

投喂频率对尼罗系吉富罗非鱼幼鱼胃排空、 生长性能和体组成的影响

孙晓锋, 冯 健*, 陈江虹, 罗 波, 赵海洋, 赵华林
(广西大学水产研究所, 广西南宁 530004)

摘要: 通过胃排空试验与养殖试验研究了不同投喂频率对尼罗系吉富罗非鱼幼鱼的胃排空、生长性能以及体组成的影响。在试验开始时,观测尼罗系吉富罗非鱼幼鱼的胃内饲料排空情况,胃排空试验结果表明,胃排空率的最佳描述为平方根函数,胃内饲料在饱食投喂后15 h左右完全排空,达到投喂前水平,80%胃排空为9 h,也就是投喂后大约9 h恢复食欲。360尾试验鱼(初始体质量3.72 g)以不同的投喂频率(1 d 4次、1 d 3次、1 d 2次、2 d 4次、2 d 3次、2 d 2次)分组,每组设立3个平行组,随机养殖于18个网箱中,每箱养殖20尾鱼,按饱食量投喂膨化饲料。养殖期为6周。尼罗系吉富罗非鱼幼鱼在投喂频率为1 d 4次、1 d 3次和1 d 2次时特定生长率和饲料效率显著高于投喂频率为2 d 4次、2 d 3次和2 d 2次时($P < 0.05$);投喂频率为1 d 2次、2 d 4次、2 d 3次和2 d 2次时其摄食量显著低于1 d 4次和1 d 3次时($P < 0.05$)。随着投喂频率降低,鱼体水分含量逐步上升,脂肪和蛋白质含量逐步下降,其中1 d 4次、1 d 3次组鱼与2 d 2次组鱼有显著性差异($P < 0.05$)。各投喂频率组间的肝体指数无显著性差异($P > 0.05$)。3.7~48.0 g尼罗系吉富罗非鱼幼鱼的适宜投喂频率为1 d 2次,较2 d 2次、2 d 3次和2 d 4次时明显提高了生长速度和饲料效率,较1 d 3次、1 d 4次摄食量显著降低。2种试验结果较为一致。

关键词: 尼罗系吉富罗非鱼; 投喂频率; 胃排空; 生长性能; 体组成

中图分类号: S 965

文献标志码: A

适宜的投喂频率可以提高鱼类的生长速度和存活率,减少个体变异,提高饲料转化率,减少饵料损失,最终提高产量和降低生产成本。当投喂量不足时,鱼类的生长性能将下降,但在投喂过量的情况下,往往造成饲料效率降低、养殖成本上升和水质的恶化,所以适宜的投喂频率在水产养殖中具有重要的意义^[1-2]。传统鱼类投喂频率试验方法为养殖试验,通过鱼类在其养殖期间的生长性能、饲料效率和机体营养成分组成,评价其适宜投喂频率。但养殖试验周期较长,受试验鱼类的大小和养殖条件的影响较大,人力物力支出较大^[3]。近年来,胃排空(排空率和排空时间)这一简单、快速的方法开

始被用来评价鱼类的投喂频率^[3-4]。一些研究报告表明,通过鱼类消化和胃排空之间的关系可以了解其食欲恢复状况,在鱼类食欲恢复时投喂饲料能使其摄食率达到最大化并提高饲料效率,证实了鱼类胃排空和食欲恢复的关系就可以估计出最佳的投喂频率,养殖鱼类可以通过胃排空试验这种简便快捷的方法来制定投喂方案,提高养殖效益^[3-4]。

罗非鱼(*Tilapia*),系鲈形目(Perciformes),丽鱼科(Cichlidae),罗非鱼属(*Tilapia*),属热带性鱼类,现在已成为世界性的养殖鱼类,我国2008年产量已达约120万t,占世界总量的50%左右^[5]。尼罗系吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)是经

收稿日期:2011-04-27 修回日期:2011-06-10

资助项目:广西科技厅基金计划项目(09321022)

