

草鱼对饲料中磷需要量的研究

游文章 黄忠志 廖朝兴 曹经晔

(中国水产科学研究院长江水产研究所)

提要 采用酪蛋白—明胶(7:1,W/W)为基础的精制饲料,以磷酸二氢钙作磷源,用梯度法进行草鱼对饲料中磷需要量的试验,证实草鱼的生长受饲料中磷含量的影响较大。饲料中磷不足,草鱼生长缓慢,饲料系数高,整条鱼体水分、灰分、钙、磷和钙磷比低下,脂肪积累,脊椎骨磷含量低下。饲料中磷含量过高引起草鱼生长缓慢,甚至死亡。根据鱼的增重率、饲料系数等分析判断:草鱼饲料中磷的适宜范围为0.95—1.10%,草鱼对饲料中有效磷的需要量为0.85—1.00%。试验表明:草鱼饲料中的盐类添加应以磷为主体。

主题词 草鱼,磷需要量,生长效果

在鱼类无机盐需要量的研究中,已经查明鱼类对钙、磷的需要量,相对来说,较对其它元素多得多。较多的研究结果指出:鱼类饲料中有效磷的需要量大约在0.5—0.8%之间^{[4,9,7,10,11]⁽¹⁾},饲料中钙的含量对鱼类生长和饲料系数影响不大^[6]。但是,迄今为止,研究比较多的是鲑、鳟鱼类、鲤鱼和真鲷等。关于草鱼,黄耀桐等⁽²⁾采用正交试验,对草鱼鱼种以酪蛋白为蛋白源的饲料中钙、磷、铁、镁等13种无机元素的添加量进行了研究。为了精确地查明草鱼对饲料中磷的需要量,我们采用梯度法研究了饲料中磷含量对草鱼生长、饲料系数、体成分及草鱼对各种营养成分消化率的影响。

材 料 和 方 法

试验饲料的组成、磷的添加量和磷的总含量见表1。干饲料的粗蛋白质水平为38.5%。磷源为分析纯 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 。钙的水平用分析纯的 CaCO_3 调节到1%。配制方法是将明胶加入一定量的水中,并置80°C的水浴锅上加热至溶,然后和预先混合好的饲料充分调匀。饲料做成颗粒状,稍加风干后置低温冰箱中保存。饲料含水量为36%。

试验鱼为本所试验场繁殖培育的当年草鱼苗,试前在室内水族箱流水条件下,用配合饲料饲养一周,试验鱼平均全长 4.1 ± 0.5 厘米,体长 3.3 ± 0.4 厘米,体重 0.53 ± 0.1 克。

饲养试验在10只0.1立方米水体的玻璃水族箱内进行,每箱放鱼30尾,每饲料组为两箱。流水饲养,水源为经贮水池曝气的自来水,水流量为15升/小时,水中溶解氧维持

(1) 杨国华等,1985。瓦头鲂对饲料中钙磷需要量的研究。未发表

(2) 黄耀桐等,1985。草鱼鱼种无机盐需要量之研究。未发表

在 5.4~6.8 毫克/升, 平均含磷 0.001 ppm, 钙 36 ppm, pH 为 7.2—7.3, 水温为 24—27°C。

表 1 试验饲料的组成(%按重量计)
Table 1 Composition of the experimental diet (% by weight)

成分 Ingredient	基础 饲料*1 Basal diet	无机盐 混合物*2 Salt- mixture	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	CaCO_3	马铃薯 淀粉 Potato starch	磷添加量 Supplemented amount of phosphorus	饲料中总磷*3 Total phos- phorus in diet	饲料中总钙*1 Total cal- cium in diet	
饲料号 Diet No.	1	72	2.5	0	2.5	23	0	0.35	1.09
	2	72	2.5	1.2	2.0	22.3	0.3	0.77	1.04
	3	72	2.5	2.4	1.5	21.6	0.6	1.04	1.10
	4	72	2.5	3.7	1.1	20.7	0.9	1.36	1.02
	5	72	2.5	4.9	0.6	20	1.2	1.70	1.09

*1 酪蛋白 35%, 明胶 5%, 豆油 4.5%, 鱼肝油 0.5%, 纤维素 12%, 维生素混合物 1%, 酵母粉 2%, 可溶性淀粉 12%。

Casein 35%, Gelatin 5%, Soybean oil 4.5%, Fish Liver oil 0.5%, Cellulose powder 12%, Vitamin-mixture 1%, Yeast powder 2%, Soluble starch 12%.

*2 依据荻野(1979)提出的配方。 According to the formula proposed by OGINO (1979).

