

池塘饲养鱼类优化结构及其增产原理

Ⅲ. 池养草鱼适宜生长的食物结构及其需求量

陈立侨* 陈英鸿 倪达书

(中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

提 要

在实验室以浮萍和苏丹草为青饲料, 颗-1(蛋白质 17%)和颗-2(蛋白质 25%)为精饲料进行交叉梯度试验, 用特定生长率、饲料总生长效率、蛋白质效率等作为评价指标, 试验结果表明: 草鱼种所需青饲料与颗-1、颗-2 的适宜比例范围分别为 20—50:1 和 15—30:1。

根据上述试验结果, 兼养草鱼在不同季节的营养需求和控制池塘水质, 调整各阶段青、精饲料的投喂量, 于 1987—1989 年进行了池塘对比饲养试验, 结果表明, 青、精饲料的平均投喂量分别为 11.25×10^4 — 12.00×10^4 kg/ha 和 11.25×10^3 — 12.00×10^3 kg/ha, 试验池草鱼生长率、总体鱼增重量分别为常规池的 1.4 和 1.5 倍。

关键词 草鱼, 生长, 食物结构

有关草鱼的食性和生长, 国内外学者的研究表明: 体长 3.0cm 的草鱼就开始能吃芜萍(*Wolffia arrhiza* (L.) Wimm) 并逐渐向草食性转化^[1,2]。但单用青饲料喂养, 草鱼的生长率、饲料利用率均不够理想^[3,4], 同时, 池塘中还因青饲料的大量投入, 易引起水质恶化和爆发性鱼病流行。此外, 有报告指出, 用不含草浆、草粉或不符合草鱼营养需求的配合饲料喂养草鱼, 即使饲料的蛋白质含量较高, 鱼对其同化效率仍较低, 致使生长慢, 还易形成某些营养性疾病^[5]。有学者通过比较配合饲料、青饲料和混合饲料喂养草鱼种, 得出混合饲料组草鱼的生长率、饲料蛋白利用率均优于其它饲料组的结论^[6,7]。迄今, 生产中采用有代表性的青饲料和颗粒饲料探讨其适于草鱼生长的食物结构问题尚未见专门报道。本试验旨在针对我国目前的颗粒饲料现状及生产中存在的问题, 选用实践中有代表性的青饲料和颗粒饲料, 通过室内筛选和池塘对比饲养试验, 探讨池养草鱼适宜生长的青饲料、颗粒饲料之比例(简称青精比)及需求量, 从而达到充分利用饲料资源, 提高草鱼产量, 为生产实践提供一定的理论依据。

材 料 与 方 法

室内试验 分两期在本所室内水族箱(体积约 0.3m³)进行。第 1 期从 1988 年 5 月 16

• 现在上海华东师范大学生物系工作。
1990 年 11 月 21 日收到。

日至6月18日(32d),同年9月6日至10月15日(40d)进行第Ⅱ期试验。选用浮萍(*Lemna minor*)L.和苏丹草(*Sorghum sudanense* (piper)sto. pf)为青料,颗-1,颗-2为精料,营养成分分析见表1。试验鱼取自本所试验场,试验前经2%的食盐水浸洗消毒及两周适应性暂养后,随机分成11组,每组25—30尾鱼,试验鱼规格为10—16g。每天上午将精料分2次(7:00,10:00)投在食料盘中,下午投喂青料。青、精料的投喂量,先按设计的比例进行换算,再在实际投喂中调整,及时回收过剩的饲料,从投喂量中扣除,以保证鱼的摄食和饲料的充分利用。试验期间流量为1.5L/min,水温分别为15—22℃(平均20℃,Ⅰ期)和20—25℃(平均23℃,Ⅱ期),溶氧4.2—7.0mg/L,pH7—7.5。分别于试验前和试验开始后每10d抽样称重(精确到0.1g),并测量体长;饲料、鱼体组织的营养成分以常规法分析;饲料的总能用热量计直接测定燃烧能;蛋白质表观消化率采用三氧化二铬间接指示法;氨基酸用日立835-50型氨基酸自动分析仪分析。计算公式:

$$\text{特定生长率(SGR)} = (\ln W - \ln W_0) / t \cdot 100\%$$

$$\text{饲料系数(FCC)} = G / (W - W_0)$$

$$\text{总生长效率(GGE)} = (W - W_0) / G \text{ (以能量表示)}$$

$$\text{蛋白质效率(PER)} = (W - W_0) / G \cdot f$$

$$\text{纯蛋白质利用率(NPU)} = (Wf_2 - W_0f_1) / G \cdot f$$

$$\text{蛋白质表观消化率(APD)} = \left(1 - \frac{\text{饲料中含铬量}}{\text{粪中含铬量}} \times \frac{\text{粪中含氮量}}{\text{饲料中含氮量}}\right) \times 100$$

式中 W_0 , W 分别为鱼体初重和终重; G 是饲料消耗量; f , f_1 , f_2 分别为饲料及试验前、后鱼的肌肉蛋白质含量百分比。

表1 饲料营养成分

Tab. 1 Nutrient composition of the test diets (%)