通讯作者:冯 健,E-mail:fengjian08@163.com

遗传性状改良后的罗非鱼,该品种具有生长速度快、个体大、出肉率高、遗传性状稳定等优点,是我国目前罗非鱼养殖中一个新的重要品系^[6]。我国目前水产养殖中尚未见鱼类胃排空在投喂频率研究中应用正式报道。

1 材料与方法

1.1 实验鱼与养殖条件

1 000 尾尼罗系吉富罗非鱼鱼苗由广西水产研究所国家罗非鱼良种繁育场提供的同一批孵化幼鱼,暂养一周后开始正式分组试验,暂养期间 1 d 2 次投喂鱼体质量 5% 的试验饲料。养殖试验,按体表完整、大小较一致标准取 360 尾,平均初始体质量 3.72 g,体长约为 5 cm 的试验鱼,分成 18 组(6 个试验组,每组 3 个平行),每组 20 尾鱼,随机放养于 18 个网箱中,网箱放置在同样的水泥池中(规格同上),养殖 6 周。暂养期与试验期间投喂的试验饲料为广西南宁百洋饲料公司生产的罗非鱼鱼苗膨化饲料,饲料配方见表 1。在试验中不同的投喂频率和时间:1 d 2 次和 2 d 2 次(间隔 1 d 投饲 2 次)(09:00、18:00)、1 d 3 次和 2 d 3 次(间隔 1 d 投饲 3 次)(09:00、13:30、18:00)、1 d 4 次和 2 d 4 次(间隔 1 d 投饲 4 次)(09:00、12:00、15:00、18:00)。试验期间按饱食量进行投喂,即每次把饲料少量多次投入网箱中,观察试验鱼的进食情况,投喂后 3 min 若网箱内有残饵,则结束投喂并捞出残饵。记录每次残饵数量与每天余料。在暂养期和试验期间采用微流水交换,换水频率为每天换水 1/6。水质监测情况:溶解氧(8.31 ± 0.16) mg/L, pH(7.0 ± 0.1),氨氮(0.16 ± 0.011) mg/L,总硬度(1.51 ± 0.16) L,钙含量(25.8 ± 0.2) mg/L,亚硝酸盐(0.154 ± 0.05) mg/L,硝酸盐(0.110 ± 0.014) mg/L。室内为透明塑料屋顶,光周期为自然周期。养殖试验结束前一天停止饲喂。

1.2 样本的采集与计算分析

胃排空试验与胃排空数学模型选择 取 200 尾健康无病、大小较一致、平均体质量 4.2 g 的试验鱼养殖于 5 个 1 m × 0.8 m × 1 m 尼龙网箱(网箱放置在 6.5 m × 2.0 m × 1.5 m 的水泥池中)中一周后进行胃排空试验。试验开始后将试验鱼饥饿 1 d 使其胃中饲料排空,试验前各试验组随机取出 10 尾鱼,解剖观察鱼胃内残余饲料

表 1 试验日粮组成和主要营养成分分析

Tab.1 Composition of the experimental diets and main nutrients

原料成分 ingredient	比例 percentage
次粉 wheat middling	20.0
大豆粕 soybean meal	25.0
花生粕 peanut meal	17.0
菜籽粕 rapeseed meal	8.9
米糠 rice bran	5.0
秘鲁鱼粉 peru fishmeal	20.0
大豆油 soybean oil	2.1
食盐 salt	0.1
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	0.6
氯化胆碱 choline	0.1
复合矿物质 mineral premix ¹	1.0
复合多维 vitamin premix ²	0.2
主要营养成分(实际测量值) nutrition components(Practice Measure)	
水分 moisture	10.8
粗蛋白 crude protein	38.3
粗脂肪 crude fat	6.4
粗灰分 crude ash	8.7
粗纤维 crude fibre	5.3
无氮浸出物 NFE ³	30.2
总能/(MJ/kg) GE ⁴	16.88

注:1. Na₂(HPO₄)₂ 4.20, NaCl 3.23, K₂SO₄ 16.38, KCl 6.58, FeSO₄ 1.07, Citric acid iron 3.83, MgSO₄ 4.42, ZnSO₄ 0.47, MnSO₄ 0.033, CuSO₄ 0.022, CrCl₂ 0.043, KI 0.02, CaCO₃ 61.71. 2. Inositol 2.22, V C 1.11, Calpanate 0.83, V B₁ 0.22, V B₂ 0.56, V B₆ 0.06, V K 0.06, Folic acid 0.02, V B₁₂ 0.012, V H₂ 0.006, V E 0.44, Cellulose 94.42. 3. 无氮浸出物 NFE = 100 - (% protein + % lipids + % ash + % fibre). 4. protein × 23.6 + lipid × 39.5 + NFE × 17.2.