*3 测定值。 Determined value.

试验分两阶段进行。第一阶段试验 49 天, 每组分别按鱼体重的 7% (约相当于干饲料的 4.5%) 投喂, 每日投喂两次(上午 9 时, 下午 5 时)。每天上午 8 时排污一次。每两周测定一次溶解氧和 pH 值。第一阶段结束时进行生长率和饲料系数测定, 然后随机取半数鱼进行鱼体化学成分的测定。将剩下的鱼, 每组饲料喂养的两箱并为一箱, 继续进行喂养试验, 时间 38 天, 观察试验鱼的生长率和缺乏症。并在试验最后 15 天, 用添加了 0.3% 的三氧化二铬(Cr_2O_3)饲料投喂, 收集粪便测定各种营养成分的表观消化率。试验结束时, 取脊椎骨样品以备分析。

鱼体, 脊椎骨, 试验饲料和粪便的无机元素测定, 磷采用磷钼酸比色法, 钙采用高锰酸钾容量法, 铬采用二苯基二氨基脲比色法。

以瑞士 BUCHI 322/342 蛋白质分析仪测定粗蛋白质, 以索氏法测定脂肪, 水中溶解氧和 pH 用 HORIBA U-7 型水质分析仪测定。

结果与分析

饲料中磷含量与草鱼生长和饲料系数的关系

将经过 49 天饲养试验的结果列于表 2。由表 2 可见, 饲料中磷的含量不同对草鱼生

长和饲料系数产生不同的影响。饲料中磷含量为 1.04% 组无论是增重率还是饲料系数都是最佳值, 分别为 330% 和 1.77, 磷含量为 0.77% 组次之, 分别为 260% 和 2.01, 磷含量为 1.70% 组最差, 分别为 77% 和 4.27。饲料中磷含量在 0.35—1.70% 之间, 增重率和饲料系数分别满足下列方程。

表 2 七周后试验结果

Table 2 Experimental results after 7 weeks

饲料号 Diet No.	水族箱号 Water tank No.	试验前 Initial			试验结果 Experimental results								
		尾数 The amount of fish	总重(克) Total weight (g)	平均尾重(克) Mean weight (g)	尾数 The amount of fish	总重(克) Total weight (g)	平均尾重(克) Mean weight (g)	总投饵量(干重、克) Total feeding amount (g dry weight)	增重率*1 (%) Weight gain (%)	平均增重率(%) Mean weight gain (%)	饲料系数*2 Coefficient of feed	平均饲料系数 Mean coefficient of feed	死亡率(%) Mortality (%)
1	1	30	15.5	0.52	28	48.3	1.73	82.1	233	210	2.36	2.65	10
	2	30	15.7	0.52	26	38.8	1.49	82.4	187		2.94		
2	3	30	16	0.53	30	59	2.00	80.7	277	260	1.88	2.01	0
	4	30	16	0.53	30	54.4	1.81	82.0	242		2.14		
3	5	30	16	0.53	30	80.9	2.70	90.9	409	330	1.40	1.77	0
	6	30	15.8	0.52	30	54.5	1.82	82.9	250		2.14		
4	7	30	16.1	0.54	16	23.7	1.48	69.2	174	197	2.21	2.25	31.7
	8	30	16	0.53	25	42.2	1.69	76.6	219		2.29		
5	9	30	16	0.53	26	24.5	0.94	55.9	77	77	4.27	4.27	56.7
	10	30	16.8	0.56	0	0	0						

*1 增重率(%) = $\frac{\text{结束时重量} - \text{初始时重量}}{\text{初始时重量}} \times 100\%$

Weight gain (%) = (final body weight - initial body weight) / initial body weight $\times 100\%$

*2 饲料系数 = 投喂的饲料量 / 鱼增重量

Coefficient of feed = food fed, g / weight gain, g

$$y_1 = 1410.6 - 6752.57x + 12275.41x^2 - 8667.38x^3 + 2065.68x^4$$

$$y_2 = 2.61 + 1.69x - 5.51x^2 + 2.99x^3$$

式中: x 为饲料磷含量, y_1 为鱼体增重率, y_2 为饲料系数。根据方程求得此范围之内, y_1 最大和 y_2 最小时, x 值分别为 1.02% 和 1.05% (图 1)。完全符合实验结果。

在图 2 中, 可见磷含量为 0.77% 和 1.04% 组草鱼增重率在整个试验期间几乎成直线上升, 1.36% 组草鱼在整个试验期间也呈增长趋势, 但与 0.77% 和 1.04% 组相比生长率低得多。磷含量为 0.35% 组在试验开始 50 天内尚能维持生长, 但在 50 天以后几乎停止了生长。磷含量为 1.70% 组草鱼在整个试验期间生长最差。