饲料 Diet	水份 Moisture	粗蛋白 Protein	粗脂肪 Lipids	粗纤维 Fibre	无氮浸出物 Nitrogen-free extract	灰份 Ash
浮萍 Duckweed	90.20	1.40	0.60	1.20	4.40	2.20
苏丹草 <i>Sorghum sudanense</i>	89.29	2.00	0.57	2.45	4.50	1.19
颗-1 Pelleted food No. 1	4.25	17.34	16.34	4.43	50.37	7.27
颗-2 Pelleted food No. 2	11.95	24.82	13.61	3.78	37.80	8.04

池塘试验 地点、池塘及鱼种放养同试验Ⅰ、Ⅱ^[8,9]。试验组青料以苏丹草为主,辅以颗粒饲料¹⁾。在整个饲养周期中,随鱼的生长采取“均匀递增”的投饲法,大体分为四个阶段:①鱼种放养后前3个月左右为第一阶段,该阶段的青、精饲料分别占全年青料和精料量的5.4%和14.6%,草鱼和“吃食鱼”对青料和精料的摄饵率分别为15—17%/d和4—4.5%/d;②第二阶段(12—3月中)的晴天里坚持补充投喂精料共计450—600kg/ha(占全年精料量3.5%);③第三阶段(3月中—6月)先以精料为主,逐渐向青料为主过渡,该阶段青料为草鱼体重的20—25%/d(占全年青料27%),精料占“吃食鱼”总重的2—

1) 颗粒饲料由湖北省武汉市东西湖饲料厂提供,含蛋白质22%、脂肪14%、粗纤维10%、灰份8%、无氮浸出物35%、水份11%。

2.5%/d(占全年精料23.4%);④第四阶段(7—10月)的青、精料分别占全年投饲量的67.6%和58.5%,其中青料喂量占二龄草鱼总重的15—18%/d,精料占二龄“吃食鱼”的1.5—1.7%/d。结合轮捕(从6月始,1—2次/月)和下一生产周期鱼种的套养(8—9月,按第一阶段补充套养鱼种的投饲量)。四个阶段青、精饲料的搭配比例分别为3—4:1、全精10:1和13:1,青、精料周年投饲量为 11.25×10^4 — 12.00×10^4 kg/ha和 11.25×10^3 — 12.00×10^3 kg/ha。对照池、常规池的投饲、施肥方法同试验I。每30—40d抽样测定鱼的生长情况,精料的能量值直接测定,青料能量值参考有关文献^[10]。计算公式:

$$\text{增重(长)量} = W_2(L_2) - W_1(L_1) / (t_2 - t_1) \text{ (g/d or mm/d)}$$

$$\text{特定生长率} = \ln W_2(L_2) - \ln W_1(L_1) / (t_2 - t_1) \cdot 100\% \text{ (%/d)}$$

$$\text{P/B 系数} = (GP - B) / B$$

$$\text{生物能转换效率} = \frac{\text{毛(净)产出(GJ)}}{\text{生物能(GJ)}}$$

式中: t 为饲养时间(d); $W_1(L_1)$ 、 $W_2(L_2)$ 分别为 t_1 、 t_2 时的体重(体长);GP是毛产量;B是放养量; \bar{B} 为饲养期间平均生物量。

结果与讨论

1. 室内试验

鱼的生长 两期试验,鱼的生长情况详见表2。由表2可见,A、B两组中,因精料的营养成分不同,全精箱的月特定生长率相应地有较大的差异,B组分别为A组的1.88倍(I期)和3.49倍(II期);在同一组中,配比箱的净增重一般较全精组高1—4倍,精料中加入青料后,在一定范围内,特定生长率随青料量的增加而增大,到一定比例时出现最大值,然后逐渐变小,这种趋势在两期的试验中是一致的。在设计范围内,颡-1与浮萍的最佳配比为1:48,其特定生长率是21.78%,为全青箱12.10%的1.8倍和全精箱5.38%的4.0倍;与苏丹草的最佳配比为1:50,特定生长率为14.42%,分别为全青箱8.98%和全精箱4.68%的1.6倍和3.1倍。颡-2与浮萍的最佳配比为1:28,特定生长率为17.89%,是全青箱12.10%的1.5倍和全精箱10.11%的1.8倍;而苏丹草则以1:20的配比最佳,特定生长率达20.90%是全青箱8.98%的2.3倍和全精箱16.34%的1.3倍。

同一种青料,若精料不同,则相同比值配比箱的鱼生长差异较大,最适青精比也不同。I期A、B组最适青精比分别为48:1和28:1。其中B组配比箱的平均特定生长率为14.27%,是A组13.38%的1.07倍。II期中A、B组的最适青精比分别为50:1和20:1,其中B组配比箱的平均特定生长率为15.34%,是A组11.23%的1.36倍。上述结果表明,只有选择营养较全的颗粒饲料与青料按适宜比例搭配喂鱼,才能收到良好的效果。从表2还可见,精料相同而青料不同时,最适青精比例较接近,但不完全吻合。综上所述,以特定生长率为指标,最适青精比因精料不同而异,也与青料有关。

表 2 不同配比饲料对草鱼特定生长率的影响

Tab. 2 Effects of different diets on specific growth rate of grass carp.