量。试验开始时投喂罗非鱼鱼苗膨化饲料,投喂时保持网箱内有多余饲料存在,使所有的试验鱼充分摄食。投喂后 3 min 若网箱内有剩余的饲料,则结束投喂并捞出残饵,随机取出 10 尾鱼作为分析饲料摄入量用。然后开始每隔 1 小时定时取样,每次随机取 10 尾鱼。取样的鱼先放入冰水麻醉,然后用电子天平[(200 ± 0.01) g]逐尾称取体质量,解剖取出胃内饲料,称重得其胃内饲料重量(湿重),每次取样所得胃内饲料重量的平均值作为该取样时间的胃内饲料重量^[3]。当解剖取样的 80% 鱼胃内无饲料残余时,确定胃排空为 100%,试验结束。选用目前胃排空率研究中最常用的 3 种数学模型,即指数模型、线性模型和平方根模型^[7],本研究用回归曲线相关系数的二次方

值(R^2)检验上述3种排空数学模型对实测值的拟合程度,通过比较各拟合模型的判定系数(R^2)、残差标准差(SDR)以及残差平方和(RSS)等来选择试验幼鱼的最佳胃排空率模型。3者的数学方程式如下^[7]

线性模型: $Y = A - Bx$; 指数模型: $Y = A \exp(-Bx)$; 平方根模型: $Y^{0.5} = A - Bx$

式中, Y 为瞬时胃内残余饲料湿质量 = 胃内残余饲料湿重(g)/鱼体质量(g) × 100, B 为瞬时胃排空率 = 胃内残余饲料湿重(g)/鱼体质量(g) × 100 × h , X 为排空实验开始后的时间(h), A 为常数。

养殖试验样本的采集与计算 养殖试验开始前取10尾作为初始鱼样本,取试验饲料样品分析其营养成分。试验开始与结束时,对试验各组的鱼记数、称重,计算其存活率和特定生长率。统计每天的余料和残饵数量,计算其摄食量和饲料效率。试验结束后每试验组3个平行网箱随机各取3尾鱼,共9尾鱼,分别称重,烘干,用于测全鱼主要营养成分;另取9尾鱼,分别称重,解剖取肝脏称重计算肝体指数。试验饲料和鱼体的水分、粗蛋白、脂肪和灰分含量按文献[9]方法测定。粗纤维按照VAN SOEST等^[10]描述的方法进行测定。

有关参数计算公式:成活率($SR, \%$) = 试验结束时鱼尾数/试验开始时尾数 × 100, 摄食量(FI, g) = 投喂量 - (余料 + 残饵), 特定生长率($SGR, \%/d$) = $(\ln W_f - \ln W_i) \times 100/t$, 饲料效率($FER, \%$) = $(W_f - W_i)/FI \times 100$, 肝体指数($HSI, \%$) = $W_h/W_b \times 100$ ^[10]。

式中 W_i 为试验开始时鱼体质量(g); W_f 为试验结束时鱼体质量(g); t 为养殖试验天数(d); FI 为摄食量; W_b 为鱼体质量(g); W_h 为肝脏质量(g)。

试验数据处理 记录统计胃排空在胃出现速率,采用ANOVA方法对数据进行线性分析(SPSS 13.0)。对胃排空数据进行转换,转换后的数据随时间产生的线性关系,斜率之间的差异进行了 t 检验,显著性水平为 $P < 0.05$ 。

采用SPSS 13.0数据统计软件包对实验各组间数据进行统计分析,试验结果经过一元方差分析(One-Way ANOVA)后,用平均数 ± 标准差(mean ± SD)表示。先进行方差齐性分析,方差齐性则运用LSD法进行单因素方差多重比较,方

