

文章编号: 1000-0615(2008)02-0242-07

## 史氏鲟幼鲟对饲料中磷的需要量

文 华<sup>1,2</sup>, 严安生<sup>1</sup>, 高 强<sup>3</sup>, 刘 伟<sup>2</sup>, 危起伟<sup>2</sup>

(1. 华中农业大学水产学院, 湖北 武汉 430070;

2. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 湖北 荆州 434000;

3. 浙江省淡水水产研究所, 浙江 湖州 313000)

**摘要:**通过生长饲养试验研究史氏鲟幼鲟对饲料中磷的需要量。以  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  为磷源, 配制含磷水平分别为 0.18% (对照组), 0.40%, 0.71%, 0.98%, 1.38% 和 1.66% 的 6 组等能等氮纯化饲料, 每组饲料饲喂 3 个重复, 每个重复饲养 20 尾初体质量约为 4.7 g 的幼鲟。经过 8 周的饲养后, 对生长、饲料效率、成活率、幼鲟肌肉常规组成及脊椎骨灰分 and 钙磷含量进行分析。结果表明, 随饲料中磷含量的升高, 鱼体增重率、饲料效率和特定生长率显著增加 ( $P < 0.05$ ), 直至 0.98% 组达最大, 然后随着饲料磷含量的增加, 这些指标显著降低 ( $P < 0.05$ ); 试验各添加组的成活率显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ), 但各添加组间没有显著差异 ( $P > 0.05$ ); 饲料添加磷对鱼体肌肉水分、粗蛋白质和粗脂肪含量无显著影响 ( $P > 0.05$ ); 当饲料磷含量在 0.71% ~ 1.66% 之间时, 脊椎骨中灰分、钙和磷含量差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 但显著高于对照组和 0.40% 试验组 ( $P < 0.05$ )。经过折线回归分析得出, 为维持史氏鲟幼鲟最佳生长和骨骼磷水平, 饲料中磷的需要量为 0.88% ~ 1.00% (占干饲料)。

**关键词:** 史氏鲟; 磷; 需要量

**中图分类号:** Q 591.8; S 963

**文献标识码:** A

磷是鱼类所需要的一种重要的矿物元素, 是构成鱼类骨骼的主要无机成分, 也是核酸和细胞膜的重要组分, 并直接参与细胞中产生能量的各种反应<sup>[1]</sup>。磷还在糖类、脂类和氨基酸代谢和体液缓冲调节过程中发挥重要的作用。鱼类可以从水中直接吸收磷, 但养殖水体中磷的浓度通常有限且吸收率较低, 因此鱼类需要的磷主要从饲料中获取<sup>[2-3]</sup>。同时, 磷又是导致水体富营养化的重要因素, 因而研究鱼类最佳的饲料磷含量, 应在满足其生长需要的前提下, 避免过多的磷被释放到水体。目前大多数养殖鱼类对磷的需要量研究已有报道, 如虹鳟<sup>[4]</sup>、鲤<sup>[5]</sup>、大黄鱼<sup>[6]</sup>、大麻哈

鱼<sup>[7]</sup>、草鱼<sup>[8]</sup>和军曹鱼<sup>[9]</sup>等对饲料磷的需要量大约在 0.50% ~ 0.90%。

史氏鲟 (*Acipenser schrenckii*) 俗名七粒浮子, 隶属鲟形目、鲟科、鲟属, 是一种大型冷水性淡水鱼类, 原产我国黑龙江和俄罗斯部分河流, 被濒危野生动植物种国际贸易公约 (CITES) 列为附录 II 保护鱼类。因其营养价值高, 肉质鲜美, 且其成熟鱼卵是制作鱼籽酱的优良原料, 经济价值很高。目前有关史氏鲟营养方面的研究报道仅涉及史氏鲟对饲料中蛋白质、脂肪、碳水化合物的需要量和能量蛋白比<sup>[10-12]</sup>, 而作为最重要的矿物元素之一磷的需要量研究尚未见报道。试验通过在纯化饲

收稿日期: 2007-01-29

资助项目: 科技部科研院所技术开发研究专项资助 (2003EG134172); 国家公益研究专项资助 (2004DIB3J099); 国家基础性工作重点专项资助 (2002DEA1004)

作者简介: 文 华 (1965 - ), 男, 湖北荆州人, 副研究员, 博士研究生, 主要从事水产动物营养与饲料研究。Tel: 0716 - 8128255, E-mail: wenhua\_hb@163.com

通讯作者: 危起伟, Tel: 0716 - 8128881, E-mail: weiqw@yfi.ac.cn

料中添加  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , 设置不同梯度的磷, 研究史氏鲟幼鲟对磷的需要量, 为史氏鲟幼鲟配合饲料研究和开发提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

