

文章编号: 1004 - 7271(2008)02 - 0199 - 05

花鲢对饲料中不同无机磷源的利用率

赵朝阳^{1,2}, 周洪琪², 徐 跑¹, 陈建明³, 叶金云³, 李红霞¹

(1. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 江苏 无锡 214081;

2. 上海水产大学生命科学与技术学院, 上海 200090;

3. 浙江省淡水水产研究所, 浙江 湖州 313001)

摘 要:在以进口鱼粉和豆粕为蛋白源的基础饲料中分别添加磷酸二氢钙(MCP)、磷酸氢钙(DCP)、磷酸钙(TCP)制成总磷含量为 0.91% 的饲用饲料, 饲养 11 g 左右的花鲢 8 周, 研究饲料中不同磷源对花鲢幼鱼的生长, 全鱼、脊椎骨和鳞片的灰分、钙、磷含量, 以及总磷表观消化率的影响。结果表明, 不同无机磷源对花鲢的增重率、饲料效率有显著影响($P < 0.05$), MCP 组、DCP 组的相对增重率分别比 TCP 组提高 24.86%、13.75%, MCP 组的饲料效率比 TCP 组提高 15.47%; MCP、DCP、TCP 组全鱼、脊椎骨及鳞片的灰分、磷含量差异显著($P < 0.05$), MCP 组全鱼、脊椎骨及鳞片的灰分、磷含量最高, 显著高于 TCP 组, 各组全鱼、鳞片的钙含量无显著差异; 花鲢对不同磷源的总磷表观消化率存在显著差异($P < 0.05$), MCP 的表观消化率最高, MCP 组、DCP 组总磷表观消化率比 TCP 组分别提高 85.97% 和 42.90%。综合来看, 在 3 种无机磷源中, MCP 作为花鲢饲料中无机磷源的利用效果最佳, 其次是 DCP, 而 TCP 则效果相对较差。

关键词:花鲢; MCP; DCP; TCP; 表观消化率

中图分类号: S 963.1 文献标识码: A

Availability of phosphorus in various inorganic phosphorus sources in dietary of *Hemibarbus maculatus* Bleeker

ZHAO Chao-yang^{1,2}, ZHOU Hong-qi², XU Pao¹, CHEN Jian-ming³, YE Jin-yun³, LI Hong-xia¹

(1. Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Science, Wuxi 214081, China;

2. College of Aqua-life Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China;

3. Zhejiang Institute of Freshwater Fisheries, Huzhou 313001, China)

Abstract: By use of fish meal and soybean meal as protein source, added with monobasic calcium phosphates (MCP), dibasic calcium phosphates (DCP), tribasic calcium phosphates (TCP) as different inorganic source of phosphorus respectively to formulate experimental diets (Total P of 0.91%), each treatment with triplicate groups of *Hemibarbus maculatus* Bleeker (initial weight about 11 g) was fed to satiation for 8 weeks. A study was conducted to investigate the effects of different phosphorus resources on growth, ash, calcium and phosphorus content of whole body, vertebrae and scale of *Hemibarbus maculatus* Bleeker. The results showed that the growth and feed efficiency of spotted steed were significantly affected by different inorganic sources of

收稿日期: 2007-06-23

基金项目: 浙江省科技厅项目 (2005F13003)

作者简介: 赵朝阳 (1976 -), 男, 湖北荆州人, 硕士, 助理研究员, 主要从事水产动物营养和饲料学方面的研究。0510 - 85550702, zhaocy@ffrc.cn

