

饲料磷含量对黄颡鱼幼鱼生长、生化组成及血清生化指标的影响

唐琴¹ 廖全中² 曾洁¹ 王超凡¹ 雷学文¹ 王春芳¹

1. 华中农业大学水产学院, 武汉 430070; 2. 湖南岳阳市展翔生物科技有限公司, 岳阳 414000

摘要 在黄颡鱼商业饲料基础上通过减少 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 的添加量, 制成 3 种不同磷含量(以 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 计)的饲料(25 kg/t 简称 25P、15 kg/t 简称 15P、5 kg/t 简称 5P)进行生长试验, 测定不同磷含量对黄颡鱼生长、生化组成和血清生化指标的影响。每种饲料对应 3 缸重复, 每缸 15 尾鱼(初始平均体质量 3.2 g), 进行 4 周的饲养试验。结果显示: 摄食 15P 的试验鱼特定生长率和增重率显著高于其他 2 组。投喂 25P 的试验组粗蛋白含量显著高于投喂 5P 的试验组, 但这 2 组都与投喂 15P 的试验组没有显著差异。15P 组的血清超氧化物歧化酶(T-SOD)显著高于 25P 和 5P 组; 碱性磷酸酶(ALP)、血钙、血磷在各饲料处理组中均差异不显著。结果表明, 黄颡鱼幼鱼的商用饲料中, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 的添加量可以从 25 kg/t 减少到 15 kg/t, 不会对黄颡鱼的生长和免疫产生负面影响。

关键词 黄颡鱼; 饲料磷; 生长; 血清生化指标

中图分类号 S 963.73 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2011)04-0506-05

磷是构成鱼体的重要成分, 与能量转化、细胞膜通透性、遗传密码以及生长和生殖有着密切的关系, 也是血液和其他体液缓冲体系中的必要成分^[1]。磷对鱼体的免疫机能也有重要的作用^[2]。养殖鱼类需从饲料中获取大部分所需要的磷元素。磷含量过高时会污染水环境, 而磷缺乏时容易导致鱼体的各种缺乏症, 如: 食欲不振、生长缓慢、骨骼异常、脊椎弯曲、体贮脂肪和水分下降、鱼体骨骼含量下降等。研究已表明磷是大多淡水水体富营养化的限制因子^[3-5], 因此在不影响鱼类正常生长的情况下减少水体中磷的排放量能有效改善水环境。

黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)是一种小型名优淡水鱼类, 其蛋白质含量高, 脂肪含量少, 营养丰富, 肉质佳, 因此经济价值较高^[6]。近年来江河捕捞量已难以满足市场需求, 黄颡鱼已经成为养殖体系的热点。目前, 有关黄颡鱼的研究报道很多^[7-10], 但对其营养需求的深入研究鲜见报道。高效环保的饲料是黄颡鱼养殖的物质基础。笔者对黄颡鱼的磷营养需求进行研究, 从鱼体的生长、生化指标和免疫力等角度来评价不同磷含量饲料的效果, 以确定当

前商用饲料中磷的最佳添加量, 为饲料的配制提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

试验共用 3 种饲料: 在黄颡鱼商用饲料基础上, 通过减少饲料中 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 的添加量, 使饲料中 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 的含量分别为 5 kg/t(简称 5P)、15 kg/t(简称 15P)、25 kg/t(简称 25P)分别作为 I、II、III 组。本试验中所使用的饲料由湖南岳阳展翔生物科技有限公司提供(配方见表 1)。

1.2 试验鱼及其饲养

试验鱼苗来自华中农业大学水产学院碧海实验基地, 饲养在由 9 个圆形有机玻璃纤维缸(内径 85 cm, 内高 70 cm)所构成的室内流水养殖系统中(平均流速为 729 mL/min), 连续充气, 溶解氧大于 5 mg/L。试验期间每天记录水温, 保持水温在 16.5~26.5 °C 之间。试验开始前, 将鱼饥饿 24 h, 随机挑选 45 尾体格健壮、活泼、规格均匀的鱼, 称质量后随机放入 9 个实验缸中(平均体质量为 3.2 g)。