差非齐性则采用Tamhane's T_2 法进行单因素方差分析,显著水平采用0.05。然后进行Duncan氏多重比较各实验组间差异的显著性,显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 试验幼鱼胃内饲料排空变化

在养殖试验开始后,测定幼鱼胃内饲料排空,其胃内饲料排空变化见图1。试验前各试验组随机取出10尾鱼,解剖观察到所有鱼胃内均无残余饲料,其胃排空率为100%。以3种数学模型分别拟合其胃排空实验数据,发现它们的拟合度均较高,但平方根模型的判定系数 R^2 最高、RSS以及残差SDR最低(表2),说明平方根模型较其它2种模型更适于定量描述其胃排空曲线(表2)。按照平方根模型,平均体质量4.2g尼罗系吉富罗非鱼幼鱼胃内饲料完全排空时间为15h,达到投喂前的水平;而80%胃内饲料排空时间为9h。胃内饲料在投喂后3h快速下降40%,后逐步降低。

2.2 不同投喂频率试验幼鱼的存活率、摄食量、生长性能和日粮利用率

在整个试验期间,不同投喂频率组鱼没有出现死亡,存活率均为100%。试验各组鱼的总摄食量、特定生长率、饲料效率见表3。随着投喂频率的减少,试验幼鱼的特定生长率、总摄食量和饲料效率均有降低,在投喂频率为1d4次、1d3次和1d2次时其特定生长率和饲料效率显著高于投喂频率为2d4次、2d3次和2d2次时($P < 0.05$);投喂频率为1d2次、2d4次、2d3次、2d2次时其总摄食量显著低于1d4次或1d3次时($P < 0.05$)。

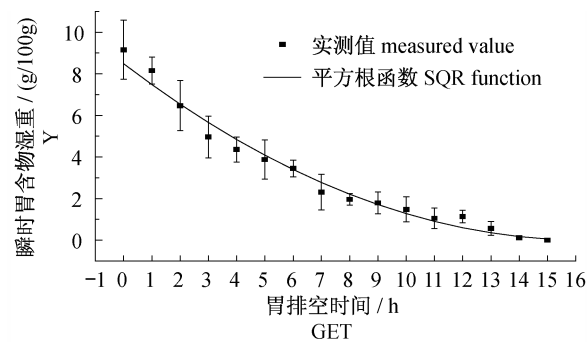


图1 试验幼鱼胃排空变化
Fig.1 The change of gastric evacuation for fish

表 2 试验幼鱼胃排空曲线的 3 种数学模型拟合结果

Tab. 2 The imitation with 3 types of mathematical models about the gastric evacuation of fish

数学模型 model	A	B	R ²	SDR	RSS
平方根模型 square root	2.914	0.178	0.991	0.132	0.283
指数模型 think	9.44	0.825	0.989	0.288 8	1.334
线性模型 linear	7.390	0.562	0.904	0.875	11.413

表 3 不同投喂频率组幼鱼的摄食量、特定生长率和饲料效率

Tab. 3 The feed intake (FI), specific growth ratios (SGR) and feed effectiveness ratios (FER) in fish with different feeding frequencies

投喂频率 feeding frequency	初始体质量/g IBW	终末体质量/g FBW	摄食量/g FI	特定生长率/(%/d) SGR	饲料效率/% FER
4 次/d four meals/day	3.72 ± 0.05	48.03 ± 3.95 ^a	41.98 ± 3.16 ^a	6.09 ± 0.22 ^a	105.6 ± 3.47 ^b
3 次/d three meals/day	3.72 ± 0.03	47.61 ± 3.67 ^a	40.07 ± 3.75 ^a	6.07 ± 0.17 ^a	109.5 ± 9.37 ^b
2 次/d two meals/day	3.71 ± 0.04	46.83 ± 4.89 ^a	34.13 ± 3.95 ^b	5.99 ± 0.27 ^a	126.3 ± 10.08 ^a
4 次/2 d four meals/2 days	3.71 ± 0.05	28.96 ± 3.16 ^b	37.20 ± 1.54 ^b	4.88 ± 0.22 ^b	61.9 ± 6.54 ^c
3 次/2 d three meals/2 days	3.72 ± 0.03	28.84 ± 2.59 ^b	35.09 ± 1.80 ^b	4.87 ± 0.23 ^b	71.6 ± 4.82 ^c
2 次/2 d two meals/2 days	3.71 ± 0.05	25.81 ± 0.29 ^b	26.80 ± 3.66 ^c	4.62 ± 0.02 ^b	82.4 ± 11.75 ^c