史氏鲟幼鲟由中国水产科学研究院长江水产研究所中华鲟繁殖驯养基地提供, 初始体质量为  $(4.7 \pm 0.2)$  g。试验选择的磷源为分析纯的  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , 钙含量为 16.2%, 磷含量为 22.45%; 酪蛋白, 明胶, 糊精, 微晶纤维素, 维生素和矿物盐均选用分析纯试剂; 大豆油和玉米油为购自超市的食用油。

### 1.2 试验饲料及试验分组

饲料是以酪蛋白和明胶为蛋白源, 以糊精为糖源, 以大豆油和玉米油为脂肪源的纯化饲料。饲料中混合矿物盐、混合维生素参照文献[13]的方法略作改动。饲料中  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  分别按

0, 1.2%, 2.4%, 3.6%, 4.8%, 6.0% 添加, 以  $\text{CaCl}_2$  调整饲料钙水平为 1.2% 左右, 以微晶纤维素补足饲料总量一致。试验饲料的组成和磷、钙含量见表 1。按表 1 将各原料进行混合和粉碎, 使其能全部通过 0.45 mm 的分析筛, 再用饲料机制成  $\Phi 2.0$  mm 的颗粒饲料, 置于  $-10^\circ\text{C}$  冰箱保存备用。经测定, 各组饲料中磷实测含量分别为 0.18%, 0.40%, 0.71%, 0.98%, 1.38% 和 1.66%。

试验于 8 月 2 日 - 10 月 20 日在长江水产研究所中华鲟繁殖驯养基地进行。先将 360 尾史氏鲟幼鲟在暂养池中用不添加磷的基础日粮驯养 2 周, 让其适应试验条件和试验饲料, 再随机分在 18 只 400 L 的聚乙烯养殖桶(水体积约 300 L)中。正式饲养时间为 8 周。

试验设 6 组, 每组 3 个重复, 每个重复 20 尾幼鲟, 饲喂已配制好的 6 组史氏鲟幼鲟饲料, 各组试验鱼初始体质量差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

表 1 试验饲料的组成

Tab.1 Compositon of the experimental diets

| 成分 ingredients                                                      | 组别 groups |       |       |       |       |       | %     |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                                                     | 1         | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     |       |
| 基础饲料 basal diet                                                     | 88.25     | 88.25 | 88.25 | 88.25 | 88.25 | 88.25 | 88.25 |
| 复合维生素 vitamin premix                                                | 1.00      | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00  |
| 复合矿物盐 minerals premix                                               | 2.50      | 2.50  | 2.50  | 2.50  | 2.50  | 2.50  | 2.50  |
| 磷酸二氢钙 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | 0         | 1.20  | 2.40  | 3.60  | 4.80  | 6.00  |       |
| 氯化钙 $\text{CaCl}_2$                                                 | 2.35      | 2.04  | 1.74  | 1.44  | 1.13  | 0.83  |       |
| 微晶纤维素 micro-cellulose                                               | 5.90      | 5.01  | 4.11  | 3.21  | 2.32  | 1.42  |       |
| 饲料磷含量 phosphorus level                                              | 0.18      | 0.40  | 0.71  | 0.98  | 1.38  | 1.66  |       |
| 饲料钙含量 calcium level                                                 | 1.21      | 1.22  | 1.23  | 1.25  | 1.37  | 1.39  |       |

注: 1. 基础饲料 (%): 酪蛋白, 45.0; 明胶, 8.0; 糊精, 25.0; 大豆油, 5.0; 玉米油, 5.0; 氯化胆碱, 0.25。2. 复合维生素 ( $\text{mg}$  或  $\text{IU} \cdot \text{kg}^{-1}$  饲料): 维生素  $\text{B}_1$ , 50; 维生素  $\text{B}_2$ , 200; 维生素  $\text{B}_6$ , 50; 泛酸钙, 400; 烟酸, 750; 叶酸, 15; 维生素  $\text{B}_{12}$ , 0.1; 生物素, 5; 肌醇, 2 000; 维生素 C, 325; 维生素  $\text{K}_3$ , 40; 维生素 E, 100; 维生素  $\text{D}_3$ , 2 000 IU; 维生素 A, 5 000 IU。3. 复合矿物盐 ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  饲料):  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 350;  $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , 40;  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 80;  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 12;  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 15;  $\text{KIO}_3$ , 5;  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 1 000;  $\text{NaCl}$ , 5 000;  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ , 6

