

草鱼种无机盐需要量之研究*

黄耀桐 刘永坚

(中山大学鱼类研究室, 广州)

提 要

应用正交法设计进行了三批草鱼种对钙、磷、镁、铁等无机盐元素需要量饲养试验。在此基础上又设计进行了两批以三池平行为一组的鉴别试验。经数理统计分析, 获得了草鱼种饲料适宜混合无机盐含量, 草鱼种对钙、磷等 13 种无机盐元素的适宜需要量, 以及适宜比例。取得了比哈尔佛 Halver 氏鱼类营养盐(美国药典 U. S. P. XII. No. 2 营养盐加哈尔佛微量元素)更适于草鱼种生长需要的新型混合无机盐。

试验表明, 对草鱼种生长影响比较大的无机盐元素是钙、磷、铁、硫、镁和钴。适宜的混合无机盐对草鱼种生长具有显著的促进作用, 不适宜的混合无机盐或缺乏无机盐则草鱼种食欲差, 生长缓慢, 蛋白质效率低, 出现营养缺乏症状。草鱼种对无机盐的需要表明, 它不同于已有报道的大鱗大马哈鱼、斑点叉尾鮰、虹鱈、鲤、红海鯧、日本鳗、溪红点鲑, 以及非鲫等。

所作鱼体背肌、脊柱和血液的生化成分分析表明, 第四、五批试验所养草鱼种与常规用草饲养的草鱼种基本一致。

关键词 草鱼种, 无机盐需要量, 鱼体成分

无机盐(矿物质)营养需要, 在温血动物研究比较多, 鱼类研究较少。迄今, 鱼类无机盐需要量研究比较多的有斑点叉尾鮰、鲤、虹鱈、红海鯧、日本鳗、大鱗大马哈鱼、非鲫和鲑等^[6,7,11,12]。

尽管鱼类能通过鳃、体表、鳍和肠道从水环境中吸收一定量的某些无机盐元素, 但并不能就此满足其生长需要。而且, 不同种类的鱼, 从水中吸收无机元素的能力各不相同, 还有部分元素是鱼类不能直接从水环境获得的。因此, 鱼类必须主要从食物中摄取它们所需的无机元素。

不少研究报告指出, 不同种类的鱼具有不同的无机盐需要, 但一般商品饲料往往缺乏无机盐, 常造成养殖鱼类出现食欲不良、饲料转换率低、生长迟缓, 甚至血液异常、骨骼畸变和高死亡率等营养缺乏症。而一旦研究清楚这些鱼类的无机盐营养需要, 添加给适宜的无机盐, 则鱼类能迅速健康生长, 获得显著增产效果^[8,2]。鉴于我国尚无专门无机盐需要量研究报道, 选择南方主要养殖鱼类草鱼进行无机盐营养需要量研究。以查明草鱼健康快速生长的无机盐需要量为目标, 以期为草鱼营养生理, 为全价营养饲料或饲料添加剂的研制提供科学依据。

* 承蒙廖翔华教授指导, 谨致谢忱。

1986 年 11 月 3 日收到。

材料与方法

随机取用当年孵化培育的或隔年饲养的健康草鱼种，消毒后放在水泥试验池驯养7天。然后分组称总体重，再逐尾测定体长、全长和体重，按组放进已编号的水泥试验池中，进行饲养试验。开始投喂量按体重6—8%每天两次喂给。试验中期，检查鱼总体重，抽检鱼体长、体重，据以调整投喂量。试验结束，各组试验鱼称总体重，逐尾测量体长、全长和体重，然后取10尾鱼样品进行生化分析(表1)。

表1 草鱼种无机盐需要量试验基本情况

Tab. 1 Experimental condition of mineral requirement for juvenile grass carp

批号 ¹⁾	饲养天数 ²⁾	水温 ³⁾ (℃) (平均值)	试验鱼规格 ⁴⁾			
			平均体长(厘米) 始	平均体长(厘米) 末	平均体重(克) 始	平均体重(克) 末
1	22	27.5—31.0 (30.3)	7.9	9.5	10.1	19.6
2	42	26.0—30.8 (28.7)	6.0	9.7	5.6	21.5
3	35	29.0—34.0 (30.7)	5.8	8.5	4.4	12.6
4	60	24.1—31.5 (29.2)	8.6	14.8	12.7	66.5
5	60	11.8—25.5 (20.1)	15.2* 15.3**	21.1* 20.6**	75.5 76.2	198.4 184.0

试验池为3×2×1米(即长×宽×深)

1) Batch No.; 2) Feeding days; 3) Water temp. range; 4) Test fish size

* 混合无机盐A组

** 美国药典 U. S. P. XII. No. 2 混合盐 Halver 氏微量元素组

试验期间每天测定水温，定期测定水质。试验用水水质为：溶解氧5.37—8.95毫克/升，钙20.21—28.63毫克/升，镁1.34—6.69毫克/升，磷0.005—0.023毫克/升。

基本饲料参考Halver氏酪蛋白试验饲料改订(表2)。第一、二批试验饲料利用热能约为2965.0千卡/公斤(干饲料)，能量蛋白比为76.0(以每公斤干饲料计算)。第三、四、五批试验饲料利用热能约为2837.5千卡/公斤(干饲料)，能量蛋白比为90.1。

混合无机盐按各批试验设计制备，分别加入基本饲料配制试验饲料。各种饲料均测定其含水量、无机盐占饲料干重的百分比(包括基本饲料钙、磷、镁和铁含量)。动物需要22种无机盐元素，我们从中选11种作为因子安排正交设计试验。同时把氯化钠作为常量进行附加试验(同一批试验，各组饲料均加入等量氯化钠，但不同批试验加入不同量)。

第一批试验选用正交表L₁₆(4² × 2⁹)设计16组混合无机盐，分别配制成16组试验饲料^[3]。其中钙和磷各设计4水平，即钙0.1—0.4%，磷0.3、0.5、0.7、0.9%。镁、铁、钴、硫、铜、锌、锰、碘和钾各设计2水平，即镁0.04、0.08%，铁0.02、0.08%，铜

表2 基本试验饲料配方
Tab. 2 Formulas of basic experimental diets

成 分 Composition	第1、2批试验 Experiment series I and II	第3、4、5批试验 Experiment series III, IV and V
酪蛋白 Casien	40	35
糊精 Dextrin	30	35
纤维素粉 Cellulose	17—19	17—19
花生油 Peanut oil	2	2
混合维生素 Vitamin mixture	1	1

0.0005、0.001(%)，硫0.1、0.15(%)，钴0.001、0.005(%)，锌0.005、0.01(%)，锰0.001、0.003(%)，碘0.0001、0.0005(%)，钾0.5、0.8(%)。

第二批试验，采用正交表L₁₆(4⁴ × 2³)设计16组混合无机盐，钙、磷、铁各设计4水平，硫和镁各设计2水平，其它元素安排1水平。

第三批试验选用正交表L₈(2⁷)，设计钙、磷、硫各2水平，以及探索钙磷、钙硫、磷硫的交互作用。并增加1组不添加无机盐但基本饲料与其它试验组饲料相同的对照试验。

第四批试验设计以3个水泥池平行为1组的两试验组鉴别试验，以确定最能满足草鱼种迅速健康地生长所需的1组混合无机盐。

第五批试验同样设计以3个水泥池平行为1组的两试验组鉴别试验，用效果最好的1组混合无机盐与美国哈佛等所常用的美国药典 U. S. P. XII. No. 2 营养盐加Hawley微量元素^[6]作比较。