注:同一列数据右上角不同上标小写字母代表有显著差异($P < 0.05$)。

Notes: Values in the same column having different superscript letters are significantly different ($P < 0.05$).

2.3 不同投喂频率幼鱼鱼体营养成分和肝脏变化

不同投喂频率组鱼体营养成分和肝体指数见表 4。随着投喂频率降低,鱼体水分含量逐步上

升,脂肪和蛋白质含量逐步下降,其中 1 d 4 次、1 d 3 次组鱼与 2 d 2 次组鱼有显著性差异($P < 0.05$)。2 d 3 次组鱼肝体指数最低,其它各组间无显著性差异。

表 4 不同投喂频率幼鱼鱼体营养成分和肝体指数

Tab. 4 Proximate analysis of nutrient contents by body and hepatosomatic indices (HIS) in fish with different feeding frequencies

投喂频率 feeding frequency	水分 moisture	蛋白质 protein	脂肪 crude lipid	灰分 ash	肝体指数 HIS
起初值 initial	74.99 ± 0.14 ^{cf}	13.87 ± 0.18 ^a	4.32 ± 0.32 ^a	4.06 ± 0.28 ^a	1.73 ± 0.34 ^{ab}
4 次/d 4 meals/day	72.57 ± 1.26 ^{ac}	16.70 ± 0.70 ^b	6.45 ± 0.33 ^{bc}	4.28 ± 0.23 ^a	1.87 ± 0.37 ^b
3 次/d 3 meals/day	71.63 ± 1.82 ^a	16.41 ± 1.45 ^b	7.13 ± 0.61 ^c	4.84 ± 0.60 ^b	1.63 ± 0.25 ^{ab}
2 次/d 2 meals/day	73.91 ± 0.97 ^{cc}	16.13 ± 0.75 ^{bc}	6.00 ± 0.32 ^{bd}	3.95 ± 0.12 ^a	1.46 ± 0.08 ^{ab}
4 次/2 d 4 meals/2 days	73.64 ± 1.67 ^{acc}	15.89 ± 0.89 ^{bc}	6.20 ± 0.65 ^b	4.27 ± 0.19 ^a	1.78 ± 0.23 ^b
3 次/2 d 2 meals/2 days	75.07 ± 0.30 ^{cf}	15.41 ± 0.53 ^{bc}	5.68 ± 0.39 ^{bd}	3.84 ± 0.08 ^a	1.28 ± 0.25 ^a
2 次/d 2 meals/2 days	76.12 ± 0.90 ^{bf}	14.76 ± 0.40 ^{ac}	5.28 ± 0.67 ^d	3.84 ± 0.04 ^a	1.57 ± 0.33 ^{ab}

注:同一列数据右上角不同上标小写字母代表有显著差异($P < 0.05$)。

Notes: Values in the same column having different superscript letters are significantly different ($P < 0.05$).

3 讨论

3.1 养殖试验对尼罗系吉富罗非鱼幼鱼不同投喂频率的综合效果评价

养殖试验为传统鱼类投喂频率试验方法,通过鱼类在其养殖期间的生长性能、饲料效益、机体营养成分组成和健康状况,综合全面评价出其适

宜的投喂频率^[11]。鱼类的最适投喂频率受鱼的种类、大小、饲料蛋白和能量比例以及前期饲喂条件等的影响^[13-14]。一些研究表明,随着投喂频率的增加鱼类生长率的提高有 2 种原因:(1)因投喂频率增加而引起的鱼的摄食量的提高可以在一定程度上提高鱼的生长,而与饲料转化率无关,如杂交太阳鱼(hybrid sunfish)^[13]和南方鲇(*Silurus*