通讯作者: 周洪琪, Tel: 021 - 65710017, E-mail: hqzhou@shfu.edu.cn

phosphorus ($P < 0.05$) . Weight gain rate of MCP, DCP group were improved 24.86% , 13.75% higher than that of TCP group respectively. Feed efficiency of MCP group was improved 15.47% higher than that of TCP group. Effects of different phosphorus sources on ash and phosphorus content in whole body, vertebrae, scale of *Hemibarbus maculatus* Bleeker were significantly different except for calcium content. Ash and phosphorus content in whole body, vertebrae, scale of MCP group were the highest, higher than those of TCP group significantly. Apparent phosphorus digestibility of spotted steed was significantly affected by different inorganic source of phosphorus ($P < 0.05$) , which in MCP group was the highest. Apparent phosphorus digestibility of MCP group and DCP group were improved 85.97% , 42.90% more than that of TCP group respectively. From all above three criteria, it was suggested that MCP was the best dietary inorganic phosphorus source for *Hemibarbus maculatus* Bleeker, and DCP was also ideal dietary inorganic phosphorus source, but TCP was relatively inferior.

Key words: *Hemibarbus maculatus* Bleeker; MCP; DCP; TCP; apparent phosphorus digestibility

磷是鱼类营养需求中重要的矿物元素,水中含磷量很少,为满足鱼类对磷的需求,必须在饲料中添加含磷矿物质。含磷矿物质饲料的种类很多,但不同含磷矿物质饲料对鱼类的营养价值是不相同的,鱼类对来自不同无机磷源的磷其利用率也不一致,由此产生了无机磷源生物学效价这一新指标。但迄今为止,对于饲料不同无机磷源在鱼体内生物学效价的研究,国内外仅对鲤(*Cyprinus carpio*)^[1-2]、罗非鱼(*Tilapia nilotica*)^[2]、斑点叉尾鲟(*Ictalurus punctatus*)^[3]、虹鳟(*Oncorhynchus mytiss*)^[4]、非洲鲇(*Silurus asotus*)^[5]、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)^[6]等少数种类有所研究,为此,本试验选择配合饲料中常见的3种无机磷源:磷酸二氢钙[Monobasic calcium phosphates,简称MCP,分子式为 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$]、磷酸氢钙[Dibasic calcium phosphates,简称DCP,分子式为 $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$]、磷酸钙[Tribasic calcium phosphates,简称TCP,分子式为 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$],通过花鲢饲养试验,检测鱼的生长、骨灰分、钙、磷含量以及总磷表观消化率,对不同磷酸盐进行营养学评价,旨在为花鲢饲料中有效磷源的合理选择、科学使用,降低磷对水环境的污染提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

花鲢(*Hemibarbus maculatus* Bleeker)幼鱼(11g左右)由浙江省淡水水产研究所提供。

1.2 试验饲料

基础饲料是以进口鱼粉和豆粕为蛋白源、混合油脂(鱼油:豆油=1:1)为脂肪源、面粉为糖源、复合维生素及无机盐为原料制作而成的低磷实用饲料,蛋白和脂肪水平参照已有花鲢对蛋白和脂肪需要量的研究结果设计饲料配方,基础饲料的原料组成及营养成分如表1。

1.3 饲养管理

试验在浙江省淡水水产研究所进行,将270尾花鲢随机分为3组,每组设3个重复。分别放入9个圆柱形玻璃钢水箱(容积为500L,盛水300L)中,每箱30尾,每组试验鱼的初始体重经方差检验,各组间无显著差异($P > 0.05$)。先用基础饲料驯养试验鱼1周,试验开始后3组分别投喂添加MCP、DCP、TCP的试验饲料,每天投喂3次,投喂量以饱食为原则,并随其吃食情况而调整,日投喂量占鱼体总重4%~5%,试验鱼每2周称重1次以调整投喂量。饲养8周后,随机取样测定相关指标,接着投喂添加0.5% Cr_2O_3 的饲料1周,采用自动虹吸法收集粪便,分析总磷的表观消化率。试验用圆柱形水箱都配有溢流系统及增氧装置,每天清晨、晚上各排污1次,换水量为原池的250%。试验期间定期监测水质,连续充气使水中溶氧量保持5.0mg/L以上,氨氮控制在0.5mg/L以下,使整个饲养期间的水质符合养殖标准。试验期水温为23~28℃,试验水体钙、磷含量分别为35.7mg/L,0.05mg/L。

