

摄食水平和食物种类对金鱼生长及 氮、磷排泄的影响

崔奕波 刘建康 华 俐

(中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

提 要

本文报道了金鱼的生长率、氮排泄率及磷酸盐排泄率的两个实验的结果。实验A用牛肉作饵料, 实验B用配合饲料作饵料。每一实验分6个摄食水平。特定生长率(SGR)与摄食率(R)的关系为: $SGR = a + b \ln(R + 1)$ 。实验中两种食物对上式的系数无显著影响。氮排泄率NE与氮摄取率NI的关系为: $NE = a + bNI$ 。实验中两种食物对上式的'b'值无显著影响, 但两个实验得出的'a'值有显著差异。磷酸盐排泄率(PE)与磷摄取率(PI)的关系为: $PE = a + bPI$ 。实验中两种食物对上式中的'b'值无显著影响, 但得出的'a'值有显著差异。若不考虑食物种类的影响, 而将两实验数据合并, 氮、磷摄取率可分别解释氮、磷排泄率变异的98%和75.7%。

关键词 生长, 氮排泄, 磷排泄, 摄食水平

研究鱼类的生长及氮、磷的排泄, 对估价鱼类种群在生态系统中的作用是很有意义的。鱼类在天然条件下的摄食率变化很大, 而摄食率又是影响鱼类生长及排泄的重要因素。鱼类的生长率与摄食率的关系是一减速增长曲线。真骨鱼类的氮排泄物中, 氨是最主要的。氮排泄率与摄食率之间为一直线关系。有关鱼类的磷排泄, 尚未见报道。

在研究鱼类生长及排泄的实验中, 一般投喂的饵料较单一。但多数鱼类在天然条件下摄取多种饵料。要将实验室所得结果应用到天然状况, 就必须研究不同饵料对实验结果的影响, 虽然一些报道研究了食物种类对鱼类生长及排泄的影响, 但只是单个摄食水平, 而未考虑食物种类对生长、排泄及摄食水平之间关系的影响。本研究探讨了摄食水平及食物种类对金鱼(*Carassius auratus* (L.))的生长、氮排泄及磷酸盐排泄的影响。

材 料 与 方 法

本项研究测定了两种饵料的影响。实验A采用牛肉作饵料。牛肉使用前置冷柜贮存, 剪碎, 在冰箱内用清水浸泡一夜后, 用滤纸吸干水分称重。实验B采用市售的金鱼配

合饵料 (Deluxe Pet, 香港四海贸易行); 该饵料为上浮性, 形状呈均匀球状颗粒, 直径约 1.5 mm。

所用金鱼为文金^[2], 体重为 1—2.5 g。饲养于恒温水族室。将温度逐渐(每日 2℃)调至 20℃, 实验鱼驯养一周以上。在整个实验期间, 光照时间为 12 h/d。

实验分成 6 组, 每组 4 尾鱼。实验 A 各组的摄食水平分别为 0、1、2、4、6、8% (百分比为食物重量占鱼初始体重的比例)。实验 B 各组的摄食水平分别为 0、0.25、0.5、1.0、1.5% 及饱食(每天一次)。由于牛肉的干物质含量为 23.93%, 实验 A 中各组的摄食水平, 用干重表示分别为 0、0.239、0.479、0.957、1.436、1.914%。故两实验中第 2—5 组的摄食水平大致相等。实验持续 21d。

实验前一周将 24 只水族箱洗净, 各注入 12 L 自来水。实验鱼饥饿 2 d, 排空肠含物, 然后用布吸干体表水, 称重后逐一放入水族箱。每天称取定量饵料, 在 10:00 定时投喂, 以避免摄食时间不同造成的影响^[17]。在实验 B 中, 由于配合饵料吸收空气中的水份, 故每天称取一定量的饵料, 置 70℃ 烘干, 测其水分含量(约 5—6%), 以校正当日的投喂量。投喂饱食组时, 先数取饵料粒数, 称重并计算颗粒重, 然后投喂; 1h 后(此时颗粒饵料仍悬浮水面), 计算剩余饵料。每天用吸管吸粪便两次。