期 Stage	组别 Group	箱号 Tank No.	饲料:青 PF:GF	试验前 Initial		试验后 Final		死亡鱼 (尾) Mortality	净增重 Net weight gain (g/fish)	月特定生长率 SGR(%/month)
				平均体长 B. L. (cm)	平均体重 B. W. (g)	平均体长 B. L. (cm)	平均体重 B. W. (g)			
I	A	1	浮萍	10.0	16.7	10.3	19.0	1	2.30	12.10
		2	1:48	10.4	19.5	11.3	24.6	1	5.10	21.78
		3	1:28	10.6	20.9	11.1	24.7	3	3.80	15.66
		4	1:15	10.7	23.2	11.2	25.7	2	2.50	9.59
		5	1:6	10.7	19.6	10.9	21.0	1	1.40	6.47
		6	颗粒-1	10.4	20.3	10.5	21.5	3	1.20	5.38
	B	7	1:48	10.6	19.6	11.0	21.8	1	2.20	9.97
		8	1:28	10.1	17.6	10.8	21.3	1	3.70	17.89
		9	1:15	10.2	18.4	10.6	21.6	2	3.20	15.03
		10	1:6	10.4	20.2	11.0	23.5	2	3.30	14.19
		11	颗粒-2	10.7	20.2	11.0	22.5	2	2.30	10.11
II	A	1	苏丹草	13.54	48.04	13.70	54.15	0	6.11	8.98
		2	1:50	13.84	49.50	14.52	59.99	2	10.49	14.42
		3	1:30	13.76	49.41	14.20	56.90	0	7.49	10.58
		4	1:20	13.80	49.16	14.30	56.63	0	7.47	10.61
		5	1:10	13.71	48.98	14.10	55.46	1	6.48	9.32
		6	颗粒-1	15.58	47.65	13.90	50.72	4	3.07	4.68
	B	7	1:50	13.73	48.67	14.00	55.59	1	6.92	9.97
		8	1:30	13.88	49.00	14.30	58.48	1	9.48	13.26
		9	1:20	13.83	49.74	14.71	65.72	0	15.98	20.90
		10	1:10	13.82	49.01	14.12	61.66	0	12.65	17.22
		11	颗粒-2	13.81	49.17	14.20	61.14	1	11.97	16.34

注:PF Pelleted food; GF green feed; B. L. body length; B. W. body weight

一般认为,转化为植食性以后的草鱼,最适蛋白质需求量为 $0.84-1.93\text{g}/100\text{g} \cdot \text{fish} \cdot \text{d}^{[11]}$ 。浮萍、苏丹草的蛋白质含量虽较高,但按投喂量换算,蛋白质供给量小于 $0.5\text{g}/100\text{g} \cdot \text{fish} \cdot \text{d}$,这是因为青料含水量高达 90% 左右之故。此外,青料中纤维素含量较高,有研究表明,草鱼消化利用纤维素的能力很弱^[12],且草鱼对青料的吸收能是动物性饲料的 50% 左右,同时草鱼大量摄食青饲料的过程中,除不能很好利用未被咽喉齿磨碎的植物细胞外,还消耗了较多的能量以满足基础代谢所需^[7]。所以,精养池中单一投喂青料不能很好地满足草鱼快速生长的营养需求。在精料中,若按日粮 3% 计算,颗粒-1 蛋白质供给量约占最适需要量的 50%,颗粒-2 的蛋白质供给量为 $0.74\text{g}/100\text{g} \cdot \text{Fish} \cdot \text{d}$,故其生长率比颗粒-1 箱高。但有学者用含 28—35% 蛋白质的斑点叉尾鲷颗粒饲料投喂,发现草鱼生长不佳,推测可能与饲料中必需氨基酸配比不符合草鱼营养需求,造成草鱼的摄食率或消化吸收率低的缘故。若添加适量质优的植物性饵料,生长率便可大大提高^[13]。至于最适配比量随青料、精料不同而变化的原因,是由于精料蛋白质含量较高时(如颗粒-2),只需配以较少的青料就能较好地发挥饲料的营养互补作用,提高配比饲料的营养价值和利用率。另如颗粒-1 蛋白质含量不能很好地满足鱼的需要,则青料就起关键作用。目前生产中所采用的精