整个试验期间, 含磷量为 0.77% 和 1.04% 组草鱼未发现死亡, 而 1.36% 和 1.70% 组在试验期间出现大量死亡, 死亡率分别为 31.7% 和 56.7%。

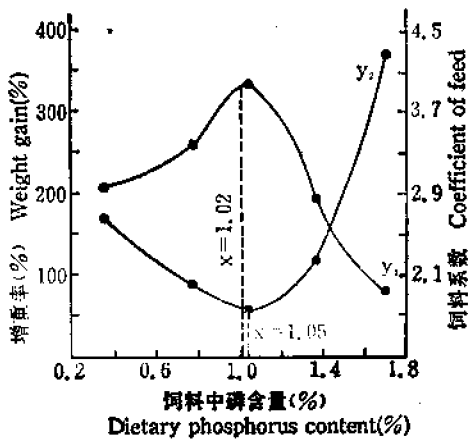


图1 饲料磷含量与增重率和饲料系数之间的关系。

Fig.1 Relation of dietary phosphorus content with weight gain and coefficient of feed

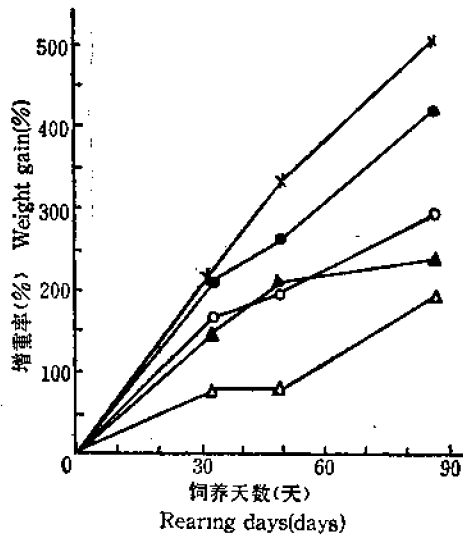


图2 用不同饲料饲喂的草鱼增重率与饲养天数的关系。

Fig. 2 Relation of weight gain of grass carp fed with different diets with rearing days

饲料磷含量(%)
Dietary phosphorus content(%)
▲0.35 ●0.77 ×1.04
○1.36 △1.70

饲料中磷含量与草鱼全鱼化学成分和无体成分及脊椎骨无机成分的关系

试验鱼的体成分和无机成分及脊椎骨的无机成分分别列于表3和表4。由表3可见，磷含量为0.35%组草鱼鱼体灰分、水分偏低，脂肪偏高；而1.70%组鱼体蛋白质、脂肪偏低，水分偏高。在表4中还可见，全鱼钙、磷及钙磷比0.35%组略显低值，1.70%组磷略显高值，其它组几乎都未见差异。脊椎骨中灰分、钙、磷随饲料中磷含量增高呈增加趋势，钙磷比未见显著差异。

表3 饲料中磷含量对草鱼体成分的影响(%湿重)

Table 3 Effect of content of dietary phosphorus on proximate composition of whole fish. (% wet weight)

饲料磷含量 Dietary phosphorus content	水分 Moisture	蛋白质 Protein	脂肪 Lipid	灰分 Ash
0.35	77.74	13.72	5.77	2.51
0.77	80.13	13.29	3.37	2.90
1.04	80.40	13.64	3.01	2.90
1.36	80.88	12.90	3.19	2.91
1.70	82.29	12.08	2.50	2.90
试前 Initial	81.16	14.06	1.62	3.08

表 4 饲料磷含量对草鱼整条鱼及脊椎无机成分的影响
 Table 4 Effect of content of dietary phosphorus on mineral composition of whole fish and vertebrae.