每批试验所用无机盐均为国产分析纯或化学纯试剂。酪蛋白、糊精和纤维素均为国产生化试剂。这些试剂的氮、钙、磷、铁和镁含量都逐一进行测定。脂肪用市售优质花生油，混合维生素是上海和法国产品。

对鱼体所作水分、灰分、蛋白质和脂肪等生化分析用常规方法。钙、磷、镁和铁的测定用湿消化容量法和湿消化分光光度法^[1,2]。第五批试验样品钙、磷、镁、铜、锌、锰和钴等元素测定用美国 Jarrel Ash: 9000型等离子体直读光谱仪。血红蛋白测定用国际标准法氰高铁分光光度法，血清钙用EDTA容量法，血清镁、磷分别用达蛋黄和硫酸亚铁磷钼蓝分光光度法。水质分析按常用容量法和分光光度法。

结 果 及 分 析

(一) 对草鱼种生长影响大的无机盐元素

图1表示第一批饲养试验结果，其中第13、11组混合无机盐饲料所饲养的草鱼种生长最快，增重率分别为111.7%和108.8%。第8、4组生长最慢，增重率分别为62.8%和

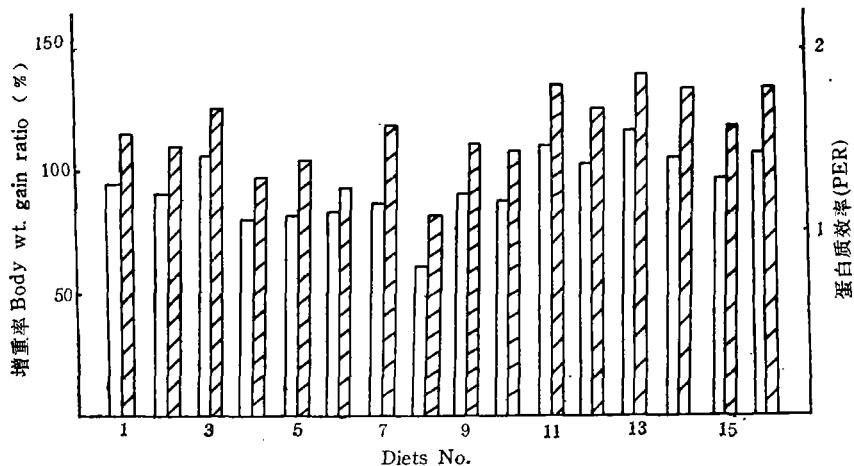


图1 草鱼鱼种无机盐需要量第一批饲养试验结果

Fig. 1 Results of mineral requirement test for juvenile grass carp in experiment series I

□ 增重率 ■ 蛋白质效率

表3 第一批试验各元素不同水平效应值计算表

Tab. 3 Effectiveness values of different level of various elements in experiment series I

元素 试验组	钙 Ca	磷 P	镁 Mg	铁 Fe	铜 Cu	钴 Co	碘 I	钾 K	硫 S	锌 Zn	锰 Mn	平均日增重率 %
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4.36
2	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	4.24
3	1	3	2	2	2	1	1	1	2	2	2	4.69
4	1	4	2	2	2	2	2	2	1	1	1	3.64
5	2	1	1	2	2	1	2	2	1	2	2	3.72
6	2	2	1	2	2	2	1	1	2	1	1	3.79
7	2	3	2	1	1	1	2	2	2	1	1	3.94
8	2	4	2	1	1	2	1	1	1	2	2	2.85
9	3	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	4.24
10	3	2	2	1	2	1	2	1	1	2	1	3.95
11	3	3	1	2	1	2	1	2	1	2	1	4.95
12	3	4	1	2	1	1	2	1	2	1	2	4.59
13	4	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	5.08
14	4	2	2	2	1	1	1	2	1	1	2	4.77
15	4	3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	4.33
16	4	4	1	1	2	1	1	2	2	2	1	4.87
效 K ₁	16.9	17.4	34.9	32.8	34.8	34.9	34.5	33.6	32.6	33.7	34.6	
应 K ₂	14.3	16.8	33.2	35.2	33.2	33.1	33.5	34.4	35.4	34.4	33.4	
值 K ₃	17.7	17.9										
K ₄	19.1	16.0										

注：表中 K₁—K₄ 分别表示各元素第 1-4 水平的相应效应值之和

80.1%。增重最快的第13组为最慢的第8组的177.9%。我们观察到第8、4组的试验鱼食欲逐渐减退，吃不完按体重7%、6%投给的饲料。而第13、11组试验鱼则食欲良好，能吃完占体重8%的投饲量。蛋白质效率与生长速度呈正变关系，第13、11组生长最快，蛋白质效率最高，第8、4组生长最慢，蛋白质效率最低。

为查明对草鱼种生长影响大的无机盐元素，以平均日增重率为指标（蛋白质效率与增重率一致，因此只用增重率指标），统计出各元素各水平对应的效应指标值（表3），据表3作表4进行元素效应分析^[3]。表4中，效应值以钙、磷、硫、铁、钴和镁比较大(>0.20)，其中以钙效应值1.18最大，磷0.49，硫0.36，铁0.30次之，表明钙对草鱼种生长影响最大，磷、硫、铁、钴和镁的影响较大，其它元素则影响较小。

第二批试验结果（图2）表明草鱼种普遍比第一批长得快和好，蛋白质效率比较高。

表4 第一批试验结果元素效应分析

Tab. 4 Analyses of effectiveness of the elements in experiment series I

元素 Elements		Ca	P	Mg	Fe	Cu	Co	I	K	S	Zn	Mn
水平 Level	平均效应值 \bar{K}_1	4.23	4.35	4.36	4.10	4.35	4.36	4.32	4.21	4.07	4.21	4.32
1	\bar{K}_2	3.58	4.19	4.15	4.40	4.15	4.14	4.19	4.30	4.43	4.30	4.18
2	\bar{K}_3	4.43	4.48									
3	\bar{K}_4	4.76	3.99									
效应值极差		1.18	0.49	0.21	0.30	0.20	0.22	0.13	0.09	0.36	0.09	0.14