收稿日期: 2010-09-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(30901105/C190401)、华中农业大学科研启动经费项目(52204-08091)、华中农业大学大学生创新性实验项目、国家大学生创新性试验计划(091050422)

唐琴, 硕士研究生, 研究方向: 鱼类分子营养. E-mail: tangqin@webmail.hzau.edu.cn

通讯作者: 王春芳, 博士, 副教授, 研究方向: 鱼类分子营养. E-mail: cfwang@mail.hzau.edu.cn

表1 饲料配方

Table 1 Formulation and chemical composition of the experimental diets

项目 Item	g/kg		
	5P(I)	15P(II)	25P(III)
原料 Ingredients			
进口鱼粉 Fishmeal	300	300	300
饼粕 Soybean meal	400	400	400
面粉 Wheat flour	240	240	240
豆油 Soybean oil	10	10	10
磷酸二氢钙 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	5	15	25
其他 Others	30	30	30
化学组成 Chemical composition			
水分 Moisture	7.06	7.90	9.15
粗蛋白 Crude protein	44.13	43.14	45.56
粗脂肪 Crude lipid	3.16	4.16	3.33
灰分 Ash	14.27	14.86	14.32

每种试验饲料对应3缸重复。试验开始后,每天09:00和15:00饱食投喂已知质量的饲料,2h后收集残饵,烘干并称质量。连续饲养31d。试验结束后,在所有实验缸中分别投放对应的已称质量的饲料,2h后回收饲料,于70℃烘干后称质量,计算饲料溶失率,用来校正摄食量。

1.3 鱼样及水样的采集

试验开始时,称每缸鱼的总质量并计数,任意挑选3尾鱼,称质量后-20℃保存,用于初始鱼样的生化成分分析。饲养试验结束时,将鱼饥饿24h,称每缸鱼的总质量并计数,同时称其带水质量和抹干质量,用于校正试验初始时所获得的带水质量。再任意挑选3尾鱼,保存于-20℃,用于试验结束时鱼样的生化成分分析。每缸任意挑选5尾鱼,立即用注射器从尾静脉取血,用于血清生化成分的分析。迅速将血样转移到1.5mL的离心管中,在室温下静置3h,接着在25℃下以3000r/min离心10min,将取得的血清样保存于-20℃待用。

准备好采水瓶,在饲养试验结束并饥饿处理后,采集水样用于检测水体中的总磷含量。

1.4 鱼样生长指标的分析

依据常规计算方法,计算供试鱼的死亡率、特定生长率、增重率、摄食率和饲料效率。

1.5 鱼样生化成分分析

于实验室内,测定初始样品和最终样品的蛋白质、脂肪、灰分、水分含量,以及最终样品的血清生化指标。蛋白质通过微量凯氏定氮法(TECATOR Kjeldahl methods)测定,脂肪通过 Soxtec 系统(TECATOR Soxtec HT1043, Extraction Unit, Hoganas, Sweden)以乙醚抽提失重法测定,灰分含

量通过在马福炉中555℃灼烧法测定,水分含量测定于105℃烘箱内进行。

1.6 血清中生化指标的分析

样本中碱性磷酸酶(ALP)、超氧化物歧化酶(SOD)、血磷和血钙的具体测定步骤均参照南京建成生物工程有限公司的相关试剂盒测定说明书。

1.7 水中总磷的测定

采用GB 11893-1989钼酸铵分光光度法,取8支50mL(磨口)带塞刻度比色管,分别装入25mL采集的水样,其中一个用蒸馏水作空白对照。加入过硫酸钾后,置于高压蒸汽灭菌锅中进行消解,120℃,恒温30min。处理完后放置至冷却,加入蒸馏水定容至50mL,再加入抗坏血酸溶液1mL、钼酸盐溶液2mL,充分混匀。将处理好的样品进行比色分析, $\lambda=700\text{nm}$ 。

1.8 统计分析

用统计软件 Statistica 6.0 进行统计分析。试验数据经一元方差分析(One-way ANOVA)后,用 Duncan's 多重比较来确定各试验组间差异的显著性。显著水平设定为 $P=0.05$ 。各表图中数据为3缸平行的平均值。