料,一般蛋白质含量较低(18—25%),难于达到营养平衡。因此,将精料搭配青料投喂对获取草鱼优质高产来说,无疑是一项经济而有效的措施。

饵料系数与蛋白质效率 草鱼对浮萍、苏丹草的蛋白质表观消化率为 86.90 和 81.19%, 颍-1、颍-2 则分别为 52.07 和 56.34%。说明颍-2 的蛋白质营养价值优于颍-1。在青料中,草鱼对浮萍的蛋白质消化率高于苏丹草,这可能与其纤维素含量较低有关。为了比较不同配比箱的饵料系数,先利用全青箱和全精箱的饵料系数,推算出不同配比箱饵料系数的计算值,再与实测值进行比较,以实测值小于或等于计算值,而增重较快的配比为佳(表3)。从表3可见,A-I组中,颍-1与浮萍的适宜配比区间1:28—1:48内,精料、青料饲料系数小于或与计算值接近,且净增率较大,为18.18—26.15%。B-I组中,颍-2与浮萍的适宜配比区间为1:15—1:28,净增率较高,饵料系数均低于计算值,表明每增重1kg鱼可省精料0.09—0.19kg和青料2.48—2.91kg。A-I组各配比箱均能节省饲料。B-I组中颍-2与苏丹草的适宜配比为1:10—1:20,结合考虑净增率,则以1:20最佳。

表3 不同配比饵料对草鱼总生长效率和饵料系数的影响

Tab. 3 Effects of different diets on gross growth efficiency (GGE) and feed conversion coefficient (FCC) of grass carp.

期 Stage	组别 Group	箱号 Tank No.	净增率 Net weight gain (%)	总生长效率 GGE (%)	饵料系数(精:青) FCC (PF:GF)		
					实际值 Observed value	计算值 Calculated value	差值 Difference
I	A	2	26.15	0.088	0.95 : 47.29	0.87 : 43.35	0.08 : 3.94
		3	18.18	0.105	1.16 : 33.20	1.31 : 37.58	-0.15 : -4.38
		4	10.18	0.108	1.56 : 24.32	1.91 : 29.79	-0.35 : -5.47
		5	7.14	0.082	2.84 : 17.90	2.83 : 17.84	0.01 : 0.06
	B	7	11.22	0.091	0.94 : 44.39	0.86 : 40.66	0.08 : 3.73
		8	21.02	0.106	1.17 : 31.67	1.26 : 34.15	-0.09 : -2.48
		9	17.39	0.108	1.54 : 23.61	1.73 : 26.52	-0.19 : -2.91
		10	16.34	0.083	2.69 : 17.93	2.38 : 15.91	0.31 : 2.02
	I	2	21.19	0.169	0.36 : 18.00	0.49 : 24.57	-0.13 : -6.57
		3	15.16	0.168	0.53 : 16.00	0.75 : 22.66	-0.22 : -6.66
		4	15.20	0.130	0.90 : 18.00	1.06 : 20.19	-0.16 : -2.19
		5	13.23	0.131	1.30 : 13.00	1.72 : 17.24	-0.42 : -4.24
	B	7	14.22	0.100	0.60 : 30.00	0.48 : 23.85	0.12 : 6.15
		8	19.35	0.116	0.75 : 23.00	0.72 : 22.02	0.03 : 0.98
		9	32.13	0.128	0.90 : 18.00	0.99 : 19.90	-0.09 : -1.90
		10	25.81	0.112	1.50 : 15.00	1.56 : 15.59	-0.06 : -0.59

注:

	FCC		GGE	
	I	II	I	II
全青	54.67	27.50	0.103	0.136
颍-1	4.20	4.62	0.075	0.069
颍-2	3.36	3.60	0.090	0.084

从总生长效率来看,在一定的配比范围内,随着青料量的增加,鱼对饲料能的利用率升高,但青料量过大时,则会降低对饲料能的利用。在A-I、B-I组中,青、精饲料配比适宜比例均为15—28:1,A-I、B-I中适宜比例则分别为30—50:1和20—30:1,支持了前面的讨论。各箱蛋白质效率、纯蛋白利用率的变化趋势与特定生长率、总生长效率等指

标基本一致(表 4),在特定生长率高的配比中,各组的蛋白质效率、纯蛋白利用率值相应较大,表明其饲料配比较为合理。

表 4 不同处理饲料对蛋白质效率、纯蛋白质利用率的影响

Tab. 4 Effects of different diets on protien efficiency ratio (PER) and net protein utilization (NPU) of grass carp.

箱 号 Tank No.	蛋白质效率(PER)		纯蛋白质利用率(%) (NPU)	
	I 期	Ⅱ 期	I 期	Ⅱ 期
1	1.31	1.59	18.91	22.08
2	1.21	1.64	17.74	25.65
3	1.50	1.62	21.95	23.46
4	1.64	1.45	25.52	20.98
5	1.34	1.41	20.30	21.78
6	1.37	1.25	20.63	18.56
7	1.14	1.58	16.92	23.71
8	1.32	1.50	19.82	24.86
9	1.34	1.66	20.32	25.02
10	1.03	1.42	15.66	20.21
11	1.11	1.04	16.37	15.68

饲料对鱼体成份的影响 肌肉蛋白质含量为大多数的配合箱>试验前>全青箱,全精箱与配合箱则无大的差异(表 5),表明在一定范围内,青料的加入对肌肉蛋白质含量无明显影响。肝脂的测定结果顺序为:全青箱<试验前、配合箱<全精Ⅱ<全精Ⅰ,可见适当添加青料,能有效地预防脂肪肝的形成。

表 5 不同处理饲料对鱼体肌肉蛋白、肝脏脂肪含量的影响

Tab. 5 Effects of different diets on protein content of muscle and fat content of liver of grass carp.