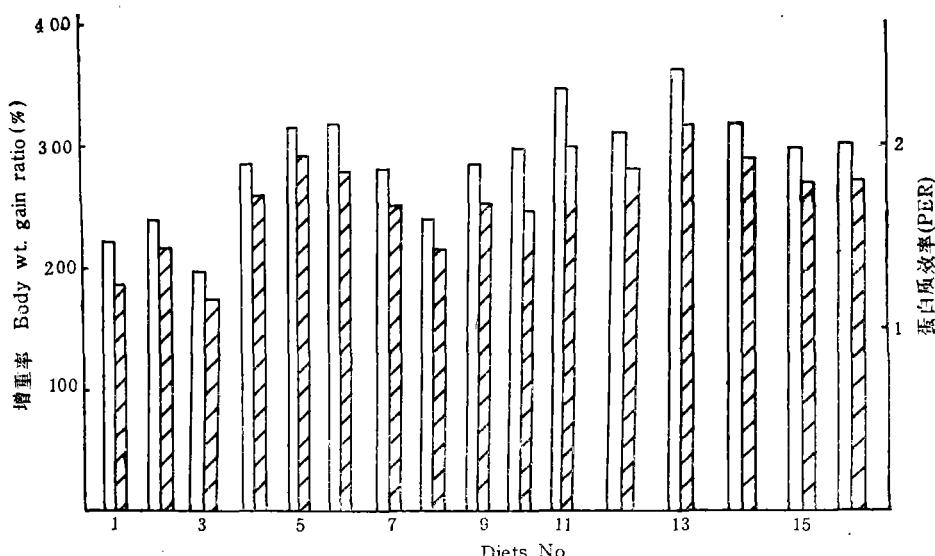


图2 第二批饲养试验结果
Fig. 2 Results of experiment series II

■ 增重率 ■ 蛋白质效率

其中第 13、11 组生长最快, 增重率分别为 355.4% 和 339.6%, 蛋白质效率最高, 分别为 2.07 和 1.99, 即 1 公斤蛋白质可转化为 2 公斤草鱼种。第 3、1 组长得最差, 增重率分别为 199.2% 和 223.2%, 比第 13 组约差 1 倍, 蛋白质效率最低, 分别为 1.17 和 1.26, 几乎两公斤蛋白质才长 1 公斤鱼种。

表 5 第二批试验结果方差分析

Tab. 5 Variance analyses on the results of experiment series II

方差来源 Source of variance	平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	均 方 Mean square	F	显著性 Significance
Ca	7.5	3	2.5	31.25	***
P	0.5	3	0.17	2.13	*
S	2.8	1	2.8	35.0	***
Fe	2.5	3	0.8	10.0	**
Mg	0.4	1	0.4	5.0	*
误差 Error	0.3	4	0.03		
总和 Total	14	15			

注: ***, ** 和 * 分别表示 $F > F$ 表 0.01 非常显著, $F > F$ 表 0.05 十分显著和 $F > F$ 表 0.25 显著

表 6 草鱼种无机盐需要量第三批试验结果

Tab. 6 Results of mineral requirement test for juvenile grass carp in experiment series III

饲料号 Diet No.	增重率 Gain ratio (%)	平均日增重率 Gain ratio/day (%)	饲料系数 Feed conversion	蛋白质效率 (PER)	体重日递增率 Body Wt. increasing ratio/day (%)
1	170.7	4.74	1.95	1.67	2.89
2	191.3	5.31	1.80	1.80	3.10
3	173.7	4.83	1.96	1.66	2.92
4	153.1	4.25	2.19	1.48	2.69
5	224.3	6.23	1.58	2.05	3.42
6	208.7	5.80	1.69	1.92	3.27
7	190.0	5.47	1.81	1.80	3.16
8	175.0	4.86	1.97	1.65	2.93
9	140.4	3.90	2.39	1.35	2.54

对试验结果作方差分析, 表 5 表明混合无机盐中, 以钙和硫的作用特别显著($> F$ 表 0.01), 铁的作用十分显著($> F$ 表 0.05), 磷与镁的作用也属显著($> F$ 表 0.25)^[3]。

第三批试验结果(表 6)以第 5、6 组最佳, 第 8、9 组最劣。第 9 组为不添加无机盐的纯基本饲料组。按体重日递增率计算, 第 5 组总体重增加 1 倍只需饲养 22 天, 而第 9 组则要 29 天。第 5 组蛋白质效率为 2.05, 比第 9 组 1.35 要高 51.9%。

对第三批试验结果进行方差分析。表 7 显示在本试验条件下钙和磷的作用显著($> F$ 表 0.25), 硫的作用不显著, 硫磷比有一定作用, 钙磷比和钙硫比的作用已不显著。

表7 第三批试验结果方差分析
Tab. 7 Variance analyses on the results of experiment series III

方差来源 Source of variance	平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F	显著性 Significance
Ca	1.3041	1	1.3041	14.22	*
P	0.8911	1	0.8911	9.72	*
S	0.1378	1	0.1378	1.50	
Ca×P	0.0666	1	0.0666		
Ca×S	0.1326	1	0.1326	1.45	
P×S	0.2211	1	0.2211	2.42	
误差	0.1167 (0.1833)	1 (2)	0.1167 (0.0917)		
总数	2.87	7			

注：括号内数字为误差项与 Ca×P 项合并后数值； * 表示 $F > F$ 表 0.25，显著

综上所述，钙、磷、硫、铁、镁和钴是对草鱼种生长影响较大的无机盐元素，其中钙的作用特别大。无机盐元素之间具有互相作用，1种或一些元素的丰歉会影响另一种或另一些元素的作用。因此不同试验条件下，各元素作用的大小除了具有相对稳定性之外，还具有相对变化性。对此，在注意到各元素作用大小的同时，还须注意及它们的综合作用。无机盐元素之间的协同作用，除钙磷比以外，磷硫比对草鱼生长影响较大。添加适宜的混合无机盐能显著地促进草鱼种生长，显著提高蛋白质效率，并有效地节省饲料。

(二) 草鱼种无机盐元素需要量

1. 以第一批试验结果作图，对各元素各含量水平与平均日增重率关系进行分析。图3显示钙、磷曲线起伏大，铁、硫、镁直线斜率大，表明这些元素含量水平的变化能引起增重率有比较大的变化。因此，它们的适宜含量水平还必须进一步试验寻找。而其余钾、碘、铜、锌、锰等关系线斜率小，表明它们的含量水平改变，并不能引起增重率有显著变化，所以，再作试验已意义不大，取目前较好含量水平即可。

2. 分析第二批试验结果，对钙、磷等5个重要元素的不同含量水平的饲养效果进行多重比较，采用Q表检验T法^[3]。

计算得到：钙、磷、铁均为 $k = 4$, $n = 4$, $\phi = 4$, $\bar{Se} = 0.08$, $q_1^4(0.05) = 5.76$, $T = 0.814$ 。

钙: $\mu_1 = 5.51$, $\mu_2 = 6.68$, $\mu_3 = 7.14$, $\mu_4 = 7.21$, 这里 μ_1 、 μ_2 、 μ_3 和 μ_4 分别代表钙第1、2、3、4含量水平各自对应的指标平均值(平均日增重率的平均值)。

$$|\mu_1 - \mu_2| = 1.17, \quad 1.17 > 0.814 \text{ (T 值)}$$

$$|\mu_2 - \mu_3| = 0.46, \quad 0.46 < 0.814$$

$$|\mu_3 - \mu_4| = 0.07, \quad 0.07 < 0.814$$

$$|\mu_1 - \mu_3| = 1.63, \quad 1.63 > 0.814$$

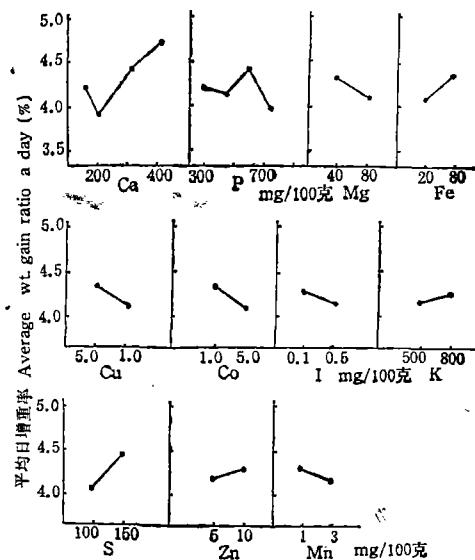


图3 第一批试验各元素含量与平均日增重率的关系

Fig. 3 Relation between different level of various element and the average body Weight gain ratio per day in experiment series I

$$|\mu_1 - \mu_4| = 1.70, \quad 1.70 > 0.814$$

钙第1含量水平与第2含量水平,其饲养效果有一个飞跃,差值明显大于T值。其后第2—4水平,差值明显递减,均显著小于T值,表明随着饲料钙含量的提高,草鱼增重率明显增大,但不是直线上升。3、4水平之间差值仅0.07,表示钙的第4含量水平已很接近最适水平。