meridionalis)^[15]; (2) 鱼类的生长率与饲料转化率同时升高,这可能是由于饲料效率上升所致,如鲤(*Cyprinus carpio*)^[16]。另一些研究却发现,在投喂过量的情况下,往往造成体增重或饲料效率降低,虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)幼鱼在饱食的情况下1 d 3次组的鱼体增重效果明显好于1 d 1次和1 d 6次组鱼^[17]。240 g的太平洋鲑(*Oncorhynchus spp.*)在饱食情况下1 d 2次组鱼与2 d 2次组鱼体增重相似,但2 d 2次组鱼的饲料效率明显提高^[18]。本研究结果表明,随着投喂频率增加,尼罗系吉富罗非鱼幼鱼的摄食量和生长性能不断提高。尼罗系吉富罗非鱼幼鱼在投喂频率为1 d 4次时特定生长率最高,较其它投喂频率高,摄食量为其它投喂频率的-3.8%、-15.3%、35.7%、32.2%和21.9%,说明其高生长性能是以高摄食量为基础。而在投喂频率2 d 4次、2 d 3次和2 d 2次时特定生长率和饲料效率显著下降,说明其投喂频率过低,不能满足尼罗系吉富罗非鱼幼鱼的正常生长营养需要。在投喂频率为2 d 2次时其特定生长率与1 d 4次和1 d 3次时相近,显著高于2 d 4次、2 d 3次和2 d 2次组鱼,但其饲料效率显著高于其它投喂频率组鱼($P < 0.05$),表明其较高的生长性能主要是提高了饲料效率的缘故。鱼体营养成分分析表明,投喂频率对尼罗系吉富罗非鱼幼鱼体组成的影响主要表现为对鱼体脂肪含量的影响,随着投喂频率的增加,尼罗系吉富罗非鱼幼鱼鱼体脂肪与蛋白质含量逐渐上升,水分含量逐渐下降。各投喂频率组鱼肝体指数无差异显著。因此,尼罗系吉富罗非鱼幼鱼的最适投喂频率为1 d 2次,较其它投喂频率表现出较好的生长性能或饲料转化效益,具有更好的养殖效益。

3.2 胃排空试验对尼罗系吉富罗非鱼幼鱼食欲恢复效果评价

鱼类的胃排空方式及其影响因素复杂多样。目前广泛应用的是指数模型、平方根模型和直线模型,它们都描述曲线关系,只是假设不同^[7]。指数模型是表面积模型,即食物的表面积影响消化和排泄,消化酶接触到食物的外表面,消化速率和颗粒的表面积成比例。根据这个模型,胃内残留物的排空曲线被转化为指数并与饲喂后时间相关。平方根模型和直线模型是体积依赖模型,食物摄入的体积通过胃的膨胀调节其排泄速率。假

设胃的膨胀开始与蠕动收缩,周缘张力与半径成比例,因此与残留物的体积的平方根成比例。初始的体积越大,那么起始的排空速率越大。根据这个模型,胃内残留物的排空曲线被转化为平方根线性化,与饲喂后时间相关^[7-8]。JOBILING^[7]分析了许多已发表的数据后认为,指数模型在描述鱼类摄食粒度小、易消化食物的排空曲线拟合度均较高,而干颗粒饲料排空的最好描述为平方根或线性模型。本试验结果表明,4.2 g左右的尼罗系吉富罗非鱼幼鱼摄食膨化饲料后胃排空的最好描述为平方根模型,其胃内饲料完全排空时间为15 h(图1)。鱼类胃的排空速率很大程度上与其食欲的恢复有关,GROVE等^[19]研究表明虹鳟胃内容物排出超过50%后,其食欲的恢复也超过50%。一般认为,胃内残留物为零或胃内容物完全排空时为鱼类食欲完全恢复适宜指标,即食欲恢复的极限点^[4,19]。