箱 号 Tank No.	肌肉蛋白质(%) Protein content of muscle		肝脏脂肪(%) Fat content of liver
	I 期	Ⅱ 期	I 期
试验前	73.02	72.88	25.43
1	72.16	69.79	22.49
2	73.29	82.09	27.82
3	73.18	72.77	25.29
4	77.79	72.79	26.32
5	75.73	78.26	25.83
6	75.30	74.63	29.24
7	74.19	75.03	28.07
8	75.09	79.68	25.73
9	75.83	76.87	24.92
10	76.05	68.46	23.11
11	73.73	72.81	28.39

饲料中 9 种必需氨基酸分析结果见表 6。苏丹草为 9.34g/100g 干样,高于颍-1 的 7.97g,低于颍-2 的 11.01g。其中组氨酸比颍-1、颍-2 都高,精氨酸则高于颍-1,接近颍-2。由此表明,在青料中加入适量的精料,其实质是发挥了饲料间必需氨基酸的互补效应而提高其营养价值。从肌肉的必需氨基酸含量来看,配合箱的必需氨基酸含量略高于或接近试

验前及其它处理箱。鉴于动物蛋白质来源有限,且价格昂贵,生产中在考虑蛋白质价值的同时,兼顾经济成本是必要的,这一试验结果对指导实践有一定的意义。

表 6 饲料及肌肉中必需氨基酸含量(克百分数)

Tab. 6 Composition analysis of essential amino acids in the diets and dorsal muscle of grass carp.

氨基酸 Amino acid	饲料(干重) Diet (dry weight)			肌肉(I期) Muscle					
	苏丹草	颞-1	颞-2	试验前	1	2	6	9	11
组氨酸 His	1.44	0.79	0.52	1.79	1.10	1.13	1.32	1.41	0.94
精氨酸 Arg	1.52	1.21	1.60	4.72	3.96	4.13	4.70	4.79	4.57
苏氨酸 Thr	0.72	0.73	1.05	2.29	2.77	3.07	3.01	3.25	3.04
蛋氨酸 Met	0.36	0.32	0.27	1.79	1.47	1.73	1.81	1.85	1.81
缬氨酸 Val	1.11	0.88	1.36	2.82	2.56	2.80	3.06	3.16	3.08
异亮氨酸 Ileu	0.77	0.66	0.97	2.25	2.28	2.53	2.35	2.43	2.32
亮氨酸 Leu	1.96	1.58	2.93	5.55	6.78	7.90	5.98	5.95	5.70
赖氨酸 Lys	0.43	1.04	1.12	5.96	7.77	8.55	5.53	6.32	5.66
苯丙氨酸 Phe	1.03	0.76	1.39	2.86	2.98	3.30	3.07	3.00	2.86
合计 Total	9.34	7.97	11.01	30.03	31.67	35.14	30.83	32.16	29.98

2. 池塘试验

试验结果 草鱼的生长特性和生长率从草鱼全长和体重的日增长量、日特定生长率逐月变化来看(表 7),均为 I、II-1 组相接近,且明显高于 II-2 组。各试验组 8—11 月的增重量占全年增重量的 61—77%。日特定生长率 7—9 月较高,11 月明显下降。选择方程 $W = ae^{bt}$ 和 $W = \frac{k}{(1+ae^{bt})}$ 对鱼体重和时间之间的关系进行拟合,结果指数方程的相关系数明显高于“S”形曲线的相关系数(表 8)。草鱼体重生长之速度(dw/dt)和加速度(d^2w/dt^2)随时间均匀上升,其增长与体重随时间增长曲线的趋势一致。

表 7 草鱼全长和体重的生长率

Tab. 7 Growth rate in total length and body weight of grass carp.

月份 Month	增长量(mm/d) Daily increase				增重量(g/d) Daily increase				特定生长率(%/d) Daily SGR				特定增重率(%/d) Daily SGR			
	I-1	I-2	II-1	II-2	I-1	I-2	II-1	II-2	I-1	I-2	II-1	II-2	I-1	I-2	II-1	II-2
4	0.657	0.857	0.444	0.361	0.972	1.528	1.625	0.528	0.275	0.345	0.172	0.142	0.562	0.775	0.737	0.246
5	0.656	0.938	0.500	0.469	1.548	3.375	2.406	1.250	0.251	0.345	0.182	0.175	0.720	1.221	0.836	0.513
6	0.706	1.235	1.147	0.706	1.853	4.088	3.265	1.294	0.249	0.402	0.380	0.245	0.684	1.023	0.857	0.453
7	0.960	1.470	1.123	1.280	2.780	5.520	5.480	2.800	0.312	0.426	0.311	0.405	0.825	1.024	1.069	0.819
8	1.060	1.636	1.242	0.848	4.773	7.152	7.091	4.545	0.315	0.417	0.338	0.245	1.067	0.990	1.037	1.013
9	1.090	1.235	1.176	0.824	6.559	9.352	8.206	6.559	0.292	0.280	0.280	0.220	1.032	0.938	0.873	1.036
10	1.484	1.226	1.484	0.871	7.436	4.468	5.758	5.742	0.358	0.255	0.329	0.217	0.861	0.362	0.491	0.686
11	0.394	0.152	0.758	0.303	2.606	1.712	2.879	2.970	0.089	0.030	0.155	0.072	0.254	0.129	0.219	0.304
平均 Mean	0.864	1.078	0.965	0.686	3.543	4.609	4.525	3.186	0.264	0.310	0.267	0.209	0.746	0.804	0.758	0.625