2 结果与分析

2.1 生长表现

由表2可见,摄食15P的试验鱼特定生长率和增重率显著高于其他2组。尽管终末体质量、摄食率和饲料效率在3个饵料处理组之间差异不显著,但摄食15P的试验鱼终末体质量、摄食率和饲料效率要高于其他2组。

2.2 生化成分分析结果

由表3可见,试验结束时鱼体的粗蛋白比初始值都有显著增加。投喂25P饲料的幼鱼蛋白含量显著高于投喂5P饲料的幼鱼,但与投喂15P饲料的试验组没有显著差异,且投喂15P饲料和5P饲料之间也没有显著差异。3种饵料处理组鱼体粗脂肪含量无显著差异,但显著低于初始值。

2.3 血清生化指标结果

不同饲料组的血清生化指标(超氧化物歧化酶, SOD; 碱性磷酸酶, ALP; 血磷, P; 血钙, Ca)差异性见表4。血清总超氧化物歧化酶在15kg/t组试验鱼中显著高于其他饵料处理组。碱性磷酸酶、血磷和血钙含量在不同饲料组间无显著性差异。

表 2 不同饵料磷含量饲料处理下黄颡鱼的生长(均值±标准差)¹⁾Table 2 Growth performance of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco* Richardson) under different dietary treatments (Mean±SE)

饵料处理/(kg/t) Treatments	初始体质量/g IBW	终末体质量/g FBW	特定增长率/(%/d) SGR	质量增加率/% WG	摄食率/(%/d) FR	饲料效率/% FE
5	3.22±0.12	4.31±0.24	0.92±0.20 a	34.97±8.51 a	1.79±0.31	44.96±10.95
15	2.92±0.14	5.26±0.30	1.95±0.25 b	86.86±10.42 b	2.74±0.38	62.42±13.41
25	3.18±0.14	4.40±0.30	1.00±0.25 a	38.10±10.42 a	2.24±0.38	46.24±13.41

1)IBW:初始体质量 Initial body weight;FBW:终末体质量 Final body weight;SGR:特定增长率 Specific growth rate;WG:质量增加率 Weight gain;FR:摄食率 Feeding rate;FE:饲料效率 Feed efficiency;同一项目内数值上的字母不同代表存在显著差异($P<0.05$)。下表同。Values with different alphabets within the same item are significantly different($P<0.05$). The same as below.

表 3 不同磷含量饲料对黄颡鱼生化成分的影响(均值±标准差)

Table 3 Effects of dietary phosphorous on body composition of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) (Mean±SE)

饲料组 Feed	饵料磷/(kg/t) Dietary phosphorous	粗蛋白/% Crude protein	粗脂肪/% Crude lipid	灰分/% Ash
I	5	59.32±0.97 a	16.80±1.05 a	15.42±0.51 a
II	15	60.84±0.97 ab	15.82±1.05 a	16.89±0.51 a
III	25	63.67±0.97 b	16.81±1.05 a	16.14±0.51 a
初样 Initial		53.88±1.37 c	22.29±1.49 b	20.67±0.73 b

表 4 饲料磷含量对黄颡鱼血清生化指标的影响(平均值±标准误)

Table 4 Effect of dietary phosphorus on serum biochemical indicators of *Pelteobagrus fulvidraco* (Means±SE)

饲料组/(kg/t) Diet	生化指标 Index			
	总超氧化物歧化酶/(U/mL) Serum T-SOD	碱性磷酸酶/(U/100 mL) Serum ALP	血磷/(mmol/L) Serum P	血钙/(mmol/L) Serum Ca
5	8.8±1.4 a	15.6±3.6	9.6±0.5	1.7±0.3
15	15.2±1.4 b	10.7±3.6	9.4±0.6	1.6±0.3
25	13.8±1.4 a	14.2±3.6	10.0±0.6	1.8±0.3

2.4 水体总磷含量

经不同磷含量的饲料饲养黄颡鱼后,5P、15P、25P 3个试验组的水体总磷含量分别为 2.24 ± 0.96 、 2.86 ± 1.16 、 2.46 ± 1.16 mg/L,没有显著性差异。