表 1 基础饲料配方及营养组成
Tab.1 Formulation and proximate chemical composition of the basal diet (% dry matter)

配方成分	含量(%)	营养组成(%)	含量(%)
进口鱼粉	28	粗蛋白	38.56
豆粕	28	粗脂肪	4.97
面粉	30	钙 c	1.02
鱼油	1.1	磷	0.60
豆油	1.1	褐藻酸钠	1
氯化胆碱	0.5	混合维生素 ^①	2
混合无机盐 ^②	4	纤维素	4.3

注:①复合维生素(mg 或 IU/kg):维生素 A, 2 500;维生素 D₃, 1 200;维生素 K₃, 10;维生素 E, 50;维生素 B₁, 10;维生素 B₂, 10;维生素 B₆, 20;维生素 B₁₂, 0.15;烟酸, 40;叶酸, 5;泛酸钙, 20;肌醇, 400;生物素, 1.0;维生素 C, 200。

②复合矿物质(mg/kg):硫酸镁, 50;硫酸亚铁, 15;氯化钾, 235.65;氯化钙, 420;氯化钠, 265;碘化钾, 0.14;硫酸锌, 10;硫酸锰, 0.7;硫酸铜, 0.75;亚硒酸钠, 0.06;氯化钴, 0.7。

分别在基础饲料中添加不同无机磷源 MCP、DCP、TCP 配成 3 组总 P 含量均为 0.91% 的试验饲料, 添加适量石粉调节钙水平各组钙含量均为 1.02%。做消化吸收试验时, 各试验饲料中添加 0.5% Cr₂O₃ 作为指示剂。

1.4 测定

1.4.1 样品的收集与制备

取脊椎骨, 70 °C 烘 24 h。然后用乙醚浸泡脱脂, 2 周后取出, 105 °C 烘干, 研碎。试验结束后, 混匀每个重复的粪样, 置于 65 ~ 70 °C 恒温箱内烘至恒重, 粉碎过 40 目筛, 密封装袋, 低温保存, 以备分析用。

1.4.2 生长及组织灰分、钙和磷的含量

按以下公式计算花鲮的相对增重率、特定生长率、饲料效率。相对增重率(WG, %) = (平均末重 - 平均初重)/平均初重 × 100; 特定生长率(SGR, %) = (Ln 平均末重 - Ln 平均初重)/试验天数 × 100; 饲料效率(FE, %) = 体增重/摄食量 × 100; 采用国标法测定花鲮全鱼、脊椎骨、鳞片的灰分、钙和磷含量。

1.4.3 总磷表观消化率和相对生物效价测定

采用湿式灰化定量法^[7]测定饲料及粪便中 Cr₂O₃ 的含量, 采用钼蓝比色法测定饲料及粪便中的磷含量(GB/T 6437 - 2002), 计算花鲮对不同磷源磷酸二氢钙(MCP)、磷酸氢钙(DCP)、磷酸钙(TCP)的总磷表观消化率。总磷的表观消化率 = [1 - (饲料中 Cr₂O₃ 含量 × 粪便含磷量)/(饲料含磷量 × 粪便中 Cr₂O₃ 含量)] × 100; 相对生物效价(%) = 待测磷源的量化反应/参照磷源的量化反应 × 100%。

1.5 统计分析

采用 SPSS 11.5 软件(Oneway Linear Model)对所得试验数据进行单因素方差分析, 用 Duncan 氏多重比较分析组间差异显著性程度。

2 结果

2.1 不同磷源对花鲮生长的影响

由表 2 结果可知饲养 8 周后, 不同无机磷源对花鲮的增重率、特定生长率、饲料效率有显著影响(P < 0.05), TCP 组的相对增重率和特定生长率显著低于 DCP 组和 MCP 组, MCP 组、DCP 组的相对增重率分别比 TCP 组提高 24.86% 和 13.75%。MCP 组、DCP 组的特定生长率分别比 TCP 组提高 9.17% 和 16.67%。TCP 组的饲料效率与 MCP 组差异显著, MCP 组比 TCP 组的饲料效率提高 15.47%。以体增重为指标的各无机磷源 MCP、DCP、TCP 生物学效价分别为 100、91.10、80.09。