1989 年的试验中, I 组草鱼 P/B 系数从 4—9 月逐月上升,10 月后明显下降; II-1、II-2 组在生长前期与 I 组相似,但至 9 月便开始变小,比 I 组下降得要早(表 9)。两周年测定结果, I 组年 P/B 系数平均分别为 II-1、II-2 组的 0.96 和 1.39 倍。

表 8 草鱼食用鱼体重(W)和时间(t)的关系

Tab. 8 The relationship between body weight (W:g) and time (T:d) for grass carp.

年 份 Year	组别 Group	样本数 No. of fish	W=ae ^{bt}		F 值
			a	b	
1989	I-1	546	143.3801	0.0081	289.7558**
	I-2	550	184.5222	0.0087	75.6267**
	Ⅱ-1	540	194.4554	0.0082	139.7649**
	Ⅱ-2	550	174.2441	0.0070	252.8863**
1988	I-1	374	61.7968	0.0114	51.1496**
	I-2	368	119.1041	0.0083	95.9062**
	Ⅱ-1	360	52.5123	0.0122	71.1759**
	Ⅱ-2	360	47.6221	0.0117	44.5387**

** : P ≤ 0.01

表 9 草鱼 P/B 系数(1989 年)*

Tab. 9 P/B coefficient in the grass carp (1989).

组 别 Group	月 份 Month								全 年 Annual	日平均 Daily
	4	5	6	7	8	9	10	11		
I-1	0.24	0.27	0.29	0.31	0.33	0.34	0.20	0.05	1.50	0.006
I-2	0.25	0.28	0.30	0.30	0.35	0.34	0.26	0.09	1.53	0.006
Ⅱ-1	0.25	0.27	0.29	0.32	0.34	0.30	0.16	0.07	1.51	0.006
Ⅱ-2	0.09	0.11	0.15	0.16	0.25	0.21	0.16	0.11	1.10	0.005

* 1988 年草鱼年 P/B 系数分别为 1.54(I)、1.66(Ⅱ-1)和 1.09(Ⅱ-2)

表 10 草鱼生长率的逐步回归分析

(自变量:水温、草食性鱼生物量、滤食性鱼生物量,草鱼规格、月粮、月粮×水温)

Tab. 10 Stepwise regression analysis of the relationship between growth rate (Kg/mon or %/mon) and water temperature (WT, °C), herbivorous fish biomass (HB, Kg/ha), filterfeeding fish biomass (FB, Kg/ha), size of grass carp (GS, Kg), ration level (RL, MJ/Kg. fish. mon) and RL · WT for grass carp in experimental (I) and control (Ⅱ-1, Ⅱ-2) ponds.

组 别 Group	依变量 Dependent variable	步骤 Step	进入回归式变量 Variable entered	r ²	r ² 的增加 Increase in r ²
I	AGR	1	WT	0.6383	0.6383
		2	RL · WT	0.7106	0.0723
		3	GS	0.7403	0.0297
	MGR	1	RL · WT	0.5259	0.5259
		2	GS	0.6550	0.1292
		3	WT	0.6889	0.0338
	SGR	1	RL · WT	0.5215	0.5215
		2	GS	0.6872	0.1657
		3	WT	0.7348	0.0475
Ⅱ-1 Ⅱ-2	AGR	1	WT	0.6170	0.6170
		2	GS	0.7435	0.1266
		3	FB	0.7995	0.0560
	MGR	1	WT	0.3854	0.3854
		2	HB	0.5903	0.2050
	SGR	1	WT	0.3836	0.3836
		2	GS	0.5961	0.2125

选择水温(WT)、草食鱼生物量(HB)、滤食鱼生物量(FB)、草鱼规格(GS)、月粮(青料+精料 RL)、水温和月粮的交互项(RL×WT)6个回归自变量,月绝对增重率(AGR)、月相对增重率(MGR)和月特定生长率(SGR)3个依变量,用逐步回归法求得1989年草鱼的逐月生长率,将回归变量选入和剔除的临界水平定为0.10,结果见表10。