磷: $\mu_1 = 6.83, \mu_2 = 6.78, \mu_3 = 6.42, \mu_4 = 6.51$ 。磷的四个含量水平的饲养效果彼此差异小,所有差值均小于T值0.814。各 μ 值大小的变化趋势表明,草鱼增重率随着磷含量水平的降低而升高。 μ_1 值最大, μ_2 值其次, μ_1 与 μ_2 只相差0.05,表明磷的第1含量水平已很接近最适水平。

铁: $\mu_1 = 6.77, \mu_2 = 6.68, \mu_3 = 6.00, \mu_4 = 7.10$ 。铁第4含量水平与第3含量水平的饲养效果相差显著。 $|\mu_4 - \mu_3| = 1.10, 1.10 > 0.814$ (T值)。 μ_4 值最大,表示铁第4含量水平比其它水平好,但是 μ_4 与 μ_3 差别大,因而第4水平还不一定是最适水平,有必要进一步试验。

对于硫和镁: $k = 2, n = 8, \phi = 4, \bar{Se} = 0.08, q^2(0.05) = 3.93, T = 0.393$ 。

硫: $\mu_1 = 6.21, \mu_2 = 7.01, |\mu_1 - \mu_2| = 0.80, 0.80 > 0.393$ (T值)。硫两含量水平饲养效果相差大,表明草鱼增重率随着饲料硫含量的增高而明显增大,硫第2含量水平很可能还未达到最适水平。

镁: $\mu_1 = 6.48, \mu_2 = 6.79, |\mu_1 - \mu_2| = 0.31, 0.31 < 0.393$ (T值),表明草鱼增重率有随饲料镁含量增加而增高的趋势,但增高的幅度不大,不显著。这样,镁第2含量水平即已接近最适水平。

3. 据第三批试验结果对钙、磷、硫不同含量水平的饲养效果进行多重比较。由表6

计算得出: $k = 2$, $n = 4$, $\phi = 3$, $q_2^2(0.05) = 6.08$, $T = 0.986$ 。

钙: $\mu_1 = 4.78$, $\mu_2 = 5.59$, $|\mu_1 - \mu_2| = 0.81$, $0.81 < 0.986$ (T 值), 表明钙的两含量水平的饲养效果已差异不大, μ_2 值较大, 即钙的第 2 含量水平已是适宜水平。

磷: $\mu_1 = 5.52$, $\mu_2 = 4.85$, $|\mu_1 - \mu_2| = 0.67$, $0.67 < 0.986$ (T 值), 表明磷的两含量水平的饲养效果差不多, μ_1 值较大, 即磷的第 1 含量水平已是最适水平。

硫: $\mu_1 = 5.32$, $\mu_2 = 5.06$, $|\mu_1 - \mu_2| = 0.26$, $0.26 < 0.986$ (T 值), 显示硫两含量水平的饲养效果差异很小, 第 1 含量水平即为适宜水平。

以上分析说明经过三批试验, 钙、磷等 11 种元素的适宜含量水平已经找到。但是, 起重要作用的元素按适宜水平组合起来是否就是效果最好? 对此, 进一步分析主要元素不同水平组合的饲养效果。据第 3 批试验结果(表 6)作每两元素不同水平组合的饲养效果比较^[3](表 8)。展示以钙第 2 含量水平与磷第 1 含量水平组合其饲养效应值最大, 以钙第 2 含量水平与硫第 1 含量水平组合, 以及磷第 1 含量水平与硫第 2 含量水平组合效应值最大。综合上述 3 种最优组合, 以钙第 2 含量水平、磷第 1 含量水平为优, 但硫与钙、磷组

表 8 钙磷、钙硫及磷硫两元素不同水平组合的饲养效果比较
Tab. 8 Comparison of the effect of different level combinations for calcium and phosphorus, calcium and sulphur, and phosphorus and sulphur, respectively, in the feeding experiment

	钙 1	钙 2	磷 1	磷 2
磷 1 (P1)	$\frac{4.74+5.31}{2}=5.03$	$\frac{6.23+5.80}{2}=6.02$		
磷 2 (P2)	$\frac{4.83+4.25}{2}=4.54$	$\frac{5.47+4.86}{2}=5.17$		
硫 1 (S1)	$\frac{4.74+4.83}{2}=4.79$	$\frac{6.23+5.47}{2}=5.85$	$\frac{4.74+6.23}{2}=5.49$	$\frac{4.83+5.47}{2}=5.15$
硫 2 (S2)	$\frac{5.31+4.25}{2}=4.78$	$\frac{5.80+4.86}{2}=5.33$	$\frac{5.31+5.80}{2}=5.56$	$\frac{4.25+4.86}{2}=4.56$

合的最优水平不一致, 需进一步分析。表 7 方差分析表明, 磷硫比的作用相对较大, 因此, 硫似应取第 2 含量水平, 以确保磷硫比起作用。然而, 仔细比较磷第 1 水平与硫第 2、1 水平的组合, 其实最优组合的磷 1 水平硫 2 水平的效应值仅比磷 1 水平硫 1 水平的组合的效应值略大 0.07, 即只是个无意义的微小差别。所以, 硫取第 1 含量水平也可以, 这样还可同时满足钙硫组合最佳效应。经过组合效应比较, 最后得到与前面多重比较的结果完全一致。

4. 第四批试验饲养 60 天的结果(表 9)表明 A、B 两组无机盐饲料所养草鱼种都生长良好, 以 A 组更优。A 组 3 个池的草鱼种都要比 B 组的任何 1 个池的长得快, 长得好。A 组 3 平行池平均增重 454.3%, 比 B 组 3 平行池平均增重率高 17%, 蛋白质效率比 B 组高 19.3%。这批试验验证了由前三批试验获得的草鱼种饲料适宜无机盐含量, 确立了由各元素适宜水平组成的最优混合无机盐配方, 证实了草鱼种快速健康生长的无机盐元素需要量。

5. 第五批试验饲养 60 天的结果(表 10)说明, 尽管是在 11—12 月进行试验, 水温

低，但是 A 混合无机盐组 3 平行池平均增重率仍然达 162.7%，比美国药典营养盐加哈尔佛微量元素组高 14.7%，蛋白质效率也高。这证明经过四批试验获得的 A 组混合无机盐配方比美国药典 U. S. P. XII. No. 2 营养盐配方加 Halver 氏微量元素更适于草鱼种生长需要。

表 9 第四批试验中最优混合无机盐配方鉴别结果
Tab. 9 Results of the discrimination test for the formula of optimum mineral mixture in experiment series IV

