

文章编号: 1004-7271(2003)04-0298-05

尼罗罗非鱼幼鱼氮收支与饲料组成关系

白志毅, 何学军, 李思发

(上海水产大学农业部水产种质资源与养殖生态重点开放实验室, 上海 200090)

摘要: 用生物学方法测定和比较了三种饲料喂养的“吉富”品系尼罗罗非鱼的氮收支, 同时用化学方法估算和比较了三种饲料组的含氮排泄废物。结果表明, 饲料种类对尼罗罗非鱼的特定生长率及饲料转化效率有显著影响 ($P < 0.01$), 饲喂欧洲料的鱼的特定生长率最快; 饲料种类对尼罗罗非鱼的氮收支分配也有显著影响 ($P < 0.01$), 饲喂大江料的鱼用于生长的氮的比例最高, 饲料蛋白源的质量、含能量以及营养平衡状况直接影响鱼的氮代谢, 提高饲料质量是从源头控制养殖污染的关键。

关键词: 罗非鱼; 饲料; 氮收支

中图分类号: S963.1 文献标识码: A

Relationship between the nitrogen budget and diet types in juvenile of *Oreochromis niloticus*

BAI Zhi-yi, HE Xue-jun, LI Si-fa

(Key Laboratory of Aquatic Genetic Resources and Aquacultural Ecosystem Certificated by the Ministry of Agriculture, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract: The nitrogen budget of GIFT strain of Nile tilapia fed with three types of diets (Europe “Dajiang”, Tilapia farm made) was determined and compared by biological method, while excretive nitrogen was determined and compared by chemical method. The results showed that the specific growth rate and food conversion rate were both very significantly affected by diet type ($P < 0.01$). Nile tilapia fed with “Europe” diet had the best growth. From the aspect of allocation of intake nitrogen, Nile tilapia fed with “Dajiang” diet had the highest utilization proportion of nitrogen for growth. The nitrogen budget of tilapia is affected by the quality of protein, energy content and nutrition equilibrium of feed. It is key issue to improve feed quality to reduce aquacultural pollution.

Key words: *Oreochromis niloticus*; diet; nitrogen budget

围绕提高罗非鱼产量和降低生产成本而进行的罗非鱼蛋白质需求和能量收支的研究已有大量报道^[1-6]。最近, 由于养殖自身污染日趋严重以及水资源的日益缺乏, 罗非鱼综合养殖系统的营养物质收支和废水利用的研究也开始逐步展开^[7, 8]。氮循环是水产养殖生态系统中物质循环的重要内容, 养殖水体氮的多少既能促进水产养殖系统中物质和能量的转换与流动, 也能抑制这一转换与流动。不同的饲料原料和成分可使代谢废物的组成产生差异, 进而会影响整个养殖系统随后的各个环节。本研究以

收稿日期: 2003-09-22

基金项目: 中国-欧共体合作项目(科 02-63)

作者简介: 白志毅(1979-), 男, 河北人, 上海水产大学 2001 级硕士研究生, 从事水产养殖生态系统研究。

通讯作者: 李思发(1938-), 男, 江苏镇江人, 教授, 博士生导师, 主要从事水产动物种质资源与种苗工程研究。Tel: 021-65710333,

E-mail: lsf038@mail.online.sh.cn

尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 吉富品系为实验鱼, 以欧洲产罗非鱼饲料、国产大江牌罗非鱼饲料以及养殖场自配罗非鱼饲料为实验材料, 比较分析不同饲料在养殖过程中的氮收支, 以期为从源头控制养殖污染提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设备与材料

驯化和饲养设备为 300L 圆形玻璃钢养殖系统 ($d = 74\text{cm}$, $h = 70\text{cm}$), 试验期间每天换水 300L, 水流流速为 3L/min, 24h 充气, 溶解氧大于 5mg/L。采用自然光。水温为 $25 \pm 2^\circ\text{C}$, 用自动控温仪控制; pH 值为 7.6 左右。

试验用吉富品系尼罗罗非鱼取自国家级青岛罗非鱼良种场, 规格为 7~8g。试验饲料选用国产大江牌二号罗非鱼料(以下简称大江料)、国家级青岛罗非鱼良种场自配罗非鱼料(以下简称养殖场料)和荷兰瓦金因根大学 (Wageningen University) 提供的欧洲商品料(以下简称欧洲料)。

