 값의 유의차는 Turkey's HSD로 평균간의 유의성(P<0.05)을 비교하였다. 데이터는 평균값±표준편차(mean±SD)로 나타내었으며 백분율 데

Table 2. Growth performance of olive flounder *Paralichthys olivaceus* (initial body weight, 11g) fed the experimental diets for 10 weeks¹

Diet	FBW ²	WG ³	SGR ⁴	FCR ⁵	PER ⁶	FI ⁷	SR ⁸
Control	32.7±3.5 ^{ns}	194±30.4 ^{ns}	1.56±0.15 ^{ns}	1.84±0.24 ^{ns}	1.07±0.14 ^{ns}	37.9±1.8 ^{ns}	88.6±7.6 ^{ns}
MCP ⁹	34.2±0.8	206±6.9	1.62±0.03	1.60±0.07	1.25±0.06	35.6±1.4	90.5±4.4
DCP ⁹	29.4±1.9	164±18.3	1.41±0.10	1.94±0.18	1.04±0.10	33.9±1.8	90.5±1.6
TCP ⁹	32.6±2.4	192±21.2	1.55±0.10	1.80±0.31	1.15±0.21	37.5±2.7	92.4±3.3
MHP ⁹	31.4±3.4	181±30.7	1.49±0.16	2.05±0.52	1.02±0.24	39.0±2.8	92.4±8.7

¹Mean values of triplicate groups are presented as mean±SD. Values in the same column having different superscript letters are significantly different (P<0.05). ²FBW=final body weight (g/fish). ³Weight gain (%)=100×(final mean body weight-initial mean body weight)/initial mean body weight. ⁴Specific growth rate (%)=[(log_e final body weight-log_e initial body weight)/days]×100. ⁵Feed conversion ratio=dry feed fed/wet weight gain. ⁶Protein efficiency ratio=wet weight gain/total protein given. ⁷Feed intake (g/fish). ⁸Survival rate (%)=final fish number/initial fish number x 100. ⁹MCP, monocalcium phosphate; DCP, dicalcium phosphate; TCP, tricalcium phosphate; MHP, magnesium hydrogen phosphate.

이터는 arcsine 변형 값으로 계산하여 통계 분석하였다.

결과 및 고찰

실험사료의 조단백질 및 조지방 함량은 사료배합 시 의도한 수준으로 각각 50% 및 10%로 유지되었으나, 대조구의 경우 조단백질 함량이 51.3%로 타실험구에 비해 약간 높게 나타났다. 배합에 앞서 분석한 여러 인산공급제의 인 함량은 16.58% (TCP)에서 19.90% (MCP)로 나타났으며, MHP의 인 함량은 16.69%로 TCP와 유사하였다. 총 인(P)의 함량은 인 공급제를 첨가하지 않은 대조구가 2.13%로 가장 낮았으며, 인 공급제를 2%씩 첨가한 타실험구는 2.49% (MCP)에서 2.54% (TCP)로 예상한 수준으로 유지되었다(Table 1). 우수식 사육장치에서 10주간 실험사료를 섭취한 넙치의 성장 및 사료이용효율은 Table 2에 제시된 바와 같다. 종로 어체중은 29.4 g (DCP)에서 32.7 g (Control)으로 나타났으나 처리구간 유의성은 없었다. 사료계수(FCR, feed conversion ratio)는 1.6 (MCP)에서 2.05 (MHP, magnesium hydrogen phosphate)로 MHP구가 가장 높게 나타났으나 처리구간 유의성은 인정되지 않았다. 단백질 이용효율(PER, protein efficiency ratio)은 1.02에서 1.25의 범위를 나타냈으며 생존율(SR)은 88.6에서 92.4%의 범위를 나타냈

으나 처리구간 유의성은 인정되지 않았다.