饲料磷含量 Dietary phosphorus content	整条鱼(%湿重) Whole fish (% wet weight)				脊椎(%干重) Vertebrae (% dry weight)			
	灰分 Ash	P	Ca	Ca/P	灰分 Ash	P	Ca	Ca/P
0.85	2.51	0.46	0.62	1.35	48.05	8.90	16.48	1.85
0.77	2.90	0.50	0.75	1.50	47.34	9.21	15.88	1.72
1.04	2.90	0.50	0.76	1.52	49.45	9.46	17.08	1.81
1.36	2.91	0.50	0.78	1.56	52.94	10.79	17.68	1.64
1.70	2.90	0.53	0.77	1.45	53.85	12.12	19.85	1.64
试前 Initial	3.08	0.53	0.79	1.49				

饲料中磷含量与饲料中营养成分消化率的关系

草鱼对不同磷含量的饲料中营养成分的消化率的测定结果列于表 5。由表 5 可知, 总消化率除最低组及最高组显低值外, 其它组几乎未见差异。蛋白质消化率各组间未见差异。脂肪消化率随着饲料磷含量的增加而增高。磷和钙的消化率先随磷含量的增加而增大, 当磷含量为 0.99% 时, 其磷、钙消化率均为最大值, 但磷含量超过 0.99% 后磷、钙的消化率相反下降。

表 5 饲料中磷含量同草鱼对饲料中营养物消化率的关系
 Table 5 Relation of dietary phosphorus with digestibility of grass carp for dietary nutrients. (%)

饲料磷含量 Dietary phosphorus content	总消化率 Total digestibility	蛋白质消化率 Protein digestibility	脂肪消化率 Lipid digestibility	磷消化率 Phosphorus digestibility	钙消化率 Calcium digestibility
0.88	57.68	95.15	73.26	86.84	25.07
0.66	62.87	98.29	79.17	87.79	26.45
0.99	62.22	93.65	80.74	91.05	46.08
1.42	64.07	93.11	81.75	74.10	21.09
1.81	56.04	92.23	82.05	70.59	17.32

讨 论

陆栖脊椎动物所需要的钙、磷主要是由饲料提供的, 但鱼类并非完全如此, 可以通过扩散、渗透和离子交换从水中得到大量的钙。鲫鱼在饲料含钙 0.1—0.8%, 水中含钙 4—

20 ppm 时,能从水中得到 50—80%钙^[1]。鱼类亦可从水中直接吸收磷,但水中磷的浓度远远小于钙的浓度,因此,鱼类能主要从水中得到钙,而磷则只能主要从饲料中获得。为此,饲料中的磷对鱼类生长和健康影响很大,荻野珍吉等^[2]指出,鲤鱼饲料磷含量缺乏时,鲤鱼生长缓慢,饲料效率低,头部畸形,而饲料中钙的含量对鲤鱼生长则影响不大。根据本试验中饲料磷、钙含量和磷钙比与试验鱼生长之间的关系分析,其对草鱼生长的影响为 $F_{(P)} = 1.87 \times 10^{-3}$, $F_{(Ca)} = 1.45 \times 10^{-4}$, $F_{(P/Ca)} = 8.72 \times 10^{-4}$,可见,饲料中磷含量对草鱼生长的影响远大于钙。

低磷组(0.35%组)草鱼显低的增重率、高的饲料系数,尤其是 50 天后,低磷组几乎停止增重,这可能是由于饲料磷的不足,使脂肪 β 氧化受阻^[3],试验鱼不能很好地利用脂肪作能源,造成脂肪积累,大量蛋白质作为能量被利用^[8],因而试验鱼增重率低下。由于低磷组饲料含有磷(0.35%),所以试验前期(50 天内)试验鱼尚能维持低的增重率。然而随着试验鱼脂肪积累,脊椎钙化程度低等磷缺乏症明显地出现,增重必然随着减慢,甚至停止。鱼体没有出现畸形可能是试验时间短的原因。

高磷组(1.36%组和 1.70%组,尤其是 1.70%组)死亡率高,这可能是草鱼摄取的磷过多,导致新陈代谢过于旺盛,如脂肪氧化速度过高^[9],造成代谢紊乱,使鱼死亡。然而鲤鱼饲料含磷量高达 1.88%也没有发现死亡,且增重率较高^[9]。这可能是种间差异。

饲料磷含量影响鱼对饲料中营养成分的消化吸收。随着饲料中磷含量的增加,鲤鱼对钙的吸收降低 20—34%^[1]。草鱼对钙的吸收与鲤鱼的结果一致,磷含量为 0.33%和 0.66%组饲料中钙消化率低,这与饲料中钙盐的形式有关,这两组饲料中 80%以上的钙以碳酸钙形式存在,而碳酸钙是不溶盐,鱼类对碳酸钙中钙的消化率非常低。Nakamura 测得鲤鱼对碳酸钙中钙的消化率只有 27%^[1]。随着饲料中磷含量增加,碳酸钙的比例降低,磷酸二氢钙的比例增大,可溶性钙盐增加,钙的消化率也随之增加,到达最大值后,受磷的影响而下降。也可能是在饲料中磷适宜范围内,饲料钙能得到较好地吸收。草鱼对饲料中磷的消化率似乎在饲料中磷含量的适宜范围内最高。脂肪消化率随着磷含量增加而增加,其原因可能是磷促进了脂肪氧化,从而加速了脂肪代谢所致。