饲料号 Diet No.	增重率 Wt. gain ratio (%)	三平行池平均 Mean of three parallel tanks (%)	平均日增重率 Wt. Gain ratio/day (%)	三平行池平均 Mean of three parallel tanks (%)	蛋白质效率 (PER)	三平行池平均 Mean of three parallel tanks (%)
1A	446.8		7.45		1.91	
2A	444.8	454.3	7.41	7.58	1.99	1.92
3A	472.3		7.87		1.85	
4B	384.2		6.40		1.54	
5B	391.1	388.2	6.52	6.47	1.66	1.61
6B	389.4		6.49		1.64	

表 10 第五批试验中无机混合盐 A 与美国药典营养盐饲养效果的比较
Tab. 10 Comparison between the results of feeding with mineral A obtained from the experiment series V and the results of feeding with U. S. P. XII. No. 2 plus Halver's trace element

饲料号 Diet No.	增重率 ¹ (%)	3平行池 ² 平均增重率(%)	蛋白质效率 (PER)	3池平均 ³ 蛋白质效率
混合无机盐 A	1	161.4	0.96	0.95
	2			
	3			
美国药典 XII. No. 2	4	173.0	0.98	0.88
	5	153.7	0.92	
加微量元素	6	142.6		
		159.6	0.88	
		123.2	0.93	0.88
			0.83	

1. Gain ratio

2. Mean gain ratio of three parallel tanks

3. Mean PER of three parallel tanks

综上所述，通过五批饲养试验获得了草鱼营养试验所需的新型混合无机盐配方（表 11），得到草鱼种饲料所需的适宜无机盐添加量为 9.7%（据第四、五批试验 A 组混合盐干重占饲料干重计算）。根据平均日投喂量占体重的实际比例计算，每 100 克草鱼种对无机盐 13 种元素的日需要量为表 12 所示。根据需要量计算得到钙、磷、硫、铁、镁之间的适宜比例约为：Ca:P:S:Fe:Mg ≈ 18:12:9:2:1

表 11 草鱼种最佳混合无机盐配方

Tab. 11 Optimum formula of inorganic salt mixture for juvenile grass carp

盐类 Salts	百分组成 (%)
磷酸二氢钙	12.287
乳酸钙	47.424
磷酸二氢钠	4.203
硫酸钾	16.383
硫酸亚铁	1.078
柠檬酸铁	3.826
硫酸镁	4.419
硫酸锌	0.474
硫酸锰	0.033
硫酸铜	0.022
氯化钴	0.043
碘酸钾	0.002
氯化钠	3.233
氯化钾	6.575

表 12 草鱼鱼种无机盐元素日需要量

Tab. 12 Daily requirements of mineral in juvenile grass carp

元 素 Elements	毫克/100 克草鱼种·日 mg/100g Body wt./day
Ca	32.63—36.69
P	22.05—24.79
S	15.49—17.41
Fe	4.10—4.60
Mg	1.79—2.01
Co	0.045—0.051
Cu	0.023—0.025
Mn	0.045—0.051
I	0.005—0.006
Zn	0.44—0.50
K	25.0—28.33
Na	7.68—8.7
Cl	20.87—23.46

(三) 试验鱼鱼体生化成分

常规用草饲养的草鱼种,其背肌灰分含量变化在 1.01—1.45%,各批试验背肌灰分含量变动在 0.92—1.43%,表明除了少数之外,大部分灰分含量正常(表 13—15)。分析每一批情况,第一第二批试验的所有试验组灰分都低于试验前,第三批则高于试验前,第四、五批正常,尤其是第五批几乎与用草饲养的草鱼种完全相同。在第二、三批试验中,背肌灰分有随着饲料无机盐添加量增加而增加的趋向,但不成比例。第一至第五批试验背肌灰分状况基本上反映了饲料无机盐的添加,由不合适到合适的过程。

草鱼种背肌钙含量,第五批试验用草饲养的其平均值为 0.15%,混合盐 A 组 3 池平

表 13 第一、二批试验草鱼体成分*
 Tab. 13 Body composition of juvenile grass carp in
 experiment series I and II

试 ¹ 验批	饲 ² 料号	肌 肉 ³				脊椎骨 ⁴ 头骨 ⁵		脊椎骨 头骨 肌肉		
		水分 ⁶ (%)	脂肪 ⁷ (%)	灰分 ⁸ (%)	粗蛋白 ⁹ (%)	钙 ¹⁰ (%)		磷 ¹¹ (%)		
第 ¹² 一批 试 验	1	80.27	0.25	1.13	15.73	18.70	19.90	6.26	7.17	0.775
	2	79.81	0.57	1.25	17.28	18.50	21.09	6.28	6.73	0.890
	3	80.61	0.46	1.15	16.68	19.74	21.02	6.59	7.85	0.781
	4	80.53	0.33	1.12	16.89	17.35	20.11	6.49	6.55	0.847
	5	79.87	0.43	1.23	16.73	18.86	21.06	6.00	6.65	0.712
	6	79.72	0.36	1.25	17.43	19.69	20.40	6.22	6.17	0.867
	7	79.78	0.32	1.16	15.33	19.16	19.81	6.36	6.98	0.840
	8	81.48	0.29	1.11	15.52	18.58	20.92	6.09	6.85	0.707
	9	80.81	0.34	1.10	16.13	19.08	19.66	6.16	5.98	0.860
	10	81.34	0.20	1.08	15.31	19.55	20.83	6.13	7.39	0.829
	11	79.99	0.42	1.25	16.75	18.69	19.95	6.16	6.73	0.811
	12	81.01	0.29	1.17	15.53	19.07	20.69	6.08	6.65	0.796
	13	80.53	0.39	1.24	16.38	20.29	20.53	6.39	6.38	0.824
	14	80.65	0.13	1.36	16.03	18.52	19.81	6.49	6.54	0.770
	15	81.06	0.25	1.21	15.52	19.30	20.63	6.81	6.98	0.794
	16	81.23	0.31	1.21	15.88	17.63	19.65	6.82	6.94	0.879
	试验前 ¹³	81.89	0.16	1.45	14.91	17.86	18.40	8.17	8.24	0.804
第 ¹⁴ 二批 试 验	1	80.45	2.00	1.04	16.34	19.99	21.50	7.56	7.95	0.85
	2	81.10	1.80	0.93	16.24	17.68	20.68	7.04	8.30	0.81
	3	80.10	1.96	0.99	17.15	18.31	21.54	7.47	8.33	0.83
	4	80.09	2.04	0.92	16.64	18.38	20.38	7.27	7.89	0.87
	5	81.10	1.63	0.95	15.76	17.45	21.31	7.61	8.13	0.84
	6	80.25	1.61	1.03	16.72	18.16	20.63	8.13	9.76	0.87
	7	79.99	2.00	1.00	16.71	19.55	20.84	7.75	8.82	0.85
	8	80.21	2.04	1.02	16.54	19.07	20.00	7.53	8.11	0.84
	9	79.60	1.75	1.10	17.41	17.19	19.80	6.74	8.43	0.88
	10	80.49	1.49	1.05	16.65	17.89	19.48	7.14	8.62	0.86
	11	80.46	1.33	1.07	16.66	19.73	20.73	8.01	8.46	0.88
	12	80.08	1.50	1.04	17.22	19.40	20.38	7.54	8.17	0.85
	13	79.65	1.32	1.10	17.52	17.92	21.53	7.14	8.63	0.85
	14	80.52	1.23	1.06	16.88	19.47	20.82	8.09	8.24	0.88
	15	81.12	1.32	1.03	16.19	19.22	20.76	7.69	8.40	0.83
	16	79.97	1.69	1.08	16.92	18.25	20.41	7.58	8.64	0.83
	试验前 ³	80.98	0.66	1.20	15.97	19.19	21.76	8.13	8.48	1.04