实验结束时, 将鱼饥饿 2 d, 然后称重。各水族箱中的氨含量用吡啶酚法测定^[8], 磷酸盐含量用钼蓝法测定^[1], 同时测水体积。在实验中另设一无鱼水族箱作对照, 实验结束时测其氨、磷酸盐含量; 结果表明对照箱中的这两种物质的含量可以忽略。

取牛肉末若干份, 称重后在 70℃ 烘干, 测定干物质含量。两种饵料中的总氮含量用自动定氮仪测定, 总磷含量用等离子发射光谱仪 (ICP) 测定。

结 果

经测定, 牛肉的干物质含量为 23.93%, 干物质中总氮含量为 14.39%, 总磷含量为 0.10%; 配合饲料中总氮含量为 5.73%, 总磷含量为 0.39%。

鱼的特定生长率 (SGR: %/d) 计算为

$$SGR = \frac{\ln W_t - \ln W_0}{t} \times 100$$

其中 W_t 为实验结束时的体重, W_0 为实验始时的体重, t 为实验周期 (21d)。

各组实验鱼的特定生长率及氮、磷排泄率见表 1。由于每组只有 4 尾鱼, 表中所列的值, 作为各摄食水平下各指标的均值的估计是不精确的, 而只能提供各指标的大致范围。

对金鱼生长率与摄食率之间的关系(图 1)进行回归分析表明, 特定生长率 (SGR) 与摄食率 (R) 的关系式为: $SGR = a + b \ln(R + 1)$, 式中参数值见表 2。t 检验表明, 表 2 中 1, 2 方程式的斜率无显著差异 ($P > 0.05$)。协方差分析(以 $\ln(R + 1)$ 为协变量)表明, 两实验中金鱼的平均生长率, 经协变量矫正后, 无显著差异 ($P = 0.67$)。这说明采用的两种饵料, 对金鱼的生长率无显著影响。将两实验数据合并, 求得生长率与摄食率间的关系(表 2)。

两个实验中氨排泄率随氮摄取率增加而呈直线增加(图 2)。回归分析表明, 氨排泄

表 1 在不同摄食水平下,摄取不同食物的金鱼的特定生长率 (SGR) 的氮、磷排泄率

Tab. 1 The specific growth rate (SGR), ammonia excretion and phosphate excretion by the gold fish fed different foods at various ration levels (mean \pm S.E.).

食 物 Food	摄食水平* Ration % b. w. /d	SGR %	氨排泄 Ammonia excretion mgN/indi./d	氨排泄 Ammonia excretion mgN/g/d	磷酸盐排泄 Phosphate excretion μ gP/indi./d	磷酸盐排泄 Phosphate excretion μ gP/g/d
牛肉 Minced Beef	0	-0.316 \pm 0.0604	0.328 \pm 0.0147	0.149 \pm 0.0065	2.65 \pm 1.764	1.13 \pm 0.779
	1(0.24)	0.026 \pm 0.1039	0.629 \pm 0.0469	0.330 \pm 0.0511	5.88 \pm 1.860	2.96 \pm 0.929
	2(0.48)	0.560 \pm 0.1172	0.884 \pm 0.0972	0.438 \pm 0.0135	8.82 \pm 1.534	4.45 \pm 0.768
	4(0.96)	0.930 \pm 0.1845	1.399 \pm 0.1107	0.758 \pm 0.0466	15.27 \pm 4.535	8.61 \pm 2.925
	6(1.44)	0.934 \pm 0.1717	1.858 \pm 0.0951	1.001 \pm 0.0457	30.29 \pm 2.663	16.79 \pm 2.701
	8(1.92)	1.030 \pm 0.2138	2.608 \pm 0.2729	1.055 \pm 0.0236	37.99 \pm 6.339	15.41 \pm 1.949
配合饵料 Dry Pellet	0	-0.075 \pm 0.0898	0.434 \pm 0.1056	0.215 \pm 0.0159	8.03 \pm 6.128	5.19 \pm 4.400
	(0.25)	0.032 \pm 0.0618	0.577 \pm 0.0598	0.311 \pm 0.0497	8.03 \pm 3.738	5.34 \pm 3.419
	(0.5)	0.127 \pm 0.0735	0.782 \pm 0.0695	0.325 \pm 0.0122	16.47 \pm 2.349	7.29 \pm 1.660
	(1.0)	0.544 \pm 0.0604	0.908 \pm 0.0559	0.439 \pm 0.0138	20.32 \pm 4.491	9.47 \pm 1.289
	(1.5)	0.853 \pm 0.0597	1.183 \pm 0.1586	0.548 \pm 0.0153	33.66 \pm 5.329	15.51 \pm 0.913
	饱食(3.89) Satiation	2.009 \pm 0.2974	2.304 \pm 0.5407	1.080 \pm 0.0980	99.95 \pm 35.999	49.01 \pm 13.138