2.2 不同磷源对花鲮组织灰分、钙、磷含量的影响

不同磷源对花鲮全鱼灰分、磷含量影响显著(表 3), MCP 组、DCP 组的全鱼灰分、磷含量比 TCP 组有显著提高(P < 0.05), MCP 组和 DCP 组的全鱼灰分和磷含量无显著性差异。不同磷源对全鱼钙含量无显著影响(P > 0.05)。以全鱼灰分含量为指标, 各无机磷源 MCP、DCP、TCP 的生物学效价分别为 100、93.49 和 79.69。

表 2 饲料中添加不同磷源对花鲮生长的影响
Tab. 2 Effects of various phosphorus sources on growth of *Hemibarbus maculatus* Bleeker

磷源	平均初重(g)	平均末重(g)	相对增重率(%)	特定增长率(%/d)	饲料效率(%)
TCP	11.13 ± 0.15	21.52 ± 0.54	95.51 ± 5.60 ^b	1.20 ± 0.15 ^b	44.41 ± 1.78 ^b
DCP	11.08 ± 0.10	23.11 ± 0.31	108.64 ± 1.90 ^a	1.31 ± 0.63 ^a	47.04 ± 1.56 ^{ba}
MCP	11.01 ± 0.39	24.40 ± 0.59	119.25 ± 4.53 ^a	1.40 ± 0.72 ^a	51.28 ± 2.03 ^a

注:表中同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),下同。

表 3 不同磷源对花鲮全鱼、脊椎骨、鳞片灰分、钙、磷含量的影响
Tab. 3 Effects of various phosphorus sources on ash calcium and phosphorus content of whole body, vertebrae and scale of *Hemibarbus maculatus* Bleeker (g/100g)

磷源	全鱼			脊椎骨			鳞片		
	粗灰分	磷	钙	粗灰分	磷	钙	粗灰分	磷	钙
TCP	11.26 ± 0.60 ^b	2.15 ± 0.14 ^b	3.11 ± 0.27	50.06 ± 0.51 ^b	8.83 ± 0.17 ^b	17.34 ± 0.17 ^b	18.45 ± 0.67 ^b	3.43 ± 0.22 ^b	6.02 ± 0.21
DCP	13.21 ± 0.43 ^a	2.49 ± 0.57 ^a	3.19 ± 0.34	52.44 ± 0.24 ^a	9.34 ± 0.32 ^{ab}	18.68 ± 0.44 ^a	19.10 ± 0.32 ^b	3.81 ± 0.16 ^{ab}	6.13 ± 0.25
MCP	14.13 ± 0.43 ^a	2.53 ± 0.21 ^a	3.29 ± 0.43	53.16 ± 0.23 ^a	9.65 ± 0.40 ^a	19.19 ± 0.35 ^a	20.74 ± 0.40 ^a	3.96 ± 0.61 ^a	6.16 ± 0.22

不同磷源对花鲮脊椎骨灰分、磷、钙含量影响显著(表 3),MCP 组和 DCP 组的脊椎骨灰分、钙含量显著高于 TCP 组($P < 0.05$),前两组脊椎骨的灰分和钙含量无显著性差异。MCP 组的脊椎骨磷含量最高,显著高于 TCP 组,但是,与 DCP 组无显著差异。以脊椎骨灰分含量为指标的各无机磷源 MCP、DCP、TCP 生物学效价分别为 100、98.65、94.17。

不同磷源对花鲮鳞片灰分、磷含量影响显著(表 3)。MCP 组鳞片灰分含量显著高于 DCP 组、TCP 组($P < 0.05$)。MCP 组鳞片磷含量最高,显著高于 TCP 组,但是与 DCP 组无显著差异。各组鳞片钙含量无显著差异($P > 0.05$)。以鳞片灰分含量为指标的各无机磷源 MCP、DCP、TCP 生物学效价分别为 100、92.09、88.96。