3 讨论

试验发现摄食磷酸二氢钙 15 kg/t 的试验鱼摄食率和饲料效率均高于摄食 5 kg/t 和 25 kg/t 的试验鱼,这可能是导致摄食 15 kg/t 的试验鱼的终末体质量、特定增长率以及增重率均高于另外 2 组试验鱼的原因。李敬伟等^[11]对初始体质量为 4.38 g 的黄颡鱼进行了网箱养殖试验,发现饲料磷含量对黄颡鱼幼鱼的生长有极明显的影响,对饲料磷的适宜需要量为 1.67%~1.78%。由本次试验结果可知,当商用饲料中磷酸二氢钙的添加量从通常的 25 kg/t 减少为 15 kg/t 时,不会对黄颡鱼幼鱼的生长造成负面影响。

鱼类对钙、磷的需要量,比对其他无机营养元素的需要量大得多。当饲料中磷的含量不足时,鱼类就会表现出一系列的症状,比如鱼体脂肪含量升

高^[12]、食欲减退、钙大量流失、生长缓慢、水分下降、鱼体骨骼含量下降甚至死亡等。在本试验中摄食 25 kg/t 和 15 kg/t 磷酸二氢钙的饲料的黄颡鱼幼鱼蛋白质含量要显著高于摄食 5 kg/t 的幼鱼,结合生长表现来看,当饲料中磷酸二氢钙的添加量减少到每吨饲料 5 kg 时,饲料中的磷含量已经不能满足鱼体的需求,导致生长减缓、体蛋白贮积减少。

超氧化物歧化酶(SOD)作为抗氧化系统中关键性酶,不但在清除体内的自由基、防御机体衰老及防止生物分子损伤等方面具有极为重要的作用,也是机体免疫调节的重要组成部分^[13]。当酶活性降低时,生物体内会出现自由基量过多,势必扰乱、破坏一些体内重要生化过程,导致代谢混乱、正常生理功能失调、体内免疫水平下降、潜在的病原被激活、许多疾病也逐步产生和形成^[14]。王宏伟等^[15]报道随着对硫磷浓度的增加,中华米虾的受毒害程度会增大,中华米虾肌肉中的 SOD 活力会呈现先增加后降低的趋势。在本试验中,15 kg/t 组试验鱼 SOD 活性显著高于 5 kg/t 组和 25 kg/t 组试验鱼,与王宏伟等人的报道一致,表明饲料中磷的含量显著影响

超氧化物歧化酶的活性。

碱性磷酸酶(ALP)是一种多功能酶,它能水解多种磷酸酯单脂酶的底物,还在水生动物的骨骼矿化方面起着重要的作用^[16-18]。有研究表明,鱼体内磷缺乏会导致碱性磷酸酶活性降低^[19-20]。然而 Skonberg 等^[21]用不同含磷量的饲料饲养虹鳟的试验结果表明,不管是在血浆中还是在肠道中,碱性磷酸酶活性差别都很大,其活性与饲料含磷量多少无关。本试验也表明饲料中磷含量的增加没有显著地影响碱性磷酸酶的活性。

本试验中,血磷和血钙的水平在各饲料组之间无显著性差异,这有可能是与采样的时间有关。有研究表明,血清中磷和钙的含量与摄食后取样时间相关,Skonberg 等^[21]从饥饿了 1.5 d 的虹鳟(体质量 1.9 ~ 5.3 g)提取血清,发现不同磷含量试验组的鱼血磷含量基本上没有区别;Vielma 等^[22]报道停止进食 4 h 和 24 h 的鱼血磷水平具有显著性差异。本试验取样是在饲养试验结束后,将试验鱼饥饿 24 h 后采集的,该样本中血清磷和钙的含量已经不能反映鱼体的摄食状况。