* 括号中的值为食物干重占体重的百分比 Values in brackets are dry weight of food expressed as percentages of the initial weight of fish.

表 2 描述特定生长率 (SGR, %/天)与摄食率 (R, % 鱼体重/天)*关系回归方程 [SGR = a + bln(R + 1)] 的系数

Tab. 2 Coefficients for the equation, SGR = a + bln(R + 1), relating specific growth rate (SGR, % day) to ration (R, % b.w. day)*

方程式 Eqn	食物 Food	a \pm S.E.	b \pm S.E.	r ² (%)
1	牛肉 Minced beef	-0.403 \pm 0.1287	0.537 \pm 0.0655	75.3
2	配合饵料 Dry Pellet	-0.502 \pm 0.1846	0.566 \pm 0.0837	67.5
3	合并数据 Pooled	-0.452 \pm 0.1106	0.551 \pm 0.0529	70.2

* 计算方法为: (食物干重)/(鱼体湿重) \times 100 Calculated as: (dry weight of food)/(wet weight of fish) \times 100

率 (NE) 与氮摄取率 (NI) 之间的关系为 $NE = a + bNI$, 将此式代入实验 A、B 的数据, 求得其参数值 (表 3)。t 检验表明, 表 3 中方程式 4、5 的斜率无显著差异 ($P > 0.05$)。协方差分析 (以 NI 为协变量) 表明, 两实验中鱼的平均氨排泄量, 经协变量调整后, 有显著差异 ($P < 0.001$)。若不考虑食物种类的影响, 将两实验数据合并以计算 NE 与 NI 间的关系, NI 仍能解释 NE 中变异的 98% (表 3)。

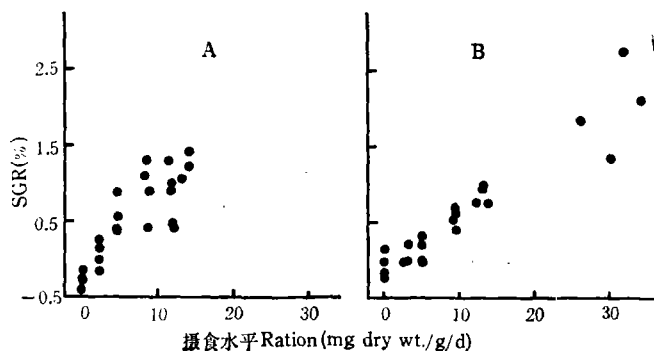


图1 金鱼特定生长率 (SGR) 与摄食水平的关系

Fig. 1 Relationship between specific growth rate and ration in goldfish

A 以牛肉为饵料 Fish fed minced beef B 以配合饲料为饵料 Fish fed dry pellets

表3 描述氨排泄率 (NE, mgN/尾/天) 与氮摄取率 (NI, mgN/尾/天) 关系的
回归方程 ($NE = a + bNI$) 的系数Tab. 3 Coefficients for the equation, ($NE = a + bNI$), relating ammonia excretion rate
(NE, mgN/ind./day) to nitrogen intake rate (NI, mgN/ind./day)

方程式 Eqn	食物 Food	a ± S.E.	b ± S.E.	r ² (%)
4	牛肉 Minced beef	0.316 ± 0.0271	0.470 ± 0.0101	99.0
5	配合饵料 Dry Pellet	0.409 ± 0.0297	0.485 ± 0.0150	97.9
6	合并数据 Pooled	0.375 ± 0.0232	0.469 ± 0.0098	98.0