1.2 研究方法

1.2.1 试验设计和方法

试验前将试验鱼在养殖系统中用养殖场饲料驯化一周以适应环境。将试验鱼停食两天后分箱、称重, 开始试验。每种试验饲料条件下各设四个重复, 每箱放鱼 25 尾。试验时投喂某种饲料的缸随机放置。同时另外随机取 20 尾鱼作为对照, 称重后在 70°C 下烘干, 用以估计试验开始时鱼体的干重、比能值和氮含量。每天按箱内鱼体总重的 3%~4% 称所需的饲料分别于 09:00、11:00 及 15:00 投喂。每天用虹吸法全量收集粪便三次, 烘干称重。

试验为期 4 周。试验期间每周监测水质两次, 监测指标包括进水和排水中的氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮和总氮。氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮分别用奈氏比色法、 α -奈乙二胺法和铜铬还原法测定, 总氮经硼酸和过硫酸钾消化后再测硝酸盐氮含量^[9]。试验结束时, 先将鱼饥饿两天, 然后分别称重、烘干和粉碎。分别测定饲料、试验鱼体及粪便的含氮量、能量含量。含氮量用 Tector 自动凯氏定氮仪测定, 能量用 PARR1281 型氧弹式卡路里计测定^[10]。

1.2.2 结果计算

特定生长率 (SGR) = $100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t$, 式中 W_t 为实验结束时鱼体的湿重、干重或蛋白质含量; W_0 为实验开始时的鱼体的湿重、干重或蛋白质含量, t 为实验天数^[11]。

饲料转化率 (FCR) = 生长量 / 摄食量^[11]。

吸收率 (AE) = (摄食量 - 排粪量) / 摄食量^[11]。

鱼类的氮平衡方程: $C_N = F_N + U_N + G_N$, 式中 C_N 为摄取食物中的氮量; F_N 为粪便中损失的氮量; U_N 为排泄物中损失的氮量; G_N 为储存在鱼体中的氮量(以上符号意义, 全文同)^[12]。

摄食氮量 (C_N) = 摄食的食物总量 \times 干物质含量 \times 含氮量

排粪(损失)氮量 (F_N) = 粪便干重 \times 氮含量(化学方法)^[13]

排泄(损失)氮量 (U_N) (包括尿以及鳃排泄物) = 排水总氮量 - 进水总氮量(化学方法)^[13]

排泄(损失)氮量 (U_N) = $C_N \times AE_N - G_N$ (生物学方法)^[13]

鱼体储存氮量 (G_N) = 实验鱼结束时的体重 \times 干物质含量 \times 含氮量 - 实验开始时鱼体重 \times 干物质含量 \times 含氮量

数据用 SPSS10.0 进行显著性检验及多重比较^[14]。

2 结果

2.1 饲料营养成分

三种饲料的营养成分、能量值及能蛋比如表 1。

表 1 三种饲料的营养成分和含能量

Tab.1 Nutrient composition and energy/protein (E/P) of three diets

饲料种类	水份 (%)	粗蛋白 (%干重)	粗脂肪 (%干重)	粗灰份 (%干重)	能量 (kJ/g干重)	能蛋比 (kJ/%)
欧洲料	4.60	52.99	7.66	9.03	20.33	383.7
大江料	3.27	37.55	5.37	9.26	19.17	510.5
养殖场料	6.85	38.09	2.05	9.01	18.26	479.4

2.2 饲料种类对罗非鱼生长率及饲料转化率的影响

饲喂三种饲料的罗非鱼的特定生长率 (SGR) 和饲料转化率 (FCR) 如表 2。饲料种类对湿重、干重和氮的特定生长率 (SGR) 均有极显著影响 ($P < 0.01$), 三种饲料组罗非鱼特定增长率由大到小依次为欧洲料组 > 大江料组 > 养殖场料组。

饲料种类对罗非鱼按湿重计和按干重计的饲料转化效率 (FCR) 的影响也很明显 ($P < 0.05$), 三种饲料组的罗非鱼饲料转化率由大到小依次为欧洲料组 > 大江料组 > 养殖场料组。但在按氮含量计时, 欧洲料组与大江料组的饲料转化效率未见有何显著差异 ($P = 0.26$), 而养殖场料组与以上两组差异显著 ($P < 0.05$)。