혈액 내 헤마토크리트(PCV) 수치는 22.9에서 24.4%의 범위를 보였으며, 헤모글로빈(Hb) 함량은 3.92에서 4.07 g/dL로 처리구간 유의성이 발견되지 않았다. 혈장 내 무기태 인 함량 또한 14.4에서 14.9 mg/dL로 유의적인 차이를 보이지 않았다(Table 3). 전어체조직의 화학적 조성은 Table 4에 제시된 바와 같다. 건물함량으로 단백질 함량은 65.3에서 68.7%, 지방함량은 14.6에서 16.0% 그리고 회분 함량은 11.8에서 14.2%로 처리구간 변이를 보였으나 유의성은 발견되지 않았다($P>0.05$). 전어체 내 광물질 함량은 Table 5에 제시된 바와 같다. 인을 제외한 칼슘, 마그네슘, 황, 칼륨 및 나트륨 함량은 처리구간 유의성을 보이지 않았다. DCP구의 인 함량이 5.73 mg/g으로 처리구중 가장 높게 나타났으며 TCP구와는 유의적인 차이가 없었으나 나머지 구에 비해 유의성이 인정되었다($P<0.05$).

넙치가 한국 해산양식의 주력어종임에도 불구하고 넙치의 성장단계별 인 요구량, 원료사료 및 P 공급제의 인 이용성에 관한 연구는 지금까지 수행되지 않았다. 그 이유는 해산어의 경우 분채집의 어려움뿐 아니라 해수 내 광물질 함량으로 인해 사료 내 고형물, 회분 및 여러 광물질의 간접 소화율이 영향을 받기 때문이다(Grisdale-Helland and Helland, 1998). 이러한 연구의 부재로 인해 사료생산자는 사료배합 시 주먹구구식으로 인 공급제를 첨가하는데, 이는 생산비용의 증가뿐 아니라 수질오염 유발의 잠재적 원인이 될 수 있다. Sarker et al. (2009)은 평균 어체중 270 g의 육성용 방어(*Seriola quinqueradiata*)의 사료 내 일인산 K, Na 및 Ca의 P 소화율이 각각 96.1, 94.8 및 92.4%라고 보고하였다. 그러나 Choi et al. (2005) 등이 4g의 넙치를 이용하여 수행한 연구에서는 사료 내 일인산 K, Na 및 Ca의 P 소화율이 각각 65, 83 및 85%로 나타나 있다. 이것은 어종에 따른 차이 외에도 소화율 측정법에 따른 차이에서 기인하는 것으로 보인다. 본 연구의 결과 어분을 55% 함유하는 사료 내 인공공급제의 첨가는 성장률과 사료이용효율 및 체조직조성에 어떤 개선효과도 보이지 않음을 잘 보여주고 있다. 이것은 사료 구성소에 함유된 P만으로도 넙치의 요구량이 충족될 수 있다는 것을 시사하며, 첨가되는 인 공급제는 잠재적 오염원이 된다고 볼 수 있다.

Hematocrit(%)는 체내 산소 운반능력을 나타내는 간접적 지

Table 3. Blood parameters of olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed the experimental diets for 10 weeks¹

Diet	Hematocrit (%)	Hemoglobin (g/dL)	Serum inorganic Phosphorus (mg/dL)
Control	24.4 ± 1.2 ^{ns}	4.07 ± 0.4 ^{ns}	14.4 ± 0.9 ^{ns}
MCP ²	23.9 ± 1.6	4.04 ± 0.4	14.7 ± 0.7
DCP ²	23.9 ± 1.0	3.89 ± 0.7	14.7 ± 0.7
TCP ²	23.5 ± 1.6	3.93 ± 0.8	14.9 ± 0.8
MHP ²	22.9 ± 1.4	3.92 ± 0.3	14.4 ± 1.8

¹Mean values of triplicate groups are presented as mean ± SD. Values in the same column having different superscript letters are significantly different ($P<0.05$). ²MCP, monocalcium phosphate; DCP, dicalcium phosphate; TCP, tricalcium phosphate; MHP, magnesium hydrogen phosphate.

Table 4. Whole body composition of olive flounder *Paralichthys olivaceus* (% DM) fed the experimental diets for 10 weeks¹

Diet	Protein	Lipid	Ash	Moisture
Control	68.7 ± 3.8 ^{ns}	14.6 ± 0.7 ^{ns}	12.9 ± 0.6 ^{ns}	74.7 ± 0.7 ^{ns}
MCP ²	65.9 ± 2.9	14.8 ± 0.3	14.2 ± 0.7	74.9 ± 0.3
DCP ²	65.3 ± 1.5	15.3 ± 0.7	12.6 ± 1.4	74.2 ± 0.4
TCP ²	67.0 ± 1.0	16.0 ± 1.1	12.2 ± 1.2	75.1 ± 0.4
MHP ²	65.9 ± 0.1	14.9 ± 0.5	11.8 ± 0.3	74.8 ± 0.6

¹Mean values of triplicate groups are presented as mean ± SD. Values in the same column having different superscript letters are significantly different ($P<0.05$). ²MCP, monocalcium phosphate; DCP, dicalcium phosphate; TCP, tricalcium phosphate; MHP, magnesium hydrogen phosphate.