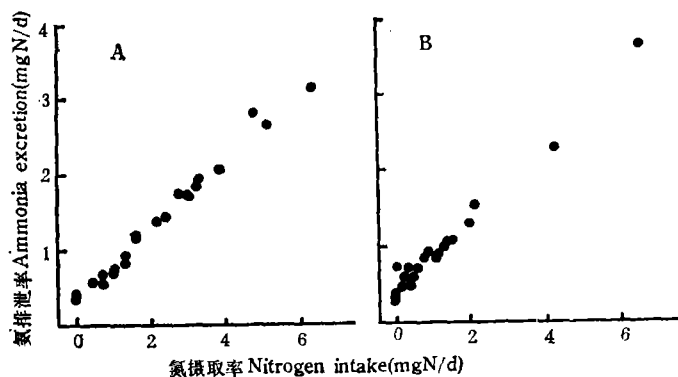


图2 金鱼氨排泄率与氮摄取率的关系

Fig. 2 Relationship between ammonia excretion and nitrogen intake in gold fish

A, B 图注同图 1。

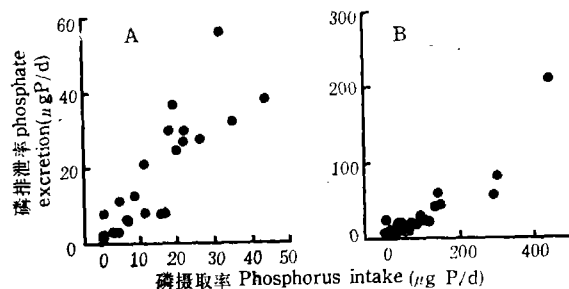


图3 金鱼磷酸盐排泄率与磷摄食率的关系

Fig. 3 Relationship between phosphate excretion and phosphorus intake in goldfish

A, B 图注同图1

表4 描述磷酸盐排泄率 (PE, $\mu\text{g P}/\text{尾}/\text{天}$) 与磷摄取率 (PI, $\mu\text{g P}/\text{尾}/\text{天}$) 关系的回归方程 ($\text{PE} = a + b\text{PI}$) 的系数Tab. 4 Coefficients for the equation, $\text{PE} = a + b\text{PI}$, relating rate of phosphate excretion (PE, $\mu\text{g P}/\text{ind.}/\text{day}$) to rate of phosphorus intake (PI, $\mu\text{g P}/\text{ind.}/\text{day}$)

方程式 Eqn	食物 Food	$a \pm \text{S.E.}$	$b \pm \text{S.E.}$	$r^2(\%)$
7	牛肉 Minced Beef	1.88 ± 2.446	1.08 ± 0.136	74.1
8	配合饵料 Dry Pellet	-0.865 ± 4.873	0.366 ± 0.0361	78.2
9	合并数据 Pooled	6.83 ± 2.724	0.338 ± 0.0283	75.7

金鱼的磷排泄率随磷摄取率增加而增加(图3)。与氮排泄率的数据比较,磷排泄率的数据更为离散。磷排泄率(PE)与磷摄取率(PI)间的关系为 $\text{PE} = a + b\text{PI}$, 将此式代入实验数据,用回归分析法求得其参数(表4)。t 检验表明,表4中方程式7、8的斜率无显著差异 ($P > 0.05$)。协方差分析(以PI为协变量)表明,鱼的平均磷排泄率经协变量调整后,有显著差异 ($P < 0.001$)。若不考虑食物种类的影响,将两实验的数据合并以计算PE与PI间的关系,仍能解释PE中变异的75.1%(表4)。

讨 论

本项研究得出的金鱼生长率与摄食率之间的关系,与其它研究的结果相符^[4,7,10,18]。本文采用了 $\text{SGR} = a + b \ln(R + 1)$ 式描述金鱼的生长率与摄食率的关系,此公式亦曾被Singh等用来描述异囊鲂 *Heteropneustes fossilis* 的生长率与摄食率的关系。