Notes: 1. basal diet (%): casein, 45.0; gelatin, 8.0; dextrin, 25.0; soybean oil, 5.0; maize oil, 5.0; choline chloride, 0.25. 2. vitamin premix ( $\text{mg}$  or  $\text{IU} \cdot \text{kg}^{-1}$  diet): vitamin  $\text{B}_1$ , 50; vitamin  $\text{B}_2$ , 200; vitamin  $\text{B}_6$ , 50; Ca-pantothenate, 400; nicotinic acid, 750; folic acid, 15; vitamin  $\text{B}_{12}$ , 0.1; biotin, 5; inositol, 2 000; vitamin C, 325; vitamin  $\text{K}_3$ , 40; vitamin E, 100; vitamin  $\text{D}_3$ , 2 000 IU; vitamin A, 5 000 IU. 3. minerals premix ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  diet):  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 350;  $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , 40;  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 80;  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 12;  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 15;  $\text{KIO}_3$ , 5;  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 1 000;  $\text{NaCl}$ , 5 000;  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ , 6

### 1.3 饲养条件和管理

试验水源为经过沉淀和过滤后的湖水, 光照为自然光源。试验在大棚(顶部覆盖泡沫板和遮阳网)内进行。每天上、下午各测定水温 1 次, 每周测定水质 1 次。饲养期间, 水温为  $(25.6 \pm 2.0)$

$^\circ\text{C}$ , pH  $(7.6 \pm 0.10)$ ,  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$   $(0.50 \pm 0.13)$   $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $\text{NO}_2^- - \text{N}$   $(0.029 \pm 0.016)$   $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $\text{Ca}^{2+} \leq 0.032$   $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ , 总磷  $\leq 0.098$   $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。水体处于微流状态(流速  $8 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ ), 同时通过空气压缩机使水体溶解氧( $\text{DO}$ )  $\geq 6.0$   $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

试验前 4 周投喂量按鱼体总质量的 3.0% 投喂,后 4 周按 2.0% 投喂,同时参照前一天的吃食情况适当调整投喂量。每天投喂 4 次(7:00, 12:30, 18:00, 22:00),每次分 3 轮投喂,每轮间隔时间为 10 min。投喂完 1.5 h 后用虹吸法清除鱼体排泄物。每 2 周对试验鱼称量一次,根据体质量变化调整饲料投喂量。

#### 1.4 样品采集和检测

饲养试验开始和结束时,禁食 24 h,对每个重复试验鱼进行称量,记录初始体质量和终末体质量,计算其增重率和特定生长率;每天投喂前后称量每个重复投喂饲料质量,试验结束后计算饲料效率;记录各组的死亡情况,计算成活率;随机取 10 尾鱼称量每条鱼体体重长,计算肥满度。

将用于测定肥满度的试验鱼用微波炉处理加热至鱼体熟化后,分离脊柱,干燥,捣碎后去脂制备脱脂干骨<sup>[14]</sup>。饲料和脊椎骨中粗灰分、钙、磷的测定分别按 GB/T 6438-1992 饲料中粗灰分的测定方法、GB/T 6436-2002 饲料中钙的测定方法、GB/T 6437-2002 饲料中总磷的测定采用分光光度法。另从各试验桶中随机取 3 尾鱼,立即处死,取背部肌肉。肌肉中水分、粗蛋白质和粗脂肪含量分别按 GB/T 5009.3-2003 食品中水分的测定方法、GB/T 5009.5-2003 食品中蛋白质的测定方法和 GB/T 5009.6-2003 食品中粗脂肪的测定方法测定<sup>[15]</sup>。

#### 1.5 数据处理

试验数据采用 STATISTICA 6.0 统计软件中单因素方差分析和最小显著差异法(LSD)对史氏鲟幼鱼各项测定指标进行分析处理, $P < 0.05$  即

认为有显著性差异。所有结果均以平均值  $\pm$  标准偏差来表示。

## 2 结果

### 2.1 饲料中磷含量对史氏鲟幼鱼生长性能和饲料效率的影响

饲料中不同磷含量对史氏鲟幼鱼增重率、特定生长率、饲料效率、肥满度和成活率的影响见表 2。由表 2 可得,饲料中磷含量低于 0.98% 时,试验鱼增重率、饲料效率和特定生长率都随着饲料中磷含量的增加而提高;当饲料中磷的含量达到 0.98% 时,增重率、饲料效率和特定生长率都处于最佳值;当饲料中磷含量超过 0.98% 时,其生长效果随着磷水平的提高反而有所下降,饲料中磷的含量超过 1.38% 时各项指标显著低于 0.98% 处理组( $P < 0.05$ )。在本次试验中,对照组的史氏鲟幼鱼摄食情况最差,表现出不活跃,生长缓慢等特征。对照组和 0.40% 处理组间生长差异不显著( $P > 0.05$ ),但显著低于其他四个磷添加组( $P < 0.05$ )。试验各添加组的成活率显著高于对照组( $P < 0.05$ ),但各添加组间没有显著差异( $P > 0.05$ )。试验鱼的肥满度随饲料含量的增加而增加,0.98% 处理组显著高于对照组和 0.40% 处理组( $P < 0.05$ ),但与磷含量 0.71%、1.38% 和 1.66% 试验组差异不显著( $P > 0.05$ )。