试验(I)组:

$$\text{AGR} = -107.2417 + 6.2132\text{WT} + 65.6911\text{GS} + 0.1528\text{RL} \cdot \text{WT} \\ (N=32, R^2=0.7125, P \leq 0.01)$$

$$\text{MGR} = 14.8411 + 0.5086\text{WT} - 14.6736\text{GS} + 0.0248\text{RL} \cdot \text{WT} \\ (N=32, R^2=0.6555, P \leq 0.01)$$

$$\text{SGR} = 12.9562 + 0.5058\text{WT} - 14.0653\text{GS} + 0.0182\text{RL} \cdot \text{WT} \\ (N=32, R^2=0.7063, R \leq 0.01)$$

对照(I-1, I-2)组

$$\text{AGR} = -169.0215 + 105.4710\text{WT} - 1.0858\text{FB} + 2465.6100\text{GS} \\ (N=24, R^2=0.7695, P \leq 0.01)$$

$$\text{MGR} = 134.4450 + 18.4335\text{WT} - 0.1921\text{HB} \quad (N=24, R^2=0.5513, P \leq 0.01)$$

$$\text{SGR} = 4.5921 + 0.9902\text{WT} - 11.3853\text{GS} \quad (N=24, R^2=0.5576, P \leq 0.01)$$

生物能转化效率与鱼产量 I组的总转化率分别为I-1、I-2组的1.05、1.37倍。净能转化效率仍以I组最高, I-1、I-2组仅占I组的83.26%和71.11%。以草食性鱼种投入量(BHF, kg/ha)、滤食性鱼种投入量(BFF, kg/ha), 精料(PF GJ/ha·year)、青料(GF GJ/ha·year)为回归自变量, 净产量(NP)为回归因变量, 进行运算得方程: $\text{NP} = 706.0170 + 1.9108\text{BHF} + 38.3615\text{GF}$ ($N=10, R^2=0.8256, P \leq 0.01$), 两周年试验结果, I、I-1、I-2组的年平均净产量分别为8805、5985、5925 kg/ha, 详情见试验I。

分析与讨论

已有研究表明, 草鱼的生长除与温度密切相关外, 还取决于饵料的数量与质量^[14]。规格相近的鱼种受密度和饵料的双重影响, 草鱼日增重量变化幅度为0.8—49g/d。通常鱼的生长受水温、食物和密度等因素影响, 呈逻辑斯谛生长模型, 但本试验的测定结果, 8—11月草鱼全长增长量占全年生长量的50—60%, 体重增加占61—77%, 说明草鱼后期(夏末至秋初)的生长潜力是很大的。拟合的结果, 草鱼体重和时间呈指数增长, 其原因是在池养条件下, 草鱼通常只饲养到快速生长的2⁺龄内即被起捕, 在饲养期内, 到9月后, 水温开始下降对鱼的摄食虽有一定的影响, 但此时水温下降的幅度还不小, 且经过一段时间的轮捕, 池塘鱼载量得到稀疏, 饵料及活动空间相对增加, 11月中旬以前, 由水温、饲料及活动空间构成的“环境阻力”尚未充分表现出来, 故体重随时间呈指数趋势增长。3—11月中旬, 试验组草鱼的日平均增重量为3.5—4.6g/d, 对照组4.5g/d, 均高于常规组的3.2g/d。试验组草鱼的生长速度较常规组快, 与试验组饲料的合理搭配投喂、水质良好密切相关。由此可见, 鱼生长的中后期, 若能在调整池塘载鱼量的同时, 加强管理, 可使鱼类本身的生长潜力得以充分的发挥而提高鱼产量。

有关草鱼的P/B系数, 报道的资料还不多。P/B系数与个体生长率一样, 受温度、食物、密度等因素的影响, 在生长前期(8月以前), 种群生物量和水温之间存在着互相拮抗

的效果:生长的初期种群生物量小,但该期水温低,摄食率较小,从而抑制了鱼的快速生长。随着温度的上升,鱼的摄食强度增大,生长速度加快,在种群密度达到临界值以前,温度和饲料起着决定性作用。所以,P/B 系数随温度上升而增大,至 9—10 月达到最大值。而后,水温逐渐下降,P/B 系数才随密度的上升而下降。试验组草鱼 P/B 系数峰值下降较迟,表明试验组鱼的群体生长潜力大于对照、常规组。试验组草鱼的月 P/B 系数与对照组相近,均高于常规组,但试验组的草鱼放养量高于对照组,故其群体增长量比对照组高。从放养量和逐月生长测定推算的总体鱼生物量来看,各组差别不大(即密度相近),从而推论影响草鱼 P/B 系数的主要因子是饲料,表明饲料的合理投喂可促进草鱼群体的生长。