Table 5. Mineral concentration (mg/g fresh wt) of whole body composition of olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed the five experimental diets for 10 weeks¹

Diet	Calcium	Phosphorus	Magnesium	Sulfur	Potassium	Sodium
Control	7.59±1.1 ^{ns}	4.25±0.7 ^a	0.36±0.03 ^{ns}	2.28±0.0 ^{ns}	2.78±0.03 ^{ns}	1.00±0.03 ^{ns}
MCP ²	6.70±1.4	4.36±0.7 ^a	0.34±0.01	2.10±0.12	2.70±0.09	0.99±0.02
DCP ²	7.95±1.1	5.73±2.1 ^b	0.36±0.01	1.99±0.08	2.96±0.02	0.99±0.01
TCP ²	7.15±1.0	5.14±1.1 ^{ab}	0.32±0.04	2.32±0.40	2.70±0.05	0.97±0.05
MHP ²	7.98±1.8	4.40±0.4 ^a	0.34±0.02	1.96±0.15	2.77±0.10	0.96±0.02

¹Mean values of triplicate groups are presented as mean±SD. Values in the same column having different superscript letters are significantly different (P<0.05). ²MCP, monocalcium phosphate; DCP, dicalcium phosphate; TCP, tricalcium phosphate; MHP, magnesium hydrogen phosphate.

표이고, Hb (g/dL)는 혈액의 산소 운반 능력을 나타내는 직접적 지표이다(McClatchey, 1994). 혈액학적 요소는 영양학적 상태(Siddiqui, 1977), 질병 감염(Barham et al., 1980; Iwama et al., 1986), 환경적 변화(Giles et al., 1984) 및 스트레스(Ellsaesser and Clem, 1986)와 같은 여러 요인에 의해 영향을 받는다고 알려져 있다. 일반적으로 건강한 대서양 연어의 성체에서 PCV와 Hb는 각각 44-49%와 8.9-10.4 g/dL로 보고되었으며(Sandnes et al., 1988), 열대성 관상 어류인 시클리드의 경우 22.5-39.2%와 5.2-8.3 g/dL로 다소 낮게 보고되었다(Vazquez and Guerrero, 2007). Rahimnejad and Lee (2013)는 사료 내 valine 수준을 달리한 참돔 성장연구 결과에서 PCV는 30.7-34.3% 그리고 Hb는 4.4-5.4 g/dL의 값을 보고하였다. 최근 Yoon et al. (2016)은 육성 잉어의 PCV와 Hb가 24.2-28.8%와 7/5-8.8 g/dL라 보고하였으며, Yoon et al. (2017)은 육성 메기의 경우 각각 25.8-29.5% 및 7.7-8.7 g/dL라 보고하였다. 넙치를 이용한 본 연구의 결과는 상기 연구자들의 수치보다 낮은 결과를 보였으나 전체적으로 90% 이상의 생존률을 고려할 때 건강학적 이상 현상을 보이는 것은 아닌 것으로 추정된다. 한편, 이용성이 높은 인 공급제의 첨가는 혈액 내 무기태 P의 함량을 증가시킨 인 요구량 충족과 함께 성장률을 개선시키는 것으로 나타났다(Yoon et al., 2016; Yoon et al., 2017). 그러나 본 연구에서는 성장률(Table 2), 혈장 내 무기태 P의 수준(Table 3) 및 어체 내 화학적 조성(Table 4)에서 처리구간 유의적 차이가 발견되지 않았다. 이것은 어분 55%를 함유하는 대조구 사료가 이미 인 요구량을 충족시켰기 때문으로 풀이된다.