表 2 三种饲料对罗非鱼特定生长率、饲料转化效率的影响

Tab.2 Specific growth rate and food conversion rate of Nile tilapia fed with three diets (mean \pm SE)

		欧洲料组	大江料组	养殖场料组
SGR (%/d)	湿重	3.38 \pm 0.05	2.74 \pm 0.04	2.39 \pm 0.03
	干重	3.80 \pm 0.09	3.19 \pm 0.02	2.47 \pm 0.04
	氮	3.41 \pm 0.08	2.85 \pm 0.03	2.33 \pm 0.04
FCR	湿重	1.04 \pm 0.03	0.75 \pm 0.04	0.61 \pm 0.02
	干重	0.31 \pm 0.02	0.23 \pm 0.004	0.16 \pm 0.007
	氮	0.32 \pm 0.02	0.34 \pm 0.01	0.26 \pm 0.01

2.3 氮收支及其随饲料种类的变化

从表 3 和表 4 可见, 罗非鱼从食物中所摄食的氮仅有少量用于生长, 其中大江料组为 33.8%, 欧洲料组为 32.6%, 养殖场料组为 26.4%。这就是说多数氮随排泄和排粪过程排出体外, 其中排泄是氮支出的主要过程, 欧洲料组为 62.7%, 养殖场料组为 60.4%, 大江料组为 56.7%, 平均 59.9%。而通过排粪所损失的氮则很少, 欧洲料组为 4.7%, 大江料组为 9.5%, 养殖场料组为 13.3%, 平均 9.2%。三种饲料组的氮收支差异显著。

表 3 饲喂三种饲料的罗非鱼的氮收支

Tab.3 Nitrogen budget of Nile Tilapia fed with three diets

(mean \pm SE)

	C_N [g/(kg·d)]	G_N [g/(kg·d)]	F_N [g/(kg·d)]	U_N [g/(kg·d)]
欧洲料组	2.44 \pm 0.03	0.79 \pm 0.02	0.10 \pm 0.01	1.56 \pm 0.04
大江料组	2.03 \pm 0.02	0.69 \pm 0.01	0.17 \pm 0.01	1.17 \pm 0.02
养殖场料组	2.20 \pm 0.19	0.55 \pm 0.01	0.25 \pm 0.03	1.87 \pm 0.01

表 4 饲喂三种饲料的罗非鱼的氮收支模型

Tab.4 Nitrogen budget models of Nile tilapia fed with three diets

	氮收支模型
欧洲料组	$100C_N = 32.6G_N + 4.7F_N + 62.7U_N$
大江料组	$100C_N = 33.8G_N + 9.5F_N + 56.7U_N$
养殖场料组	$100C_N = 26.4G_N + 13.3F_N + 60.4U_N$

2.4 代谢废物估算

各种形式氮的测定结果如表 5。进水也含有一定数量的可溶性氮,主要是无机盐类,这些氮作为共同因子计入摄食氮中。在排水的可溶性氮中,无论哪种饲料,都是氨氮占较大比例,在 60% ~ 70% 之间,其次是硝酸盐氮,亚硝酸盐氮很少。在大江料组,除硝酸盐氮外,排水里的总可溶性氮、氨氮及亚硝酸盐氮等均低于其它两种饲料组。

表 5 进、排水携带的总氮、氨氮、硝酸盐氮及亚硝酸盐氮总量

Tab.5 Total nitrogen, ammonia, nitrate and nitrite nitrogen in inflow and outflow water (g) (mean ± SE)

	进水	排水		
		欧洲料组	大江料组	养殖场料组
总可溶性氮	2.03	14.45 ± 1.97	11.93 ± 1.68	12.90 ± 0.59
NH ₄ ⁺ - N	0.58	9.41 ± 1.18	6.83 ± 0.32	7.91 ± 0.65
NO ₃ - N	1.37	2.55 ± 0.49	2.83 ± 0.16	2.78 ± 0.17
NO ₂ - N	0.08	1.39 ± 0.96	0.22 ± 0.04	0.26 ± 0.07