以饲料磷含量为自变量( $X$ ),以特定生长率为因变量( $Y$ )作直线回归分析,分别得回归直线方程  $Y = 2.13 + 1.32X$  ( $R^2 = 0.95$ )和  $Y = 4.05 - 0.60X$  ( $R^2 = 0.80$ ),从而求得拐点  $X = 1.00\%$ ,即史氏鲟幼鱼获得最佳生长效果时饲料中磷最适含量为 1.00% (图 1)。

表 2 饲料磷含量对史氏鲟幼鱼生长性能和饲料效率的影响

Tab.2 Effect of dietary phosphorus level on growth performance and feed efficiency of juvenile Amur sturgeon

mean  $\pm$  SD,  $n = 3$

| 饲料磷含量 (%)<br>dietary phosphorus | 初体质量 (g)<br>initial weight | 末体质量 (g)<br>final weight | 增重率 (%)<br>weight gain rate      | 特定生长率<br>(%·d <sup>-1</sup> )<br>specific growth rate | 饲料效率 (%)<br>feed efficiency    | 肥满度 (%)<br>condition factor   | 成活率 (%)<br>survival rate       |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 0.18                            | 4.8 $\pm$ 0.20             | 18.97 $\pm$ 0.62         | 295.90 $\pm$ 21.25 <sup>a</sup>  | 2.45 $\pm$ 0.18 <sup>c</sup>                          | 49.03 $\pm$ 4.35 <sup>c</sup>  | 0.61 $\pm$ 0.04 <sup>c</sup>  | 96.67 $\pm$ 1.67 <sup>a</sup>  |
| 0.40                            | 4.9 $\pm$ 0.15             | 22.32 $\pm$ 0.74         | 355.88 $\pm$ 32.92 <sup>a</sup>  | 2.59 $\pm$ 0.10 <sup>c</sup>                          | 55.30 $\pm$ 3.65 <sup>c</sup>  | 0.62 $\pm$ 0.05 <sup>c</sup>  | 100.00 $\pm$ 0.00 <sup>b</sup> |
| 0.71                            | 4.8 $\pm$ 0.25             | 24.78 $\pm$ 1.10         | 418.32 $\pm$ 24.73 <sup>bc</sup> | 2.95 $\pm$ 0.12 <sup>b</sup>                          | 70.24 $\pm$ 3.38 <sup>b</sup>  | 0.63 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>  | 100.00 $\pm$ 0.00 <sup>b</sup> |
| 0.98                            | 4.8 $\pm$ 0.15             | 34.41 $\pm$ 2.70         | 614.46 $\pm$ 25.15 <sup>a</sup>  | 3.51 $\pm$ 0.11 <sup>a</sup>                          | 102.17 $\pm$ 3.04 <sup>a</sup> | 0.66 $\pm$ 0.09 <sup>ab</sup> | 100.00 $\pm$ 0.00 <sup>b</sup> |
| 1.38                            | 4.5 $\pm$ 0.27             | 25.65 $\pm$ 0.92         | 466.50 $\pm$ 29.34 <sup>b</sup>  | 3.10 $\pm$ 0.21 <sup>b</sup>                          | 78.68 $\pm$ 3.45 <sup>b</sup>  | 0.67 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>  | 100.00 $\pm$ 0.00 <sup>b</sup> |
| 1.66                            | 4.6 $\pm$ 0.19             | 27.29 $\pm$ 1.12         | 491.96 $\pm$ 19.54 <sup>b</sup>  | 3.12 $\pm$ 0.16 <sup>b</sup>                          | 82.49 $\pm$ 2.9 <sup>b</sup>   | 0.66 $\pm$ 0.01 <sup>ab</sup> | 100.00 $\pm$ 0.00 <sup>b</sup> |

注:同一列中具不同字母标记的值表示差异显著( $P < 0.05$ )

Notes: Data marked with different letters in the same column mean significant difference ( $P < 0.05$ )

## 2.2 饲料中磷含量对史氏鲟幼鲟肌肉化学组成的影响

试验后各试验组幼鲟肌肉水分、粗蛋白质和粗脂肪含量见表3。由表3可见,对照组鱼体肌肉中水分含量和粗脂肪含量最高,粗蛋白质含量最低;当饲料中磷水平在1.38%时,鱼体肌肉中粗蛋白质含量最高,水分和粗脂肪含量最低。但各试验组鱼体肌肉水分、粗脂肪和粗蛋白质含量差异均不显著( $P > 0.05$ )。