但本研究的目的是了解投喂频率,胃满度以及食欲恢复之间的关系。GROVE等^[19]报道虹鳟需要15 h达到完全胃排空,但是80%~90%胃排空比率只需要6 h,根据对应的传统养殖试验结果,作者认为投喂6 h后为其食欲基本恢复时间。RICHE等^[4]认为对于罗非鱼这种胃容量较小的鱼类,80%的胃排空的时间点可以作为其投喂后食欲基本恢复时间。根据本试验收集的数据绘制成的排空直线模型预测4.2 g左右的尼罗系吉富罗非鱼幼鱼80%胃排空为9 h,也就是说其投喂后食欲基本恢复时间为9 h左右。投喂频率为1 d 4次、1 d 3次时,其投喂间隔时间分别为3和4.5 h,在这期间尼罗系吉富罗非鱼幼鱼胃内饲料排空达到大约40%和50%,胃内饲料未经充分消化进入肠道导致营养成分的较低利用效率,其食欲也尚未完全恢复,短时间间隔的饲喂导致食物低效率的消化和利用在其它鱼类研究中也曾见报道^[13,20]。投喂频率为2 d 4次、2 d 3次和2 d 2次时,其投喂间隔时间超过24 h,胃内容物已完全排空,远超过了食欲恢复的极限点。这都使其摄食量明显降低,生长性能低下。投喂频率为1 d 2次时,其投喂间隔时为9 h,胃内容物达到80%的排空,食欲基本得到恢复,所以其特定生长率与饲料效率均较高,养殖效益明显好于其它投喂频率。这与前面饲养试验的结论一致。RICHE等^[4]报道,平均体质量133 g的奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)80%胃排空为

8 h,这与本实验结果基本相似。

综上所述,不同投喂频率对 3.7 ~ 48.0 g 尼罗系吉富罗非鱼幼鱼胃排空试验与传统养殖试验结果表明,其适宜的投喂频率均为 1 d 2 次。用胃排空评价尼罗系吉富罗非鱼幼鱼的投喂频率是一种简便、有效的方法。

参考文献:

- [1] MARAIS J K, KISSIL G W. The influence of energy level on the feed intake, growth, food conversion and body composition of *Sparus aurata* [J]. Aquaculture, 1979, 17 (2) : 203 - 219.
- [2] GERSHANOVICH A D, TAUFIK L R. Feeding dynamics of sturgeon fingerlings *Acipense ridae* depending on food concentration and stocking density [J]. Journal of Fish Biology, 1992, 41 (3) : 434.
- [3] LEE S, HWANG U, CHO, S H. Effects of feeding frequency and dietary moisture content on growth, body composition and gastric evacuation of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*) [J]. Aquaculture, 2000, 187 (3) : 399 - 409.
- [4] RICHE M, HALEY D I, OETKER M, et al. Effect of feeding frequency on gastric evacuation and the return of appetite in tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) [J]. Aquaculture, 2004, 234 (5) : 657 - 673.
- [5] 农业部渔业局. 2008 中国渔业年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2010: 190.
- [6] 李思发. 吉富品系尼罗罗非鱼引进史 [J]. 中国水产, 2001, 10 (1) : 52 - 53.
- [7] JOBLING M. Mathematical models of gastric emptying and the estimation of daily rates of food consumption for fish [J]. Journal of Fish Biology, 1981, 17 (2) : 187 - 196.
- [8] JOBLING M. Mythical models of gastric emptying and implications for food consumption for fish studies [J]. Environmental Biology of Fishes, 1986, 16 (1) : 35 - 50.
- [9] AOAC. Official Methods of Analysis [M]. 15th ed. Arlington: Association of Official Analytical Chemists, 1990.
- [10] VAN SOEST P J, ROBERTSON, J B, LEWIS, B A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition [J]. Journal of Dairy Science, 1991, 74 (5) : 3583 - 3597.
- [11] HALVER J E, HARDY R W. Fish nutrition [M]. 3rd ed. New York: Academic Press, 2002: 8 - 40, 603 - 606.
- [12] DE SILVA S S, ANDERSON T A. Fish nutrition in aquaculture [M]. New York: Chapman & Hall, 1995: 32 - 40.
- [13] WANG N, HAYWARD R S, NOHIE D B. Effect of feeding frequency on food consumption, growth, size variation, and feeding pattern of age-0 hybrid sunfish [J]. Aquaculture, 1998, 165 (2) : 261 - 267.
- [14] COMPANY R, CALSUCH-GINER J A, KAUSHIK S. Growth performance and adiposity in gilthead sea bream *Sparus aurata*: risks and benefits of high energy diets [J]. Aquaculture, 1999, 171 (2) : 279 - 292.
- [15] 何利君, 谢小军, 艾庆辉, 等. 饲喂频率对南方鲷的摄食率、生长和饲料转化率的影响 [J]. 水生生物学报, 2000, 24 (6) : 603 - 609.
- [16] OMAR E A, GUNTHER K D. Studies on feeding of mirror carp (*Cyprinus carpio* L) in intensive aquaculture [J]. Journal of Animal Physiology, 1987, 57 (1) : 80 - 172.
- [17] GRAYTON B D, BEAMISH F W H. Effects of feeding frequency on food intake, growth and body composition of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. Aquaculture, 1977, 11 (2) : 159 - 172.
- [18] 冯健, 李程琼, 梁桂英, 等. 淡水养殖太平洋鲑鱼饥饿后补偿性生长效果研究 [J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2005, 44 (3) : 86 - 89.
- [19] GROVE D J, LOZOIDES L, NOTT J. Satiation amount, frequency of feeding and gastric emptying rate in *Salmo gairdneri* [J]. Journal of Fish Biology, 1978, 12 (4) : 507 - 516.
- [20] GWYTHYER D, GROVE D J. Gastric emptying in limanda and the return of appetite [J]. Journal of Fish Biology, 1981, 18 (2) : 245 - 259.