2.3 花鲮对不同磷源总磷的表观消化率

不同磷源对花鲮的总磷表观消化率影响显著($P < 0.05$,表 4),MCP 的总磷表观消化率最高, MCP 的生物学效价最高,其次为 DCP,仍以 TCP 明显偏低。MCP 组、DCP 组总磷表观消化率比 TCP 组分别提高 85.97% 和 42.90%。以表观消化率为指标的各无机磷源 MCP、DCP、TCP 生物学效价分别为 100、76.84、53.77。

表 4 花鲮对不同磷源的总磷表观消化率
Tab. 4 Effects of various phosphorus sources on apparent phosphorus digestibility of *Hemibarbus maculatus* Bleeker

磷源	饲料中 Cr_2O_3 含量(g)	饲料中 P 含量(g)	粪中 Cr_2O_3 含量(%)	粪中 P 含量(g)	总磷表观消化率(%)
TCP	0.495 2	0.917 0	1.73 ± 0.04	2.26 ± 0.16	29.58 ± 2.02 ^c
DCP	0.498 0	0.910 3	1.64 ± 0.11	1.73 ± 0.18	42.27 ± 3.09 ^b
MCP	0.495 6	0.920 5	1.75 ± 0.09	1.45 ± 0.30	55.01 ± 5.18 ^a

3 讨论

3.1 不同磷源以体增重及骨灰分为指标的营养学评价

本试验以体增重作为无机磷源生物学效价评定指标时,测得的 MCP、DCP、TCP 生物学效价分别为 100、91.10、80.09 差异不是十分显著,原因在于鱼体增重的快慢受多方面因素的影响,因此,以体增重为指标时灵敏度相对较低。不同磷酸盐饲喂花鲮的效果差异在于磷酸盐的化学结构不同,其化学存在形式显著影响着磷的生物学利用率;另外溶解度也影响着磷的利用,通常磷酸盐的溶解度越高,磷的利用率则越高。鱼类对饲料中常见无机磷源磷酸二氢钠、磷酸二氢钾和磷酸二氢钙的利用率高,而磷酸氢钙和磷酸钙的利用率变异大,鱼类对它们的利用也比磷酸二氢盐差^[8]。

骨灰分是研究钙、磷营养时体现钙、磷沉积量的常用参数。本试验分别以全鱼灰分含量、脊椎骨灰分含量、鳞片灰分含量为指标的各无机磷源 MCP、DCP、TCP 生物学效价与以体增重为指标的结果相似,均表明磷酸二氢钙是花鲮较好的磷源,其次是磷酸氢钙,磷酸钙的效果相对较差。这一结论与国外学者测定鲤^[2]、罗非鱼^[2]、斑点叉尾鲴^[3]对不同磷酸盐磷的利用率结果所表现出的规律基本一致。

3.2 不同磷源以表观消化率为指标的营养学评价

在以鱼为对象研究无机磷源生物学效价的试验报道中,采用磷存留率为指标的甚少,这与对畜禽的研究情况不同^[9],而磷的表观消化率代表了鱼消化道对磷源中磷的消化吸收,比增重更直接地反映出磷的可利用性。本实验以表观消化率为指标的各无机磷源中 MCP 的生物学效价最高,其次为 DCP,仍以 TCP 明显偏低,与杨雨虹等^[1]对鲤、Mgbenka 等^[5]对非洲鲇的研究结果相符,显然以表观消化率为评定指标明显比体增重、脊椎骨灰分等指标的灵敏度高。花鲮对 MCP、DCP、TCP 表观消化率的差异,可能与鲤科鱼类无胃的生理学特点有关,没有胃酸的分泌使其对水溶性 MCP 的磷利用率较好。鱼类对磷的利用率很大程度上取决于消化道结构,有胃鱼和无胃鱼对饵料磷的利用明显不同^[10],对溶解度低的磷酸盐,有胃鱼的利用比无胃鱼好^[11]。Yone 和 Toshima^[12]研究表明,鲤几乎不能利用鱼粉中以 TCP 形式存在的不溶性磷。当然由于没有对内源磷排泄进行校正,以表观消化率作为评定饲料磷有效率的指标时,其所测值比真消化率要低,磷的真消化率在理论上更能准确反映饲料中磷源被动物利用的真实情况,但鱼类所处的水环境使得内源磷的测定难以在实际中推广。