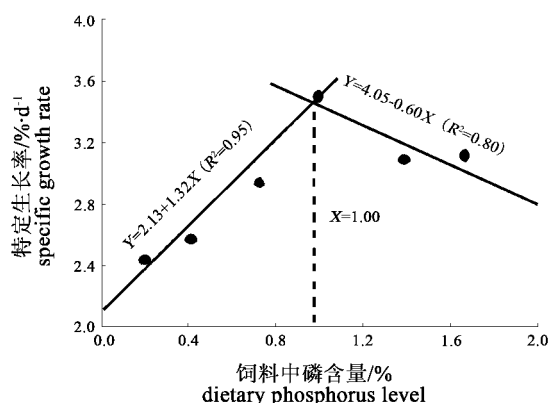


图1 饲料磷水平对特定生长率影响的回归分析

Fig.1 Regression analysis between dietary phosphorus level and specific growth rate

表3 饲料中磷含量对史氏鲟幼鲟肌肉组成的影响

Tab.3 Effect of dietary phosphorus level on the muscle composition of juvenile Amur sturgeon

| mean $\pm$ SD, $n = 3$ , %  |                               |                              |                               |
|-----------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 饲料磷含量<br>dietary phosphorus | 水分<br>moisture                | 粗脂肪<br>crude lipid           | 粗蛋白质<br>crude protein         |
| 0.18                        | 78.97 $\pm$ 0.62 <sup>a</sup> | 6.13 $\pm$ 0.37 <sup>a</sup> | 16.48 $\pm$ 1.08 <sup>a</sup> |
| 0.40                        | 78.49 $\pm$ 0.35 <sup>a</sup> | 5.84 $\pm$ 0.19 <sup>a</sup> | 16.92 $\pm$ 1.24 <sup>a</sup> |
| 0.71                        | 77.67 $\pm$ 0.53 <sup>a</sup> | 5.34 $\pm$ 0.44 <sup>a</sup> | 16.98 $\pm$ 0.95 <sup>a</sup> |
| 0.98                        | 76.70 $\pm$ 0.48 <sup>a</sup> | 5.56 $\pm$ 0.63 <sup>a</sup> | 16.84 $\pm$ 0.80 <sup>a</sup> |
| 1.38                        | 76.45 $\pm$ 0.65 <sup>a</sup> | 5.03 $\pm$ 0.39 <sup>a</sup> | 17.12 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup> |
| 1.66                        | 76.72 $\pm$ 0.26 <sup>a</sup> | 5.36 $\pm$ 0.76 <sup>a</sup> | 17.01 $\pm$ 0.18 <sup>a</sup> |

注:同一列中具不同字母标记的值表示差异显著( $P < 0.05$ )

Notes: Data with different letters in the same column mean significant difference ( $P < 0.05$ )

## 2.3 饲料中磷含量对史氏鲟幼鲟脊椎骨灰分和钙磷含量的影响

试验各组鱼体脊椎骨的灰分、钙、磷含量和钙磷比列于表4。由表4可见,脊椎骨中灰分、钙和磷含量随饲料中磷含量增高呈增加趋势,当饲料中磷含量为1.38%时,脊椎骨中灰分、钙和磷含量达到最大,且显著高于0.18%和

0.40%两试验组( $P < 0.05$ );饲料磷含量在0.71%~1.66%之间时,脊椎骨中灰分、钙和磷含量未见显著差异( $P > 0.05$ )。饲料中添加磷使试验各组的钙磷比未出现显著差异( $P > 0.05$ )。

表4 饲料中磷含量对史氏鲟幼鲟鱼体坐脊椎骨灰分和钙磷含量的影响

Tab.4 Effect of dietary phosphorus level on ash, calcium and phosphorus content in vertebrae of juvenile Amur sturgeon