Effects of feeding frequency on gastric evacuation, growth benefit and body composition of juvenile genetic improved farmed tilapia strain of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)

SUN Xiao-feng, FENG Jian* , CHEN Jiang-hong, LUO Bo, ZHAO Hai-xiang, ZHAO Hua-lin
(Institute of Aquaculture, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: A 6-week feeding experiment was conducted to determine the optimum feeding frequency for gastric evacuation, growth performance and body composition of the juvenile genetic improved farmed tilapia strain of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) (GIFT strain of Nile tilapia). At the start of the feeding trial, gastric evacuation rate of the fish was monitored after feeding to visual satiety. Gastric evacuation of the fish was best fitted with square root model. It was estimated that gastric feed contents gradually decreased and reached the pre-feeding level within 15 h and 80% evacuation would require 9 h, which suggested corresponded to the return of appetite. Six replicate groups of the 360 fish (initial weight 3.72 g) were fed to visual satiety puffed feed at different feeding frequencies (four meals a day, three meals a day, two meals a day, four meals every 2 days, three meals every 2 days and two meals every 2 days). As feeding frequency decreased, the weight gain and feed efficiency of the juvenile gradually decreased. The specific growth ratios (SGR) of fish fed four meals a day, three meals a day and two meals a day were significantly higher than those of four meals every 2 days, three meals every 2 days and two meals every 2 days ($P < 0.05$). The feed intakes of fish fed two meals a day, four meals every 2 days, three meals every 2 days and two meals every two days were significantly lower than those of three meals a day and four meals a day ($P < 0.05$). As feeding frequency decreased, moisture contents of fish body increased and the contents of fat and protein decreased gradually, and there were significant difference between the fish fed four meals a day, three meals a day and the fish fed two meals every 2 days. Hepatosomatic indices of fish were not significantly different between all test groups. It is concluded that two meals a day is more effective than other feeding frequencies for improving growth performance or feed efficiency of juvenile GIFT strain of Nile tilapia from 3.7 to 48.0 g. Gastric evacuation is a simple and convenient method to evaluate optimum feeding frequency of juvenile GIFT strain of Nile tilapia.

Key words: GIFT strain of Nile tilapia; feeding frequency; gastric evacuation; growth benefit; body composition

Corresponding author: FENG Jian. E-mail: fengjian08@163.com