3.3 花鲮对 MCP、DCP、TCP 利用率的综合评定

本研究采用体增重、骨灰分含量、总磷表观消化率三项指标平均值作为评定的综合指标,测得 MCP、DCP、TCP 的生物学效价分别为 100、88.86、76.01,表明此三种磷源的利用率以 MCP 最高,其次为 DCP, TCP 最低。鉴于 MCP 的利用率最高,提倡在水产饲料中全部使用 MCP,尽量少用或不用其他磷源。虽然表面看 MCP 的价格比 DCP、TCP 要高,但从磷含量和利用率的角度及吸收一个百分点磷的单价看, MCP 具有显著优势^[13],袁万安和刘本祥^[14]在长薄鳅的养殖试验中也发现用大量的 DCP 取代 MCP 作饲料的磷源,会严重影响鱼类生长,增加养殖成本。而且使用 MCP 由于用量减少,可利用率高,排出鱼体外污染水体的量就少,利于保护生态环境,促进水产养殖可持续发展。

参考文献:

- [1] 杨雨虹,郭庆,韩英,等. 鲤鱼饲料中不同来源的磷表观消化率的测定[J]. 东北农业大学学报,2005,36(6):762-766.
- [2] Viola S, Arieli J, Zohar G. Phosphorus levels and sources for complete feeds for carp and tilapia[J]. Fisheries and Fishbreeding in Israel Haifa, 1986, 19(3):25-38.
- [3] Li M H, Robinette H R, Robinson E H. Efficacy of dicalcium and defluorinated rock phosphates as dietary phosphorus sources for channel catfish(*Ictalurus punctatus*) [J]. Aquaculture, 1996, 147(1-2):107-114.
- [4] Ogino C, Takeda H. Requirements of rainbow trout for dietary calcium and phosphorus[J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1978, (44):1019-1012.
- [5] Mgbenka B O, Uqwu L L C. Aspects of mineral composition and growth rate of the hybrid African catfish fry fed inorganic phosphorus-supplemented diets[J]. Aquaculture Research, 2005, 36(5):479-485.
- [6] 王志忠, 轩子群, 孙栋, 等. 草鱼种对不同磷酸盐和不同矿物饲料的优选实验[J]. 齐鲁渔业, 2005, 22(11):39-42.
- [7] 李爱杰. 水产动物营养与饲料学[M]. 北京:中国农业出版社, 2000:118-119.
- [8] 曾红, 任泽林. 鱼类的营养需要(NRC) [M]. 北京:中国农业科技出版社, 1993.
- [9] 尹兆正, 洪建伟, 李肖梁, 等. 日粮不同无机磷源在肉雏鸡体内生物学效价的比较研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2002, 28(5):565-568.
- [10] Jahan P, Watanabe T, Kiron V, et al. Improved carp diets based on plant protein sources reduce environmental phosphorus loading[J]. Fisheries Science, 2003, (69):219-225.
- [11] Ogino C, Takeuchi L, Takeda H, et al. Availability of dietary phosphorus in carp and rainbow trout[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1979, (45):1527-1532.
- [12] Yone Y, Toshima N. The utilization of phosphorus in fish meal by carp and black sea bream[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1979, (45):753-756.
- [13] 孙秉忠, 李光明. 配合饲料选择磷源新观点[J]. 辽宁畜牧兽医, 1999, 3:22.
- [14] 袁万安, 刘本祥. 磷酸氢钙在长薄鳅养殖生产中的应用试验探讨[J]. 饲料工业, 2000, 21(9):23-24.