| mean $\pm$ SD, $n = 3$             |                               |                               |                              |                              |
|------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 饲料磷含量<br>(%)<br>dietary phosphorus | 粗灰分(%)<br>crude ash           | Ca (%)<br>calcium             | P (%)<br>phosphorus          | Ca/P                         |
| 0.18                               | 46.78 $\pm$ 1.62 <sup>c</sup> | 15.27 $\pm$ 0.37 <sup>b</sup> | 8.59 $\pm$ 0.26 <sup>b</sup> | 1.79 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup> |
| 0.40                               | 47.81 $\pm$ 1.35 <sup>b</sup> | 15.21 $\pm$ 0.19 <sup>b</sup> | 8.74 $\pm$ 0.24 <sup>b</sup> | 1.74 $\pm$ 0.13 <sup>a</sup> |
| 0.71                               | 48.67 $\pm$ 1.53 <sup>a</sup> | 16.77 $\pm$ 0.44 <sup>a</sup> | 9.46 $\pm$ 0.36 <sup>a</sup> | 1.77 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup> |
| 0.98                               | 48.70 $\pm$ 1.48 <sup>a</sup> | 16.07 $\pm$ 0.63 <sup>a</sup> | 9.63 $\pm$ 0.29 <sup>a</sup> | 1.67 $\pm$ 0.08 <sup>a</sup> |
| 1.38                               | 49.45 $\pm$ 1.65 <sup>a</sup> | 16.17 $\pm$ 0.39 <sup>a</sup> | 9.99 $\pm$ 0.10 <sup>a</sup> | 1.62 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup> |
| 1.66                               | 49.32 $\pm$ 1.26 <sup>a</sup> | 15.89 $\pm$ 0.76 <sup>a</sup> | 9.63 $\pm$ 0.18 <sup>a</sup> | 1.65 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup> |

注:同一列中具不同字母标记的值表示差异显著( $P < 0.05$ )

Notes: Data marked with different letters in the same column mean significant difference ( $P < 0.05$ )

以饲料中磷含量为自变量( $X$ ),以脊椎骨磷含量为因变量( $Y$ )作回归直线,得回归方程  $Y = 1.69X + 8.20$  ( $R^2 = 0.93$ )和  $Y = 9.68$ ,通过折线法求得这两条直线相交点值,即幼鲟获得最佳骨骼磷含量时饲料中磷最适含量为0.88%(图2)。

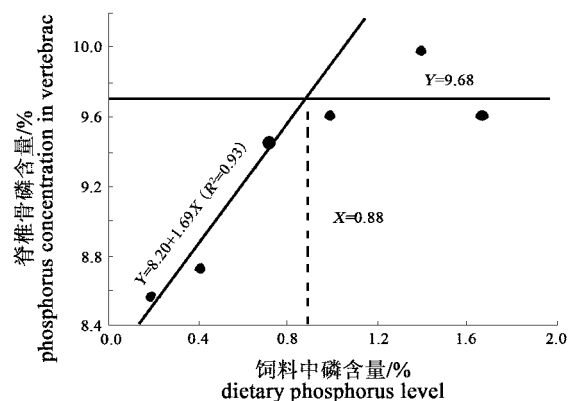


图2 饲料磷水平对脊椎骨磷含量影响的回归分析

Fig.2 Regression analysis between dietary phosphorus level and phosphorus content in vertebrae

## 3 讨论

在本次研究中,饲料中磷含量对史氏鲟幼鲟



增重率、饲料效率和特定生长率均有显著影响,并存在一个最佳水平(饲料磷含量 0.98%)。当饲料磷低于这一水平时,试验鱼增重率、饲料效率和特定生长率随饲料中磷含量的增加而提高;高于这一水平时,这些指标呈下降趋势。这些规律与以往的研究报道相似<sup>[5-6,9,16]</sup>。本研究得出的维持史氏鲟幼鲟最佳生长时饲料中磷的适宜含量为 1.00%,这比已往报道的鱼类磷的需要量要高,如大黄鱼、大麻哈鱼、军曹鱼、日本比目鱼、镜鲤、鳕和鲈的饲料磷需要量分别为 0.89%~0.91%<sup>[6]</sup>、0.5%~0.6%<sup>[7]</sup>、0.88%<sup>[9]</sup>、0.45%~0.51%<sup>[16]</sup>、0.67%<sup>[17]</sup>、0.72%<sup>[18]</sup>和 0.86%~0.90%<sup>[19]</sup>。这种需要量的差异可能是因为史氏鲟是拥有软骨结构的硬骨鱼类,其软骨组成中的磷含量可能比硬骨中的高,为维持软骨的生成,史氏鲟对饲料中磷的需要量相对其他硬骨鱼类偏高;同时史氏鲟体表有许多枚骨板,所占身体比重较高,为维持骨板正常快速的生长,其对磷的需要量也可能较其它一些硬骨鱼类高。但是,作者未能查阅到关于鲟科鱼类磷的需要量的研究报道,因此拥有软骨结构的鲟类是否存在相同的规律尚不得而知。