食物残渣、没有消化完全的饲料、鱼虾的粪便、尿液及其他代谢产物是水产养殖中磷污染的主要来源^[2]。其中饲料残渣和粪便是首要的磷污染源。低磷饲料,能在维持与常规饲料相似的生长率下减少磷的排泄水平。在本试验中投喂 3 种不同磷含量的饲料后水体中总磷差异不太大。原因主要有以下几点:①所有的试验鱼都饲养在 397 L 的有机玻璃纤维缸中,饲养试验开始时每缸中只饲养 15 尾鱼,初始均质量为 3.2 g,试验结束时所有鱼的终末均质量为 4.6 g,并且部分缸中有鱼死亡。因此排入水中的磷十分有限,并不会对水中的总磷有太大影响。②投喂的饲料为膨化饲料,水稳定性好,因此饲料中的磷不易进入水体。③整个饲养试验中采用的是流水养殖系统,水体中的磷随水的更新流失也比较大,在采集水样时只停止进出水 1 d,这对测定的水中总磷含量可能也会产生影响。

本试验中,投喂不同磷含量的饲料后,摄食 15 kg/t 的试验鱼的特定生长率、增重率、终末体质量、摄食率和饲料效率要高于其他 2 组;同时,粗蛋白含量最高,粗脂肪含量最低,粗灰分含量最高。商用饲料 25 kg/t 水平在黄颡鱼营养供求上虽然满足,但是相比最经济的磷添加量显得较高,在 15 kg/t 至 25 kg/t 的饲料配比之间精确地确定磷的含量能够

减少饲料的成本,同时,血清超氧化物歧化酶也能够保持最佳的活性。因此,我们推荐在现有的黄颡鱼商业饲料基础上,可以将饲料中磷酸二氢钙的添加量从 25 kg/t 减少为 15 kg/t 左右,以减少饲料成本和减轻潜在的养殖水体磷的污染,从而实现生态和生产效应。因此,饲料中适量的磷添加量不仅能够有效节约成本,而且对鱼的健康成长、环境调控和污染治理也有重大的意义。

致谢 华中农业大学水产学院徐淋波和沈琪同学在本试验中协助养殖并进行了一系列分析,特此致谢!

参 考 文 献

- [1] 陈冰,潘庆,郑卫川,等. 饲料中不同钙磷比对奥尼罗非鱼幼鱼生长性能的影响[J]. 饲料工业,2007,28(18):25-27.
- [2] 张松. 异育银鲫含肉骨粉饲料中磷的利用研究[D]. 北京:中国科学院研究生院,2006.
- [3] HAKASON L, CARLLSON L. Fish farming in lakes and acceptable total phosphorus loads: calibrations, simulations and predictions using the LEEDS model in Lake Southern Bullaren, Sweden [J]. Aquatic Ecosystem and Health Management, 1998(1):1-24.
- [4] TYRRELL T. The relative influences of nitrogen and phosphorus on oceanic primary product [J]. Nature, 1999, 400:525-531.
- [5] MAINSTON C P, PARR W. Phosphorus in rivers ecology and management [J]. Science of the Total Environment, 2002, 282: 25-47.
- [6] 黄峰,严安生,熊传喜,等. 黄颡鱼的含肉率及鱼肉营养评价[J]. 淡水渔业, 1999, 29(10):3-6.
- [7] 宋立民,袁立来,刘肖莲,等. 2 种鉴定黄颡鱼三倍体个体方法的比较[J]. 华中农业大学学报, 2009, 28(2):207-209.
- [8] 于艳梅,吴志新,陈孝焯,等. 魔芋甘露寡糖对黄颡鱼非特异性免疫功能及生长的影响[J]. 华中农业大学学报, 2010, 29(3): 351-355.
- [9] 周金敏,吴志新,曾令兵,等. 黄颡鱼肠道及养殖水体中菌群的分析[J]. 华中农业大学学报, 2010, 29(5):613-617.
- [10] 孟小亮,陈昌福,高宇,等. 1 株黄颡鱼肠道益生菌的筛选与鉴定[J]. 华中农业大学学报, 2010, 29(2):208-212.
- [11] 李敬伟,李文宽,闫有利,等. 黄颡鱼钙、磷需要量的研究[J]. 河北渔业, 2008, 173(5):13-16.
- [12] TAKEUCHI M, NAKAZON J. Effect of dietary phosphorus level on lipid and its composition in carp [J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1981, 47:347-352.
- [13] 吴天利,李广丽,师尚丽,等. 镉胁迫对凡纳滨对虾血清中一氧化氮合成酶和超氧化物歧化酶活性的影响[J]. 热带海洋学报,

2008,27(6):62-65.