* 表中水分、脂肪、灰分和粗蛋白是以湿重计算，钙和磷是以干重计算

Moisture, lipid, ash and crude protein content(% on wet basis), calcium and phosphorus content (% on dry basis)

1. experiment 2. diet No. 3. dorsal muscle 4. vertebrae 5. head bones 6. moisture content
 7. lipid 8. ash 9. crude protein 10. calcium 11. phosphorus 12. series I 13. before test 14.
 series II

表 14 第三、四批试验草鱼体成分
Tab. 14 Body composition of juvenile grass carp in experiment series III and IV

样品号	肌肉水份(%)	肌肉粗脂肪(%)	肌肉灰份(%)	肌肉粗蛋白(%)	头骨钙(%)	脊椎骨	肌肉磷(%)	头骨磷(%)	脊椎骨	头骨镁(%)	脊椎骨镁(%)
1	82.18	2.57	1.20	14.79	21.11	18.17	1.06	9.87	8.25	0.34	0.25
2	82.96	1.59	1.23	14.20	21.71	18.35	1.10	10.01	8.70	0.35	0.27
3	82.30	1.84	1.34	14.64	19.80	19.03	1.08	10.00	9.03	0.33	0.28
4	81.21	1.64	1.31	14.67	20.35	19.10	1.11	10.05	8.90	0.34	0.28
5	81.59	1.29	1.43	15.09	20.82	18.04	1.10	10.08	8.52	0.34	0.25
6	81.61	1.09	1.38	15.51	20.68	19.21	1.07	10.07	8.89	0.34	0.26
7	82.45	1.21	1.41	14.95	19.50	18.23	1.06	9.75	8.21	0.31	0.25
8	82.15	1.33	1.42	14.70	19.68	18.01	1.05	9.60	8.24	0.32	0.24
9	81.06	1.69	1.30	15.63	19.96	18.20	1.00	9.71	8.32	0.32	0.24
试验前	81.98	0.18	1.01	15.31	18.91	17.55	—	9.07	8.12	0.28	0.23
A*	79.61	0.88	0.98	18.07	21.26	18.01	0.95	10.23	9.11	0.32	0.23
A	79.91	0.68	1.06	17.82	20.84	19.01	0.99	10.03	8.86	0.31	0.25
A	79.55	0.88	1.03	18.23	21.56	19.10	1.00	9.65	9.12	0.36	0.26
B	79.01	0.79	1.04	17.90	21.20	18.53	0.98	10.58	9.32	0.35	0.24
B	79.28	0.63	1.05	17.67	20.88	19.00	1.06	10.07	9.42	0.33	0.24
B	79.62	0.69	1.05	18.12	21.07	18.92	1.06	10.35	9.53	0.36	0.25

* A. B 分别为混合无机盐 A. B 组饲料所养草鱼。

表 15 第五批试验草鱼种成分
Tab. 15 Body composition of juvenile grass carp in experiment series V

肌肉样品 Sample of dorsal muscle	水 分 Moisture (%)	脂 肪 Lipid (%)	灰 分 Ash (%)	粗 蛋 白 Crude protein (%)
A*	78.34	2.10	1.14	18.24
A	78.11	2.21	1.16	18.45
A	78.76	1.98	1.11	17.00
美	78.36	2.28	1.14	18.11
美	78.09	1.20	1.10	18.49
美	79.18	1.72	1.07	17.70
草	81.26	0.28	1.16	17.07

A*——试验所得最优混合无机盐饲料所养草鱼种。

美——美国药典 U. S. P. XII. No. 2 加哈尔佛氏微量元素饲料所养草鱼种。

草——用草饲养的草鱼种。

均为 0.14%，美国药典营养盐组 3 池平均也是 0.14%，试验鱼与饲草的相一致(表 16)。

草鱼种背肌磷含量，喂草的变化在 0.80—1.04%，除了第一批试验有少数试验组偏低之外，大多数在此范围内。第五批试验，喂草的草鱼种背肌磷含量平均值为 0.99%，A 混

表 16 第五批试验结束各组草鱼种鱼体无机盐元素含量
 Tab. 16 Mineral contents in the body of juvenile grass carp at the end of experiment series V

元素含量(%)干重 Content of element (% on dry weight)	钙 Ca	磷 P	镁 Mg	铁 Fe	钾 K	钠 Na	铜 Cu	锌 Zn	锰 Mn	钴 Co
脊椎骨										
饲草草鱼种	21.5	11.5	0.27	0.0002	0.037	0.20	0.0016	0.0030	—	0.0004
A 草鱼种	20.1	10.8	0.23	0.0014	0.036	0.25	0.0015	0.0020	—	0.0004
美草鱼种	18.0	10.1	0.24	0.0019	0.081	0.29	0.0016	0.0048	—	0.0004
背肌肉										
饲草草鱼种	0.15	0.99	0.13	0.026	1.85	0.18	0.0009	0.0025	0.00010	0
A 草鱼种	0.14	1.01	0.13	0.0013	1.56	0.22	0	0.0029	0.00007	0.00004
美草鱼种	0.14	1.00	0.13	0.0010	1.50	0.26	0	0.0029	0.00007	0.00007

注：各组三平行池每池取 5 尾制成混合样品，用等离子光谱仪测定

A 草鱼——A 组混合无机盐饲料所养草鱼种

美草鱼——美国药典混合无机盐加微量元素饲料所饲养草鱼种

合盐组为 1.01%，美国药典营养盐组为 1.00%，十分一致(表 16)。

喂草的草鱼种，其头骨钙含量为 18.40—21.76%，比脊椎骨含钙 17.55—21.50% 略高。试验草鱼种也是头骨钙含量比脊椎骨略高。试验草鱼头骨钙含量与喂草的草鱼相一致，脊椎骨钙含量除开第一、二批试验少数组偏低之外，大多数与喂草的草鱼相一致(表 13—16)。第五批试验混合盐 A 组与美国药典营养盐组草鱼脊椎骨钙含量分别平均为 20.1% 和 18.0%，虽然都在喂草草鱼脊椎骨含钙的正常范围内，但美国药典营养盐组显得相对偏低。

草鱼种骨骼磷含量，无论喂草的或喂饲料的，都是头骨稍高于脊椎骨。喂草的草鱼脊椎骨磷含量变动在 8.12—11.5%，试验草鱼除了第一、二批试验中多数试验组偏低不正常以外，其它各批均与喂草的草鱼相一致。第五批试验，喂草的鱼脊椎骨磷含量为 11.5%，混合盐 A 组为 10.8%，美国药典营养盐组为 10.1% 相对偏低，但仍属正常。