虽然本研究采用的两种饵料在化学组成及物理性质上相差很大,但研究结果表明这两种食物对生长率没有显著影响。在天然条件下,鱼类常摄取多种食物,而要测定食谱中每种食物对鱼类生长的影响,在多数情况下是不可能的。研究表明用一种食物实验所得的结果,应用到其它食物中是可行的。Elliott用钩虾(*Gammarus*)饲喂棕鲂(*Salmo trutta*)建立了一生长模型,也表明当棕鲂摄取多种食物时,该模型也能适用^[12]。Smith等

用鲢鱼肉及海虾饲喂明太鱼 (*Theragra chalcogramma*), 表明两种饵料对生长无明显影响。这与本研究的结果一致。但如果食物的营养不平衡或消化率相差太大, 对生长率则可能产生影响。

鱼类的氮排泄率与氮摄取率之间的关系为一直线, 这已被众多学者所证实^[6,9]。Elliott^[12] 得出棕鲷的氮排泄率与摄食率的关系为曲线, 他的结果与大多数报道的结果不符。虽然本实验中的两种食物对金鱼的氮排泄率有显著影响, 即使不考虑这一影响, 氮摄取率亦能解释数据中氮排泄率变异的 98%。所以, 在精度要求不是很高时, 可不考虑食物种类的影响, 而仅从氮摄取率预测氮排泄率。在今后的研究中, 若能证明这一结果可适用于较广的食物范围, 则在估测鱼类在天然条件下的氮排泄率时, 只需测定该鱼摄取某一食物时的氮排泄率, 及鱼在天然条件下的摄食率及胃(前肠)含物的含氮量, 便可计算。本文采用氮摄取率作预测变量, 在今后可采用氮吸收率则更为合适。

岩田等测定了鲢、鳙在饥饿(30℃)及摄食(网箱内)状态下的氮排泄率^[3], 根据公式可算出 2g 重的鲢排泄率分别为 0.47 (饥饿) 及 1.20 (摄食) mgN/g/d, 2g 重的鳙的排泄率分别为 0.68 及 1.51 mgN/g/d。与表 1 所列数据相比, 岩田等的的数据略为偏高, 但基本上处于同一水平。两项研究的差异可能是由于鱼种不同, 或是温度及实验方法不同造成的。岩田等测定温度较高, 周期短(15—24 h), 这样排泄率易受营养史及人工操作等外界刺激所影响。

关于鱼的磷排泄尚无报道, 本文只是初步研究。Kuenzler 报道了贻贝 (*Modiolus demissus*) 在 16—24℃ 的磷酸盐排泄率为 64 $\mu\text{gP/g/d}$ ^[16], Johannes 报道一海水端足类 (*Lembos intermedius*) 的磷酸盐排泄率为 1.4 $\mu\text{gP/g/h}$ (33.6 $\mu\text{gP/g/d}$)^[15], 这些值可与表 1 进行比较。虽然金鱼的磷排泄数据较为离散, 但磷排泄与磷摄取间的关系很明显。本研究只测定了无机磷排泄, 在今后的研究中亦应探讨有机磷及总磷的排泄。

参 考 文 献

- [1] 中国医学科学院卫生研究所, 1973. 水质分析法. 人民卫生出版社。
- [2] 伍惠生、付毅远, 1983. 中国金鱼. 天津科学技术出版社。
- [3] 岩田腾哉、陈少莲、刘肖芳, 1986. 鲢和鳙的氮平衡研究 I. 氮平衡几个参数的测定. 水生生物学报, 10(4): 297—310。
- [4] Allen, J. R. M. & Wootton, R. J., 1982. The effect of ration and temperature on the growth of the three-spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus* L. *J. Fish Biol.*, 20: 409—422.
- [5] Arunachalam, S., Kalyansundaram, V. & Patanicham, S., 1985. Effects of quality on food intake, growth and conversion efficiency in the air-breathing catfish *Heteropneustes fossilis* (Bloch). *Comp. Physiol. Ecol.*, 10: 101—104.
- [6] Beamish, F. W. H. & Thomas, E., 1984. Effect of dietary protein and lipid on nitrogen losses in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Aquaculture*, 41: 359—371.
- [7] Brett, J. R. & Groves, T. D. D., 1979. Physiological energetics. In *Fish Physiology*. Vol. VIII (W. S. Hall, D. J. Randall & J. R. Brett, eds), pp 279—352. Academic Press: New York.
- [8] Chaney, A. L. & Marbach, E. P., 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin. Chem.*, 8: 130—132.
- [9] Cui, Y. & Wootton, R. J., 1988a. Bioenergetics of growth of a cyprinid, *Phoxinus phoxinus* (L.): the effect of ration, temperature and body size on food consumption, faecal production and nitrogenous excretion. *J. Fish Biol.*, 33: 431—443.
- [10] Cui, Y. & Wootton, R. J., 1988b. Bioenergetics of growth of a cyprinid, *Phoxinus phoxinus* (L.): the effect of ration and temperature on growth rate and efficiency. *J. Fish. Biol.*, 33: 763—773.