넙치의 전어체 내 광물질 함량에 관한 자료는 찾아보기 어렵다. Kim and Shin (2006)은 200 g 크기의 육성넙치 내 Ca함량은 1.17-1.28%, P함량은 0.51-0.57%로 보고하였다. Kim (2000)은 약 350 g 크기의 육성넙치 내 Ca함량은 0.62-0.76%, P함량은 0.54-0.66%라고 하였다. 유사한 크기의 육성넙치 내 Ca함량은 0.84-0.86%, P함량은 0.56-0.59%로 보고되었다(Kim et al., 2011). 본 연구에서 약 30 g 크기의 넙치어체 내 Ca함량은 0.67 (MCP)-0.80% (MHP)으로 Kim and Shin (2006)이 보고한 수치보다는 훨씬 낮았으나 Kim (2000)과 Kim et al.

(2011)의 수치와는 유사하였다. P함량은 0.43 (Control)-0.57% (DCP)로 상기 연구자들의 수치와 근접하게 나타났다. 한편, 성장률이나 혈장 무기태 P 그리고 전어체조직 내 화학적 조성에는 유의적 차이가 없었으나 DCP첨가구의 P 함량이 유의적으로 높았던 이유는 설명이 어렵다. 마그네슘(Mg), 황(S), 칼륨(K) 및 나트륨(Na) 함량은 처리구간 유의적인 차이 없이 유사한 수준으로 나타나 사료 내 인 공급제의 영향을 받지 않는 것으로 추론되었다.

결론적으로 어분 기반 넙치사료 내 인 공급제의 첨가는 성장률, 사료이용효율, 체조직 조성, 혈장 내 무기태 인 수준 등에 아무런 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

References

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1995. Official Methods of Analysis. 16thed. Arlington, VA, U.S.A., 1298. [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(95\)90022-5](https://doi.org/10.1016/0924-2244(95)90022-5).

Auer MT, Kiesser MS and Canale RP. 1986. Identification of critical nutrient levels through field verification of models for phosphorus and phytoplankton growth. *Can J Fish Aquat Sci* 43, 379-388. <https://doi.org/10.1139/f86-048>.

Barham WT, Smith GL and Schoonbee HL. 1980. The hematological assessment of bacterial infection in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *J Fish Biol* 17, 275-281. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1980.tb02761.x>.

Choi SM, Kim KW, Kang YJ, Wang X, Kim JW, Yoo GY and Bai SC. 2005. Reevaluation of the phosphorus requirement of juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus* and the bioavailability of various inorganic phosphorus sources. *J World Aquacult Soc* 36, 217-222. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2005.tb00388.x>.

Ellsaesser CF and Clem LW. 1986. Haematological and immunological changes in channel catfish stressed by handling and transport. *J Fish Biol* 28, 511-521. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1986.tb05187.x>.

Folch J, Lees M and Sloane-Stanley GH. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from