试验根据生长求得的史氏鲟幼鲟对磷的需要量比试验基础饲料(对照饲料)的磷含量(0.18%)高 0.82 个百分点,表明史氏鲟幼鲟饲料中添加磷是非常有必要的。但在本次研究中并未发现在其他鱼类研究中磷缺乏时常出现的脊柱弯曲等外部特征,这可能是试验时间较短且对照饲料含有少量磷的缘故。当饲料中添加高水平的磷时也会降低史氏鲟幼鲟增重率、饲料效率和特定生长率,这可能因为过高的饲料磷含量,导致了钙磷不平衡而出现“水桶效应”,同时对 Mn, Zn, Fe 等其他阳离子的吸收产生了抑制作用<sup>[20]</sup>,从而阻碍幼鲟的正常生长。

鱼体灰分和磷含量是水产动物磷的营养研究中常用的两个评价指标<sup>[21]</sup>。由于鱼体内约 85% 的磷存在于骨骼中,脊椎骨中磷含量可以反映出饲料中磷的适宜添加量<sup>[22]</sup>。在本次研究中,饲料中磷含量显著地影响了史氏鲟幼鲟脊椎骨的粗灰分和钙磷含量。以鱼体脊椎骨磷含量为指标,经回归分析得到饲料中磷的适宜含量为 0.88%,这一结果比以生长为指标得出的适宜含量(1.00%)略低,这与以往的一些研究中往往以机体积累为指标比以生长为指标得出的需要量要高的规

律<sup>[23-25]</sup>不同,这可能是因为添加到饲料中的磷必须首先满足史氏鲟幼鲟骨骼的组建,然后才显示在促生长上。在饲料磷达一定水平时(0.88%),只能使脊椎骨中的磷含量达到正常积累水平,但还不足以满足其快速生长的需要,进一步增加饲料中磷含量达一定水平(1.00%)才能使史氏鲟幼鲟生长达到最佳,但具体的作用机理还有待进一步的研究证实。

在大黄鱼<sup>[6]</sup>、鲤<sup>[25]</sup>和虹鳟<sup>[26]</sup>等研究中表明,饲料中适量的添加磷可以减少鱼体脂肪含量和增加蛋白质含量,这些研究都认为饲料中缺乏磷会降低鱼体的氧化磷酸化作用从而阻碍了机体的三羧酸循环(TCA)和体内乙酰 CoA 的堆积。在本次研究中,史氏鲟幼鲟肌肉组成中随着蛋白质含量的减少其脂肪含量相应得到了提高,在磷含量较低的试验组,其蛋白质含量也较低,与上述研究结果相似。可能也是由于低磷饲料阻碍了史氏鲟幼鲟机体脂肪酸的  $\beta$ -氧化,从而降低了机体利用脂肪作为能量物质的能力,而选择了利用部分蛋白质作为能量的缘故。

#### 参考文献:

- [1] Lall S P. The minerals[M]//Halver J E, Hardy R W, eds, Fish Nutrition(3rd ed). San Diego C A: Academic Press, 2002:259-308.
- [2] 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.
- [3] Boyd C E. Phosphorus dynamics in ponds, Proc Annu Conf[C]//Southeast Assoc Game Fish Comm, 1971, 25:418-426.
- [4] Ogino C, Takeda H. Requirements of rainbow trout for dietary calcium and phosphorus[J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1978, 44:1019-1022.
- [5] 杨雨虹,郭庆,黄金善,等.鲤鱼饲料磷的需要量研究[J].东北农业大学学报,2006, 37(1):48-51.
- [6] Mai K S, Zhang C X, Ai Q H, et al. Dietary phosphorus requirement of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* R[J]. Aquaculture, 2006, 251:346-353.
- [7] Watanabe T, Murakami A, Takeuchi L, et al. Requirement of chum salmon held in freshwater for dietary phosphorus [J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1980, 46:361-367.
- [8] 游文章,黄忠志,廖朝兴,等.草鱼对饲料中磷需要量的研究[J].水产学报,1987, 11(4):285-292.