用草饲养的草鱼种脊椎骨镁含量为 0.23—0.27%，第三、四、五批试验的草鱼都在此范围内(第三批个别试验组为 0.28% 除外)。

铁、钾、钠、铜、锌、锰和钴在试验草鱼鱼体的含量，第五批试验结束所作的测定(表 16)表明，除铁之外，试验鱼与喂草的鱼基本一致。

试验草鱼种背肌蛋白质含量，除个别试验组外，绝大多数要比喂草的鱼高些。第五批试验混合盐 A 组草鱼背肌蛋白质含量 3 池平均值为 18.20%，美国药典营养盐组为 18.10%，喂草的为 17.07%，以混合盐 A 组最高。

美国药典营养盐组草鱼种平均血红蛋白含量为 6.77 克/100 毫升全血，混合盐 A 组为 6.22 克/100 毫升全血，喂草的为 4.86 克/100 毫升全血，表明试验鱼不贫血，很健康。与朱心玲等^[3]所测得的草鱼血红蛋白含量正常值(Hb 4.83—7.97%)比较，也属于健康正常。试验草鱼血清钙、磷和镁的含量，也是稍高于喂草的鱼，属于正常(表 17)。

表 17 第五批试验草鱼种血液成分
Tab. 17 Blood composition in juvenile grass carp in experiment series V

样 品 Sample	血红蛋白 Hbg/100ml	血 清 钙 Ca mg/100ml	血 清 镁 Mg mEq/l	血 清 磷 Pmg/100ml
A	6.330	10.20	3.754	9.608
A	5.292	10.60	3.567	11.217
A	7.028	10.70	3.105	10.261
美	6.403	10.67	3.859	11.696
美	6.514	10.88	4.105	12.087
美	7.397	10.20	3.912	11.174
草	4.858	9.40	3.017	8.608

注：脚注同表 15。

上述可见，使用通过五批试验所获得的混合无机盐配方饲料饲养的草鱼种，其鱼体生化成分与用草饲养的鱼种十分一致，说明新取得的混合无机盐配方能够满足草鱼种快速健康地生长的需要，并优于美国药典营养盐。

小 结 与 讨 论

综上所述，鱼类生长需要多种无机盐，满足它的要求就能促进快速健康生长，否则生长迟缓，甚至出现营养缺乏症。无机盐不仅参与了鱼类许多重要生理生化过程，而且成为鱼体不可缺少的物质组成部分。鱼类需要的无机盐元素已有研究报道的计 12 种以上。本试验研究了 13 种，其中对钙、磷、铁、镁和硫的试验比较细致。试验结果说明钙、磷、铁、硫、镁、钴和铜对草鱼种生长的影响比较大，特别是钙的作用最为突出。草鱼对钙需要量大，钙对草鱼生长影响大，这点与日本鳗相似^[12]，而与鲤、虹鳟不同^[14,17]。磷对草鱼生长的影响相对不那么大，这与日本鳗相似，不同于鲤和虹鳟。

在前述试验条件下，体重 4.0—200 克的草鱼种获得最快生长时对无机盐元素的需要如下述：钙为干饲料的 0.725%，高于日本鳗 (*Anguilla Japonica*) 需钙 0.27%^[12]，红海鲷 (*Chrysophrys major*) 需钙 0.34%^[21]，和虹鳟 (*Salmo gairdneri irideus*) 的 0.25%^[11]。从鲤 (*Cyprinus carpio*) 0.028%^[14] 和斑点叉尾鮰 (*Ictalurus punctatus*) 0.05%^[10] 的钙最低需要量估计，草鱼需钙也比它们高。草鱼种需总磷为干饲料的 0.49%，高于日本鳗需总磷 0.29%^[12]。从鲤需有效磷 0.6—0.7%^[14]，红海鲷需有效磷 0.68%^[21]，虹鳟需 0.7—0.8%^[17]，非鲫 (*Tilapia nilotica*) 需 0.9%^[11]，以及斑点叉尾鮰磷最低需要量 0.45%^[10]，或 0.42%^[25]来看，草鱼需磷比它们低。草鱼种需镁为干饲料的 0.04%，与日本鳗 0.04%^[12] 相同，低于虹鳟 0.025—0.07%^[15,9]，和鲤 0.04—0.05%^[13]。比较斑点叉尾鮰镁最低需要量 0.04%，红海鲷 0.012%^[23]，则草鱼需镁低于前者而高于后者。草鱼种需干饲料含铁 0.09%，高于日本鳗需铁 0.017%，红海鲷需铁 0.015%^[22]。草鱼种要求干饲料含铜 5ppm 和含锰 10ppm，与鲤需铜 3ppm 需锰 12—13ppm 稍为不同^[19]，与虹鳟需铜 0.7—3ppm 需锰 12—13ppm 也不一致，比斑点叉尾鮰最低需铜量 1.5ppm 高些^[11]。草鱼种需干饲料含锌 49—98ppm，高于虹鳟需锌 15—30ppm^[16]，鲤需锌 5—30ppm^[18]，也高于斑点叉尾鮰需锌

(最低需要量) 20ppm^[11]。与 Ketola 所作虹鳟含锌 60ppm 的白鱼粉饲料需要加入 150ppm 硫酸锌相比，则可能草鱼需锌低于虹鳟^[8,11]。草鱼种需干饲料含碘 1.2ppm，比大鳞大马哈鱼需碘 0.6—1.1ppm 略多^[11]。草鱼种需硫为干饲料的 0.34%，此点还没有资料可比较，其它钴、钾、钠和氯也缺乏资料对比。

草鱼种对于钙、磷比的要求约为 1.5:1，实际上此比值并不是要求很严格的，试验中有钙磷比为 2:1 与 1:1 的试验组，其饲养效果也不错。日本鳗要求钙、磷比 1:1^[12]，红海鲷要求 1:2^[21]，美洲红点鲑要求 1:1，而鲤要求 2:1—1:1^[6] 看来不同种类的鱼要求各不相同，但总是在钙、磷比为 1:2—2:1 的范围内。

磷、硫比对草鱼生长有值得注意的影响，这是本试验得到的一个新认识，其机理有待于研究。草鱼种对饲料中钙、磷、硫、铁和镁的适宜比例要求可粗略地表示为： $\text{Ca:P:S:Fe:Mg} \approx 18:12:9:2:1$ 。

由于试验目的是求得草鱼种健康快速生长的无机盐需要量，而不是寻找维持正常生长的最低需要量，因此没有专门做缺乏症试验。从不添加无机盐的对照组和无机盐添加不适宜的试验组来看，试验草鱼种出现的无机盐缺乏症状为食欲差，生长迟缓，行动呆滞，易脱落鳞片，蛋白质效率低，少数鱼脊椎骨弯曲，鱼体生化成分不正常，甚至有少量死亡等。

对于无机盐需要量的确定，有些学者根据生长率，有的根据生长率和一些血液指标，有的根据没有出现缺乏症状，而有的则根据生长率和脊椎骨、鱼体成分等。本试验是根据生长率、蛋白质效率、脊椎骨头骨和肌肉等鱼体成分，以及血红蛋白、血清钙磷镁等血液指标。

本试验采用正交设计法安排试验，不仅节省了许多工作量，获得了草鱼种 11—13 种无机盐元素的需要量，查明了这些元素的主次关系，得到适宜的饲料无机盐总含量为 9.7%，而且也初步地探索了这些元素的综合作用，表明正交设计法优点很多，可供其它试验参考。