- [14] 丁美丽, 林林, 李光友, 等. 有机污染对中国对虾体内外环境影响的研究[J]. 海洋与湖沼, 1997, 28(1): 17-21.
- [15] 王宏伟, 蔡端波, 霍艳高, 等. 对硫磷胁迫下镉对中华米虾 SOD 活性的影响[J]. 河北大学学报: 自然科学版, 2009, 29(1): 81-84.
- [16] DONACHY J E, WATABE N, SHOWMAN R M. Alkaline phosphatase and carbonic anhydrase activity associated with arm regeneration in starfish *Asterias forbesi* [J]. Marine Biology, 1990, 105: 471-476.
- [17] OLSEN R L, OVERBO K, MYRNES B. Alkaline phosphatase from the hepatopancreas of shrimp (*Pandalus borealis*): a dimeric enzyme with catalytically active, subunits [J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 1991, 99: 755-761.
- [18] BLASCO J, PUPPPO J, SARASQUETE M C. Acid and alkaline phosphatase activities in the clam *Ruditapes philippinarum* [J]. Marine Biology, 1993, 115: 113-118.
- [19] EYA J C, LOVELL R T. Available phosphorus requirements of food-size channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fed practical diets in ponds [J]. Aquaculture, 1997, 154: 283-291.
- [20] EYA J C, LOVELL R T. Effects of dietary phosphorus on resistance of channel catfish to *Edwardsiella ictaluri* challenge [J]. Journal of Aquatic Animal Health, 1998, 10: 28-34.
- [21] SKONBERG D I, YOGEV L, HARDY R W, et al. Metabolic response to dietary phosphorus intake in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture, 1997, 157: 11-24.
- [22] VIELMA J, LALL S P, KOSKELA J, et al. Effects of dietary phytase and cholecalciferol on phosphorus bioavailability in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture, 1998, 163: 309-323.

Influence of dietary phosphorus levels on growth performance, body composition, and serum biochemical indicators of juvenile *Pelteobagrus fulvidraco*

TANG Qin¹ LIAO Quan-zhong² ZENG Jie¹ WANG Chao-fan¹
LEI Xue-wen¹ WANG Chun-fang¹

1. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;
2. Yueyang Zhanxiang Biological Science and Technology Corporation, Yueyang 414000, China

Abstract In order to reduce the phosphorus content in the effluent and adjust the phosphorus content in artificial feed for aquaculture, a growth trial was conducted to estimate the effects of dietary phosphorus levels on growth performance, whole body composition, and serum biochemical indicators of juvenile yellow-headed catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). Three extruded diets (commercial yellow-headed catfish diet-based) were formulated to contain $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ levels at 25, 15, 5 kg/t of diet (kg of $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2/\text{t}$), respectively. Each diet was fed to triplicate groups of 15 fish (initial average body weight of 3.2 g) over 4 weeks. At the end of the trial, specific growth rate (SGR) and weight gain (WG) of the fish fed with the diet containing 15 kg/t was significantly higher than the other groups ($P < 0.05$). Body crude protein content of the fish fed with the diet containing 25 kg/t had significantly increased compared with those fed the diet containing 5 kg/t ($P < 0.05$), whereas both of them did not have significant difference between 15 kg/t treatment groups ($P > 0.05$). Serum superoxide dismutase (T-SOD) of the fish fed with the diet containing 15 kg/t was significantly higher than the other 2 dietary treatments ($P < 0.05$). There was no significant difference in alkaline phosphatase (AKP), calcium, and phosphorus in serum among 3 dietary treatments ($P > 0.05$). The results suggested that phosphorus content in the current commercial feed for juvenile yellow headed catfish could be reduced from 25 to 15 kg/t, and the growth performance, body composition, and immunity of this fish would not be diminished.

Key words *Pelteobagrus fulvidraco*; dietary phosphorus; growth; serum biochemical indicators
(责任编辑:边书京)