- [11] Dabrowski, K., Kaushik, S. J. & Fauconneau, B., 1987. Rearing of sturgeon (*Acipenser baeri* Brandt) larvae. III. Nitrogen and energy metabolism and amino acid absorption. *Aquaculture*, **65**: 31—41.
- [12] Elliott, J. M., 1975. The growth rate of brown trout (*Salmo trutta* L.) fed on reduced rations. *J. Anim. Ecol.*, **44**: 823—842.
- [13] Elliott, J. M., 1976. Energy losses in the waste products of brown trout (*Salmo trutta* L.). *J. Anim. Ecol.*, **45**: 561—580.
- [14] Jezierska, B., 1974. The effect of various type of food on the growth and chemical composition of the body of perch (*Perca fluviatilis* L.) in laboratory conditions. *Polsk. Arch. Hydrobiol.*, **21**: 467—479.
- [15] Johannes, R. E., 1964. Uptake and release of phosphorus by a benthic marine amphipod. *Limnol. Oceanogr.*, **9**: 235—242.
- [16] Kuenzler, E. J., 1961. Phosphorus budget of a mussel population. *Limnol. Oceanogr.*, **6**: 400—415.
- [17] Noeska, T. A. & Spieler, R. E., 1984. Circadian feeding time affects growth of fish. *Trans. Am. Fish. Soc.*, **113**: 540—544.
- [18] Pakulska, D., Shakuntala, K. & Reddy, R., 1986. Effects of meal size on growth and conversion efficiency of the freshwater catfish *Clarias batrachus* (Linn.). *J. Appl. Ichthyol.*, **4**: 157—162.

EFFECT OF RATION LEVEL AND FOOD TYPE ON THE GROWTH, AMMONIA EXCRETION AND PHOSPHATE EXCRETION BY THE GOLDFISH *CARASSIUS AURATUS* (L.)

Cui Yibo Liu Jiankang and Hua Li

(Institute of Hydrobiology, Academia Sinica, Wuhan 430072)

Abstract

Two experiments were conducted at 20°C to study the growth rate, ammonia excretion and phosphate excretion by the ornamental goldfish, *Carassius auratus* (L.). In experiment A, minced beef was used as food. In experiment B, a dry pellet diet was used as food. Fish were tested at six ration levels in each experiment. The relationship between specific growth rate (SGR) and ration (R) can be described by the equation: $SGR = a + b \ln(R + 1)$. When ration was expressed on a dry weight basis, food type did not have significant effects on the coefficients in the above equation. The relationship between ammonia excretion (NE) and nitrogen intake (NI) was: $NE = a + bNI$. Food type did not have a significant effect on the slope in the above equation, but there was a significant difference in the ammonia excretion rate, adjusted for an average rate of nitrogen intake, between the two experiments. The relationship between phosphate excretion (PE) and phosphorus intake (PI) was: $PE = a + bPI$. Food type did not have a significant effect on the slope in the above equation, but there was a significant difference in the phosphate excretion rate, adjusted for an average rate of phosphorus intake, between the two experiments. Despite the significant differences between the experiments, nitrogen intake and phosphorus intake could explain 98.0% and 75.7%, respectively, of the variance in the ammonia excretion and phosphate excretion in the combined data.

Key words Growth, Nitrogen excretion, Phosphorus excretion, Ration