在三个饲料组,鱼体每储存 1kg 氮所排泄的氮量(U_N/G_N)和所排粪的氮量(F_N/G_N),如表 6。 U_N/G_N 或 F_N/G_N 越大,表明饲料氮的浪费越多。用生物学方法测定的三种饲料组的 U_N/G_N 值差异显著 ($P < 0.05$),由大到小依次是养殖场料组(2288g/kg) > 欧洲料组(2013g/kg) > 大江料组(1706g/kg),表明大江料组浪费的氮较少。养殖场料组与另两种饲料组的 NH₄⁺ - N/ G_N 值差异显著 ($P < 0.05$),而欧洲料组与大江料组的 NH₄⁺ - N/ G_N 值差异不显著 ($P = 0.44 > 0.05$)。三种饲料组的 F_N/G_N 值相互间也有显著差异 ($P < 0.05$),由大到小依次是养殖场料组 > 大江料组 > 欧洲料组。

表 6 饲喂三种饲料罗非鱼鱼体储存 1kg 氮的排泄氮量和排粪氮量

Tab.6 The nitrogen value of excreta and feces of Nile Tilapia fed with three diets

	for 1kg accumulated nitrogen in fish body			NH ₄ ⁺ - N/ G_N (g/kg)
	F_N/G_N (g/kg)	U_N/G_N (g/kg) (生物学方法)	U_N/G_N (g/kg) (化学方法)	
欧洲料组	128.62 ± 8.07	2012.98 ± 95.95	1554.67 ± 112.67	1106.73 ± 69.14
大江料组	254.83 ± 6.50	1705.65 ± 40.53	1625.29 ± 119.51	1028.17 ± 31.56
养殖场料组	437.41 ± 70.97	2288.09 ± 74.67	2364.68 ± 85.53	1596.95 ± 92.02

3 讨论

3.1 从源头控制养殖污染,关键在于全面提高饲料质量

据相关报道,饲料的蛋白质水平在 35% ~ 40% 之间时罗非鱼的特定增长率最快^[3,13,14],同时,饲料转化率随蛋白质水平的提高而提高^[3,15]。在本实验中,无论是按鱼体的湿重,干重还是含氮量计,蛋白含量最高的欧洲料组的特定生长率最高,饲料转化率也最好(表 2)。不过,在欧洲料组和大江料组间,按含氮量计算的蛋白质转化率并无显著性差异,而养殖场料组比前两组显著较差,这表明养殖场料的饲料蛋白源质量差,致使饲料中蛋白质的消化率较低,这可能与该场选用的饲料原料质量及其加工工艺相

关。三种饲料组 U_N/G_N 值由大到小依次是养殖场料组 > 欧洲料组 > 大江料组。表明大江料的氮利用率较好。养殖场料的蛋白质原料差, U_N/G_N 值高, 是不难理解的。欧洲料组的 U_N/G_N 值大于大江料组, 可能同欧洲料蛋白质含量虽高、但能蛋比低(表 1)有关, 因此部分蛋白质用于能量源而被消耗, 产生过多的可溶性代谢废物, 造成氮源的浪费。因此, 从降低污染角度, 饲料中蛋白含量并非越高越好。

为从源头控制养殖污染, 就必须提高饲料的质量^[4, 11, 16]。饲料质量既同含量有关, 也同配比有关。饲料质量的高低不但要从鱼的生长速度与产量之比值来评判, 也要从对养殖水体可能造成的污染程度来评判。在养殖生产和饲料生产中, 大多数养殖户和饲料生产者往往只注重经济效益, 忽视养殖污染。随着环保日益被重视, 养殖污水的排放也将逐渐受到严格限制, 因此, 水产养殖中采用生长快、低污染的饲料是大势所趋。