鱼类对无机盐的需要量，取决于它的代谢速度，对饲料无机盐的吸收利用率，环境中无机盐含量，以及它从水吸收无机盐的能力。而反过来无机盐又强烈地影响鱼类代谢和生长。因此，不同种类的鱼，不同发育生长阶段和不同生态环境，就必然呈现出对无机盐的不同需要。看来各种鱼都应该有它独具的无机盐需要。这点与 James 等(1982)^[7]的观点一致。本试验取得比美国药典 U. S. P. XII. No. 2 营养盐配方加哈尔佛氏微量元素更适于草鱼种生长需要的新型混合无机盐，就是一个例证。

根据试验结果开展了饲料添加剂研究，取得了初步成效，但还没有达到在本试验中无机盐促进草鱼种生长的那种显著效果。其原因之一就是还没有做无机盐吸收利用率，和饲料中无机盐的吸收利用等研究，而这工作无论在理论上或生产上都具有意义，是值得深入研究的。

参 考 文 献

- [1] 上海市医学化验所，1979。临床生化检验。上海科学技术出版社。
- [2] 中国医学科学院营养卫生研究所，1961。食物营养成分测定法。人民卫生出版社。
- [3] 中国科学院数学研究所统计组，1973。常用数理统计方法。科学出版社。

- [4] 毛永庆、蔡发盛、林鼎, 1984。幼鲩(草鱼)对蛋白质、糖、脂肪、无机混合盐和纤维素日需要量的研究。鱼类学论文集,(第四辑): 66—67。
- [5] 朱心玲、贾丽珠、张明瑛, 1985。草鱼血液学的研究。水生生物学报, 9(3): 249—256。
- [6] 蔡完其译(桥本芳郎编), 1980。养鱼饲料学。农业出版社。
- [7] James, F. M. and Roberts, R. J., 1982. Recent advances in aquaculture. pp. 215—263. Westview press. London & Canberra.
- [8] Ketola, H. G., 1979. Influence of dietary zinc on cataracts in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Nutr.*, 109: 965—969.
- [9] Knox, D., Cowey, C. B. and Adron, J. W., 1981. Studies on the nutrition of salmonid fish. The magnesium requirement of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Br. J. Nutr.*, 45: 137—148.
- [10] Lovell, R. T., 1978. Dietary phosphorus requirement of channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Trans. Am. Fish. Soc.*, 107: 617—621.
- [11] National Research Council, 1983. Nutrient requirement of warmwater fishes and shellfishes. pp. 23—29. Washington, D. C.
- [12] Nose, T. and Arai, S., 1976. Recent advances in studies on mineral nutrition of fish in Japan. In: FAD conf. on aquacult., Kyoto, 1976. FIR: AQ/Conf./76./E. 25.
- [13] Ogino, C. and Chiou, J. Y., 1976. Mineral requirements in fish. II. Magnesium requirement of carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 42: 71—75.
- [14] Ogino, C., 1976. Mineral requirements in fish. III. Calcium and phosphorus requirements in carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 42: 793—799.
- [15] Ogino, C., Takashima, F. and Chiou, J. Y., 1978. Requirement of rainbow trout for dietary magnesium. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 44: 1105—1108.
- [16] Ogino, C. and Yang, G. Y., 1978. Requirement of rainbow trout for dietary zinc. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 44: 1015—1018.
- [17] Ogino, C. and Takeda, H., 1978. Requirements of rainbow trout for dietary calcium and phosphorus. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 44: 1019—1022.
- [18] Ogino, C. and Yang, G. Y., 1979. Requirement of carp for dietary zinc. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 45: 967—969.
- [19] Ogino, C. and Yang, G. Y., 1980. Requirements of carp and rainbow trout for dietary manganese and copper. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 46(4): 455—458.
- [20] Phillips, A. M., Jr., 1969. Nutrition digestion and energy utilization. In: W. S. Hoar & D. J. Randall, Fish physiology. Vol. I. pp. 406—407. Academic press. New York and London.
- [21] Sakamoto, S. and Yone, Y., 1973. Effect of dietary calcium/phosphorus ratio upon growth, feed efficiency, and blood serum calcium and phosphorus level in red sea bream. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 39(4): 343—348.
- [22] Sakamoto, S. and Yone, Y., 1978. Requirement of red sea bream for dietary iron. II. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 44: 223—225.
- [23] Sakamoto, S. and Yone, Y., 1979. Requirement of red sea bream for dietary Mg. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 45: 57—60.
- [24] Satoh, S., 1983. Effects on growth and mineral composition of carp of deletion of trace elements or magnesium from fish meal diet. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 49(3): 431—435.
- [25] Wilson, R. P., Robinson, E. H., Gatlin III, D. M. and William, E. P., 1982. Dietary phosphorus requirement of channel catfish. *J. Nutr.*, 112: 1197—1202.

STUDIES ON THE MINERAL REQUIREMENT IN JUVENILE GRASS CARP (*CTENOPHARYNGODON IDELLUS C. & V.*)

Huang Yaotong and Liu Yongjian

(Ichthyology Laboratory Zhongshan University, Guangzhou)

Abstract

The L16($4^2 \times 2^3$), L16($4^4 \times 2^3$) and L8(2^7) tables of the orthogonal design method were applied to the mineral requirements of juvenile grass carp in three series of feeding experiments. In order to obtain the mineral mixture formula with optimum culture effect, the differentiation tests using three parallel cement tanks as a experiment group were conducted in series 4 and series 5 of the rearing experiments. Average body weight of 10.1 g, 5.6 g, 4.4 g, 12.7 g and 75.8 g were employed in the experiment series 1—5. The test diets consisted of casein, dextrin, peanut oil, cellulose powder, vitamin mixture and mineral mix designed in the proper proportion. The feeding tests were conducted in the $3 \times 2 \times 1$ m of cement tanks with slightly running water under condition of the water temperature 27.5—31.0 °C, 26.0—30.8°C, 29.0—34.0°C, 24.1—31.5°C and 11.8—25.5°C in the sequence of the various series of tests. The results showed that adequate amount of mineral mixture was 9.7% of a dry diet for juvenile grass carp. The mineral elements requires in a diet for juvenile grass carp producing the maximal growth were found to be 32.6—36.7 mg calcium, 22.1—24.8 mg phosphorus, 15.5—17.4 mg sulphur, 4.1—4.6 mg iron, 1.8—2.0 mg magnesium, 0.04—0.05 mg cobalt, 0.02—0.03 mg copper, 0.04—0.05 mg manganese, 0.005—0.006 mg iodine, 0.44—0.50 mg zinc, 25.0—28.3 mg potassium, 7.7—8.7 mg sodium and 20.9—23.5 mg chlorine per 100 g body weight per day. Dietary calcium, phosphorus, sulphur, iron, magnesium, cobalt and copper affected greatly the growth of grass carp fingerlings. The adequate ratio between main dietary elements was found to be approximately Ca/P/S/Fe/Mg = 18/12/9/2/1. The feeding experiments demonstrated the proper amount and ratio of minerals in a diet can remarkably promote growth of juvenile grass carp and dietary mineral deficiency can result in the development of anorexia, poor growth, low PER and a high mortality.

The biochemical composition of dorsal muscles, vertebrae and blood from both the grass carp fingerlings fed on mainly grass and fed on test diet containing adequate minerals were shown to be conformity each other.

Key words Grass carp, mineral requirement, body composition.