本试验的试验鱼体成分和无机成分及脊椎骨的无机成分同报道的鲤鱼^[9]、斑点叉尾鲷^[4]、真鲷^[8]的试验结果一致。

综上所述,可得出如下结论:

1. 在本试验条件下,饲料中磷含量在 0.95—1.10%之间草鱼增重率最高,饲料系数最低,在此范围内,草鱼对各种营养成分的消化率较高,未见死亡,据此分析,草鱼饲料磷含量适宜值为 0.95—1.10%,又根据草鱼对饲料中磷的消化率(91%)的分析,草鱼对饲料中有效磷的需要量应为 0.85—1.0%。

2. 草鱼因饲料磷不足生长缓慢,饲料系数高,全鱼鱼体水分、灰分、钙、磷和钙磷比低下,脂肪积累,脊椎骨磷含量低下。饲料中磷含量过高引起草鱼生长缓慢,甚至死亡。

3. 草鱼的生长受饲料中磷含量的影响较大。草鱼对以植物性饲料源为主的饲料中磷的消化率较低,约为 58%^[1],草鱼饲料中一般含磷 0.8—1%,因此,草鱼饲料中有效磷远不能满足草鱼对饲料磷的需要。以前,借用畜禽的配方,用骨粉、贝壳粉等作草鱼饲料盐类添加剂,这主要是钙的添加,我们已证实骨粉作盐类添加剂效果不大^[2]。因此,今后

在草鱼饲料配方的研究中应重点考虑磷的需要。

参 考 文 献

- [1] 曹经畴等, 1986。草鱼对不同形态盐类消化能力的测定。淡水渔业 5: 22—24
- [2] 游文章、黄忠志, 1987。草鱼饲料盐类添加效果的研究。淡水渔业 1: 23—25
- [3] Berg, A., 1968. Study on the metabolism of calcium and strontium in freshwater fish. I. Relative contribution of direct and intestinal absorption. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol. Dott. Marco de Marchi.*, 23: 161—196.
- [4] Lovell, R. T., 1978. Dietary phosphorus requirement of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Trans. Am. fish. Soc.*, 107: 617—621.
- [5] Nakamura, Y. and J. Yamada, 1980. Effect of dietary calcium level, Ca/P ratio, and components on calcium absorption rate in carp. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 31: 277—282.
- [6] Ogino, C., and H. Takeda, 1976. Mineral requirement in fish III. Calcium and phosphorus requirement in carp. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 42: 798—799.
- [7] 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. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 39: 343—348.
- [8] Sakamoto, S., and Y. Yone, 1978. Effect of dietary phosphorus level on chemical composition of red sea bream. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 44: 227—229.
- [9] Takeuchi, M., and J. Nakazon, 1981. Effect of dietary phosphorus on lipid content and its composition in carp. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 47: 347—352.
- [10] Watanabe, T., et al., 1980. The availability to *Tilapia nilotica* of phosphorus in white fish meal. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 46: 897—899.
- [11] Wilson, R. P., et al., 1982. Dietary phosphorus requirement of channel catfish. *J. Nutr.*, 112: 1197—1202.

REQUIREMENT OF PHOSPHORUS IN DIETARY OF GRASS CARP

You Wenzhang, Huang Zhongzhi, Liao Chaoxing and Cao Jingye

(Changjiang Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences)

ABSTRACT An experiment on requirement of phosphorus in the dietary of grass carp *Ctenopharyngodon idellus* was carried out. By the use of casein-gelatin as basic diet with mono calcium phosphorus as source of phosphorus, the gradient method was applied. The results of the experiment demonstrated that the dietary phosphorus played a great effect on the growth of grass carp. The deficiency of phosphorus in the diet would cause a slow growth of the fish and high expense of food. By analysing, the whole fish body contains a lower level of water, ash, calcium, phosphorus and Ca/P ratio, but high content of fat with low phosphorus in vertebrae. The over-high phosphorus, however, would also result in slow growth of the fish and even lead to mortality. Thus judging from the growth rate and food consumption of the fish, the appropriate value of phosphorus in the grass carp diet should be 0.95—1.10% and the requirement of available phosphorus in the diet of grass carp is

0.85--1.00%. The experiment indicated that phosphorus should be the principal mineral in the additive of diet.

KEY WORDS Grass carp, Phosphorus requirement, Growth effect