- [9] 周 萌,曹俊明,吴建开,等.军曹鱼幼鱼对饲料中磷需要量的研究[J].动物营养学报,2005,17(3):62.
- [10] 肖懿哲,苏永全.史氏鲟饲料脂肪的最适合量[J].水产学杂志,2001,14(1):21-24.
- [11] 陈声栋,许 平,周效广.史氏鲟人工配合饲料室内试验报告[J].黑龙江水产,1993,(3):14-17.
- [12] 温小波,冉晓荣.不同营养水平的配合饲料饲喂史氏鲟试验[J].淡水渔业,2003,33(3):47-48.
- [13] 郑长义,戴宏宗(译).鱼类的营养与饲料[M].台北:养鱼世界杂志社,1984.
- [14] Hughes K P, Soares J H. Efficacy of phytase on phosphorus utilization in practical diets fed to striped bass *Monroe saxatilis*[J]. Aquac Nutr, 1998, 4:130-140.
- [15] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会.中华人民共和国国家标准食品卫生检测方法理化部分(一)[S].北京:中国标准出版社,2004.
- [16] Wang X J, Choi S M, Park S G, et al. Optimum dietary phosphorus level of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* reared in the recirculating system [J]. Fish Sci, 2005, 71:168-173.
- [17] Kim J D, Kim K S, Song J S, et al. Optimum level of dietary monocalcium phosphate based on growth and phosphorus excretion of mirror carp, *Cyprinus carpio*[J]. Aquaculture, 1998, 161:337-344.
- [18] Prabir K R, Santosh P L. Dietary phosphorus requirement of juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.) [J]. Aquaculture, 2003, 221:451-468.
- [19] Zhang C X, Mai K S, Ai Q H, et al. Dietary phosphorus requirement of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus* [J]. Aquaculture, 2006, 255:201-209.
- [20] Roy P K, Lall S P. Dietary phosphorus requirement of juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.) [J]. Aquaculture, 2003, 221:451-468.
- [21] Skonberg D I, Yogev L, Hardy R W, et al. Metabolic response to dietary phosphorus intake in rainbow trout [J]. Aquaculture, 1997, 157:11-24.
- [22] Schaefer A, Koppe W M, Gunther K D, et al. Effects of P-supply on growth and mineralization in mirror carp [J]. J Appl Ichthyol, 1995, 11:397-400.
- [23] Ketola H G, Richmond M E. Requirement of rainbow trout for dietary phosphorus and its relationship to the amount discharged in hatchery effluents [J]. Am Fish Soc, 1994, 123:587-594.
- [24] Vielma J, Koskela J, Ruohonen K. Growth, bone mineralization, and heat and low oxygen tolerance in European whitefish fed with graded levels of phosphorus [J]. Aquaculture, 2002, 212:321-333.
- [25] Takeuchi M, Nakazoe J. Effect of dietary phosphorus on lipid content and its composition in carp[J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1981, 47:347-352.
- [26] 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.

## Dietary phosphorus requirement of juvenile *Acipenser schrenckii*

WEN Hua<sup>1,2</sup>, YAN An-sheng<sup>1</sup>, GAO Qiang<sup>3</sup>, LIU Wei<sup>2</sup>, WEI Qi-wei<sup>2</sup>

(1. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Jingzhou 434000, China;

3. Zhejiang Institute of Freshwater Fisheries, Huzhou 313000, China)

**Abstract:** The Amur sturgeon, *Acipenser schrenckii*, is a large freshwater fish which inhabits the Amur River basin and has been listed in Appendix II by CITES (the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora). Currently, the artificial aquaculture of the sturgeon has been developing rapidly in China, but little information is available on the nutrient requirements of the fish. Phosphorus is an essential nutrient for proper mineralization and many other physiological functions for fish. Here the dietary phosphorus requirement of juvenile Amur sturgeon has been determined by a feeding trial. Six experimental isonitrogenous and isoenergetic purified diets were formulated containing increasing contents of phosphorus (0.18%, 0.40%, 0.71%, 0.98%, 1.38% and 1.66%, respectively). Monocalcium phosphate was used as dietary phosphorus source, casein and gelatin as protein source, dextrin as carbohydrate source, and soybean oil and maize oil as lipid source, respectively. Each experimental diet was fed to triplicate groups of 20 Amur sturgeon juveniles with initial weight approximately 4.7 g in 400 L aquaria and maintained at  $(25.6 \pm 2.0) ^\circ\text{C}$  for 8 weeks. The results showed that the weight gain rate, feed efficiency and specific growth rate of the juveniles increased significantly with the increases of the dietary phosphorus level ( $P < 0.05$ ). These values reached the peak when the juveniles were fed the diet supplemented with 0.98% phosphorus, and then decreased significantly with the further increases of the dietary phosphorus level ( $P < 0.05$ ). The survival rate of the fish fed the control diet (0.18% phosphorus diet) was significantly lower than that of the fish fed the other diets ( $P < 0.05$ ). Supplementation of dietary phosphorus had no significant effect on the muscle moisture, crude protein, or crude lipid content of the juveniles ( $P > 0.05$ ). The fish fed the diets supplemented with 0.71% – 1.66% dietary phosphorus had significantly higher ash, calcium, and phosphorus contents in vertebra than those fed the control diet and the 0.40% phosphorus diet ( $P < 0.05$ ). Broken-line regression analyses of specific growth rate and vertebrae phosphorus against dietary phosphorus level indicated that the dietary phosphorus requirement for optimal growth and phosphorus content in vertebra of juvenile Amur sturgeon was 0.88% – 1.00% of dry diet.

**Key words:** *Acipenser schrenckii*; phosphorus; requirement