- animal tissues. *J Boil Chem* 226, 497-509. <https://dx.doi.org/10.1007/bf02534078>.
- Giles MA, Majewski HS and Hobden B. 1984. Osmoregulatory and hematological responses of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) to extended environmental acidification. *Can J Fish Aquat Sci* 41, 1686-1694. <https://doi.org/10.1139/f84-207>.
- Grisdale-Helland B and Helland SJ. 1998. Macronutrient utilization by Atlantic halibut (*Hipoglossus hipoglossus*): diet digestibility and growth of 1 kg fish. *Aquaculture* 166, 57-65. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00274-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00274-9).
- Iwama GK, Greek GL and Randall DJ. 1986. Changes in selected haematological parameters in juvenile chinook salmon subjected to a bacterial challenge and a toxicant. *J Fish Biol* 28, 563-572. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1986.tb05193.x>.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2017. Investigation of fisheries aquaculture production. 2017. Retrieved from http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?mode=tab&orgId=101&tblId=DT_1EZ0013&vw_cd=MT_ZTITLE&list_id=F38&scrId=&seqNo=&lang_mode=ko&obj_var_id=&itm_id=&conn_path=MT_ZTITLE&path=%252FstatisticsList%252FstatisticsListIndex.do on Feb 5, 2017.
- Kim JD, Kim KS, Song JS, Lee JY and Jeong KS. 1998. Optimum level of dietary monocalcium phosphate based on growth and phosphorus excretion of mirror carp, *Cyprinus carpio*. *Aquaculture* 161, 337-344. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00281-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00281-0).
- Kim JD and Shin SH. 2006. Growth, feed utilization and nutrient retention of juvenile olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) fed moist, semi-moist and extruded diets. *Asian-Aust J Anim Sci* 19, 720-726. <https://doi.org/10.5713/ajas.2006.720>.
- Kim JD. 2000. Effects of dietary microbial phytase supplementation on growth and feed utilization of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *An Anim Res Sci* 11, 46-59.
- Kim JD, Choi SM and Shin SJ. 2011. Growth, Feed Utilization and Nutrient Excretions of Slow Growing Flounder (*Paralichthys olivaceus*) Fed either Moist or Extruded Pellet. *An Anim Res Sci* 22, 12-18.
- Kim JD. 2014. Better Understanding of the Aquafeed (in Korean). The 1st appendix to a monthly Aquainfo magazine. Aquainfo, Seoul, Korea, 268.
- Kim JD. 2017. Development Direction of Korean Aquafeed. In: Commemorative Seminar for the foundation of Korean Aquafeed Association. Laon Convention, Daejeon, Korea.
- Lall SP. 1991. Digestibility, metabolism and excretion of dietary phosphorus in fish. In: Nutritional Strategies and Aquaculture Wastes. Cowey CB and Cho CY, eds. University of Guelph, Ontario, Canada, 21-36.
- McClatchey K. 1994. Clinical laboratory medicine. Baltimore: Williams & Wilkins, Philadelphia, U.S.A.
- NRC (National Research Council). 2011. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. National Academy Press, Washington, D.C., U.S.A., 376.
- Rahimnejad S and Lee KJ. 2013. Dietary valine requirement of juvenile red sea bream *Pagrus major*. *Aquaculture* 416, 212-218. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.09.026>.
- Sandnes K, Lie Ø and Waagbø R. 1988. Normal ranges of some blood chemistry parameters in adult farmed Atlantic salmon, *Salmo salar*. *J Fish Biol* 32, 129-136. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1988.tb05341.x>.
- Sarker PK, Fukada H and Masumoto T. 2009. Phosphorus availability from inorganic phosphorus sources in yellowtail (*Seriola quinqueradiata* Temminck and Schlegel). *Aquaculture* 289, 113-117. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.01.006>.
- Siddiqui AQ. 1977. Reproductive biology, length-weight relationship and relative condition of *Tilapia leucosticta* (Trewavas) in Lake Naivasha, Kenya. *J Fish Biol* 10, 251-260. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1977.tb05130.x>.
- Vázquez GR and Guerrero GA. 2007. Characterization of blood cells and hematological parameters in *Cichlasoma dimerus* (Teleostei, Perciformes). *Tissue and cell* 39, 151-160. <https://doi.org/10.1016/j.tice.2007.02.004>.
- Yoon TH, Lee DH, Won SG, Ra CS and Kim JD. 2014. Effects of dietary supplementation of magnesium hydrogen phosphate (MgHPO₄) as an alternative phosphorus source on growth and feed utilization of juvenile far eastern catfish (*Silurus asotus*). *Asian-Aust J Anim Sci* 27, 1141-1149. <https://doi.org/10.5713/ajas.2014.14079>.
- Yoon TH, Lee DH, Won SG, Ra CS and Kim JD. 2015. Optimal incorporation level of dietary alternative phosphate (MgHPO₄) and requirement for phosphorus in juvenile far eastern catfish (*Silurus asotus*). *Asian-Aust J Anim Sci* 28, 111-119. <https://doi.org/10.5713/ajas.14.0378>.
- Yoon TH, Won SG, Lee DH, Choi JW, Ra CS and Kim JD. 2016. Effect of a new phosphorus source, magnesium hydrogen phosphate (MHP) on growth, utilization of phosphorus and physiological responses in Carp (*Cyprinus carpio*). *Fish Aquat Sci* 19, 49-57. <https://doi.org/10.1186/s41240-016-0038-4>.
- Yoon TH, Won SG, Lee DH, Jeong GS, Choi JW, Ra CS and Kim JD. 2017. Phosphorus requirement and optimum level of dietary supplementation with magnesium hydrogen phosphate (MgHPO₄) recovered from swine manure for Juvenile Carp *Cyprinus carpio*. *Korean J Fish Aquat Sci* 50, 146-152. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2017.0146>.