3.2 生物学和化学两种方法估计鱼类排泄量的差别

本实验采用生物学(按消化率计算)和化学(按水质分析结果计算)两种方法来计算排泄量。大江料和养殖场料 U_N/G_N 的两种方法计算结果一致, 但在欧洲料, 两种方法计算结果差异显著。造成这种差异的因素可能是, 在较长时期的生长实验中, 很难采用精确的方法测定排粪总量, 粪便中有一部分物质会溶于水中, 造成生物方法测定的排粪量偏低, 致使估算的排泄量值偏高; 另一方面, 在实际的氨氮测定中, 由于摄食欧洲料的罗非鱼代谢旺盛, 水中氨氮浓度高, 在曝气的过程中挥发到空气中, 造成测定的氨氮量比罗非鱼实际代谢的氨氮量低。对鱼类生长的生物学模拟表明, 在估计排粪量上造成的误差, 不会对预测鱼类生长造成大的影响^[15]。Gross 等报道鲶鱼池的氨挥发占氮损失的 12.5%^[17], Paze 报道精养池对虾氨挥发占氮损失的 65.7%^[18]。所以造成两种方法测定鱼类排泄量偏差的主要可能原因是氨氮的损失减少了水中溶解形式的氮。由于上述两种因素在实验过程中不可避免, 相比之下, 在确定鱼类能量收支的实验中用生物学方法测定鱼类的排泄量比较可靠、省时、省力, 但在养殖废水评价中, 用化学方法来测定废水中的含氮量则较为准确^[11]。

参考文献:

- [1] 雍文岳. 尼罗罗非鱼营养需要量[J]. 淡水渔业, 1994, 24(5): 22-24.
- [2] 吴建开, 雍文岳. 13种饲料原料蛋白质对尼罗罗非鱼的营养价值[J]. 中国水产科学, 2000, 22(2): 37-42.
- [3] Jauncey K. The effect of varying dietary protein level on the growth, food conversion, protein utilization and body composition of juvenile *Tilapia* (*Sarotherodon Mossambicus*) [J]. *Aquaculture*, 1982, 27: 43-54.
- [4] Meyer-burgdorff K H, Osman M F, Cunther K D. Energy metabolism in *Oreochromis niloticus* [J]. *Aquaculture*, 1989, 79: 283-291.
- [5] Xie S Q, Cui Y B, Yang Y X, et al. Energy budget of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in relation to ration size [J]. *Aquaculture*, 1997, 154: 57-68.
- [6] 雷思佳, 李德尚. 温度对台湾红罗非鱼能量收支的影响[J]. 应用生态学报, 2000, 11(4): 618-620.
- [7] Abdul Q S, Ahmed H A. Nutrient budget in tanks with different stocking densities of hybrid tilapia [J]. *Aquaculture*, 1999, 170: 245-252.
- [8] Nadav Shnel, Yoram Batak, Tamir Earak, et al. Design and performance of a zero-discharge tilapia recirculating system [J]. *Aquacultural Engineering*, 2002, 26: 191-203.
- [9] American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. Standard methods for the examination of water and wastewater (15th edition) [M]. American Public Health Association, Washington, DC, USA, 1980.
- [10] 中华人民共和国国家进出口商品检验局 AOAC 编译委员会编译. 美国公职分析化学家协会公定分析方法(第十五版) [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1991.
- [11] 崔奕波. 鱼类生物能量学的理论与方法 [J]. 水生生物学报, 1989, 13(4): 369-381.
- [12] Cui Y B, Liu X F, Wang S M, et al. Growth and energy budget in young grass carp, *Ctenopharyngodon idella* Val. fed plant and animal diets [J]. *J Fish Biology*, 1992, 41: 231-238.
- [13] Cho C Y, Hynes J D, Wood K R, et al. Quantitation of fish culture waste by biological (nutritional) and chemical (limnological) methods: The development of nutrient dense (HND) diets [J]. *Nutritional Strategies and Aquaculture Waste*, 1991, 21(3): 27-45.
- [14] 陈平雁. SPSS10.0 统计软件应用教程 [M]. 北京: 人民军医出版社, 2001. 89-200.
- [15] Mazid M A, Tanaka Y, Katayama T, et al. Growth response of *Tilapia zilli* fingerlings fed isocalorie diets with variable protein levels [J]. *Aquaculture*, 1979, 18: 115-122.
- [16] Davis A T, Stickney R R. Growth responses of *Tilapia aurea* to dietary protein quality and quantity [J]. *Trans Am Fish Soc*, 1978, 107: 479-483.
- [17] Gross A, Boyd C E, Wood C W. Nitrogen transformations and balance in channel catfish ponds [J]. *Aquacultural Engineering*, 2000, 24: 1-14.
- [18] Xie X J, Sun R. Pattern of energy allocation in the southern catfish [J]. *Journal of Fish Ecology*, 1993, 42: 197-207.