在鱼类生长过程中,水温、密度、月粮等对鱼的生长率都有不同程度的影响,由前面建立的模型及回归变量入选后 r^2 的增加值可知,试验组中,月粮和水温的交互作用项是影响草鱼相对增重率、特定生长率的主要因子,绝对生长率中,水温独立作用项较大。对照组中影响草鱼绝对生长率、相对生长率及特定生长率的主要因素均为水温。原因是,试验组主养草鱼,不施肥,水质清新,溶氧丰富,通过青料、精料的合理配喂,较好地满足了草鱼生长的营养需求,同时,保持池中鲢鳙鱼的合理生物量,也有利于草鱼的快速生长。在对照、常规组中,主养鲢鳙鱼,以施肥为主,青、精料配喂的随意性较大,不能很好地满足草鱼的营养需求。此外,常规池由于过量施肥,有机耗氧量上升,透明度下降等不利因素,均影响了草鱼的正常生长。说明青、精料合理投喂,既可促进草鱼快速生长,也利于保持良好的水质,这在生态防病中有重要的意义。

试验池的净产量分别是对照、常规池的 1.47、1.49 倍。净产量预测结果表明:试验池净产量主要由青料投入量决定,即在一定范围内,增加青料的投喂量,能较好地满足草食性鱼类生长的需求,从而提高了鱼产量和生物能效率。

参 考 文 献

- [1] 倪达书. 草、青、鲢、鳙的饲养方法,见:太平洋西部渔业研究委员会第二次全体会议论文集. 北京,科学出版社,1959.
- [2] Watkins C E et al. Food habits of fingerling grass carp. *Prog. Fish-Cult.*, 1981,43(2):95—97.
- [3] Stroganov N S. The food selectivity of the amur fishes. *Conf. Fish. Exploit. Phytophagous Fishes. Acad. Sci. Turkman S. S. R.*, 1963,181—191.
- [4] Venkatesh B. Studies on the growth rate of the grass carp (*Ctenopharyngodon idella* Val) fed on two aquatic weeds and a terrestrial grass. *Aquaculture*, 1978,23:45—53.
- [5] Mgbenka B O, Lovell R T. Intensive feeding of grass carp in ponds. *Prog. Fish-Cult.*, 1986,48:238—241.
- [6] 蒋一珪等. 草鱼的营养及饲料的研究,太平洋西部渔业研究委员会第七次全体会议论文集. 北京:科学出版社,1968.
- [7] Fischer Z. The elements of energy balance in grass carp (*Ctenopharyngodon idella* Val.). Part N. Consumption rate of grass carp fed on different type of food. *Pol. Arch. Hydrobiol.*, 1973,20(2):309—318.
- [8] 陈立侨等. 池塘饲养鱼类优化结构及其增产原理 I. 池塘越冬鱼种的生物学特性. *水生生物学报*, 1993,17(2):121—130.
- [9] 陈立侨等. 池塘饲养鱼类优化结构及增产原理 II. 池塘主养鱼类合理群落结构及能量转化效率. *水生生物学报*, 1993,17(3):197—205.
- [10] Li Sifa. Energy structure and efficiency in a typical Chinese integrated fish farm. *Aquaculture*, 1987,65:105—118.

- [11] 廖翔华等. 鱼类营养学的研究进展. 水生生物学报, 1989, 13(2): 170—186.
- [12] Lindsay G J H, Harris J E. Carboxymethylcellulase activity in the digestive tracts of fish. *J. Fish. Biol.*, 1980, 16: 219—233.
- [13] Shireman J V, Colle D E, Rottmann R W. Growth of grass carp fed natural and prepared diets under intensive culture. *J. Fish Biol.*, 1978, 12: 457—463.
- [14] Opuszynski K. Use of phytophagous fish to control aquatic plants. *Aquaculture*, 1972, 1: 61—74.

THE RATIONAL DESIGN OF POND FISH CULTURE WITH REFERENCE TO THE PRINCIPLES OF YIELD INCREASE I. COMPOSITION AND QUANTITY OF FOOD SUITABLE FOR THE GROWTH OF GRASS CARP.

Chen Liqiao, Chen Yinghong and Ni Dashu

(Institute of Hydrobiology, Academia Sinica, Wuhan 430072)

Abstract

Grass carp fingerlings were fed in laboratory aquaria on different combinations of green feed (duckweed or *Sorghum sudanense*) and pelleted diets (17% protein in diet No. 1 and 25% protein in diet No. 2). Both the species of green feed and the type of pelleted diet affected the growth rate of the fish. Judged from growth rate, gross growth efficiency, protein efficiency ratio and other indices, the optimal proportion of green feed to pelleted diet was 20—50 : 1 when pelleted diet No. 1 was used, and 15—30 : 1 when pelleted diet No. 2 was used.

Pond experiments were conducted during 1987—1989. The proportions and quantities of green feeds and pelleted diets were adjusted on the basis of laboratory results, the nutrient requirements by the grass carp in different growth stages and seasons, and the water quality requirement for the prevention of diseases. In the experimental ponds, the annual inputs of green feeds and pelleted diets were 11.25×10^4 — 12.00×10^4 kg/ha and 11.25×10^3 — 12.00×10^3 kg/ha, respectively. The growth rate of the grass carp and the total weight gain by fish were 1.4 and 1.5 times, respectively, those in the control ponds using ordinary feeding regimes.

Key words Grass carp, Growth, Food component