

蛋白质限制后恢复投喂对牙鲆幼鱼生长的影响

吴立新,邓宏相,耿志孚,王国栋

(大连水产学院 辽宁省省级高校水生生物学重点实验室,大连 116023)

摘要:2004 年 4 月 4 日~5 月 22 日,在 (23.0 ± 0.5) 条件下研究了牙鲆(平均体重, (8.80 ± 0.18) g)继蛋白质限制后恢复投喂对其生长的影响。整个实验期间对照组(C 组)连续 48d 饱食投喂含能 17.29kJ/g,含粗蛋白 50.00 %的饵料。蛋白质限制阶段(1~18d)处理组 T30 和 T40 的饵料蛋白含量分别为 27.95 %和 40.47 %,但饵料含能与对照组相同,在恢复投喂阶段(19~48d)各处理组均投喂与对照组相同的饵料。实验结果表明,在蛋白质限制阶段,饵料蛋白质水平下降显著降低了处理组鱼的体重、特定生长率、饵料湿重、干重以及能量转化率($p < 0.05$),而摄食率、蛋白质效率和饵料蛋白质转化率随饵料蛋白水平降低而显著升高($p < 0.05$)。恢复投喂结束后,处理组上述各指标均恢复至对照组水平($p > 0.05$)。此外,除实验结束时 T30 组鱼体脂肪含量显著低于对照组($p < 0.05$)外,整个实验期间各处理组的表观消化率及鱼体成分与对照组相比均无显著差异($p > 0.05$)。实验结果表明,牙鲆幼鱼继蛋白质限制后的恢复投喂阶段出现了完全补偿生长效应。

关键词:牙鲆;蛋白质限制;补偿生长

文章编号:1000-0933(2006)11-3711-07 中图分类号:S917 文献标识码:A

Effects of protein restriction with subsequent realimentation on growth performance of juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*

WU Li-Xin, DENG Hong-Xiang, GENG Zhi-Fu, WANG Guo-Dong (Key Laboratory of Hydrobiology in Liaoning Province's Universities, Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(11): 3711~3717.

Abstract: The effects of protein restriction with subsequent realimentation on growth performance of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* (initial wet weight (8.80 ± 0.18) g) were investigated at (23.0 ± 0.5) from 4 April to 22 May, 2004. The control group (C) was fed a standard diet containing 50.00 % crude protein (wet weight basis) and 17.29kJ gross energy/g (dry weight) throughout the experiment (48 days). For the two treatment groups, T30 and T40, in the restricted phase (day 1~18) dietary crude protein contents were reduced to 27.95 % and 40.47 %, respectively, with constant energy supply, while in the realimentation phase (day 19~48) the fish were fed the same diet as that in the control group. The results showed that during the period of protein restriction, body weight, specific growth rates, food conversion efficiencies (FCE_w , FCE_d and FCE_e) decreased, while food intake, protein efficiency ratio and food conversion efficiency in term of protein (FCE_p) increased with the dietary protein levels decreased; in the realimentation phase, however, there were no significant difference in the above indexes between treatment groups and control group. Still, there were no significant differences in the apparent digestibility and the body composition between the treatment groups and the control group throughout the experiment, except that the fish in the control group showed higher lipid content than those in group T30 at the end of experiment. The complete compensatory growth was observed in this study.

Key words: *Paralichthys olivaceus*; protein restriction; compensatory growth

基金项目:辽宁省高等学校优秀人才支持计划资助项目(RC-05-10);2004 年大连市青年科技人才基金资助项目(2004166)

收稿日期:2006-02-28;**修订日期:**2006-09-20

作者简介:吴立新(1966~),男,江苏吴江人,博士,教授,主要从事水产动物营养学研究。E-mail: wulixin@dlfu.edu.cn

Foundation item: The project was financially supported by Liaoning Province's Universities for the Excellent Fellows (No. RC-05-10); Dalian Science and Technology Foundation for Youth (No. 2004166)

Received date: 2006-02-28; **Accepted date:** 2006-09-20

Biography: WU Li-Xin, Ph.D., Professor, mainly engaged in nutrition of aquatic animals. E-mail: wulixin@dlfu.edu.cn

动物继饥饿或营养不足后在恢复正常摄食时表现出超过(未受饥饿或营养不足胁迫的)正常个体的生长速度,称为补偿生长现象。目前为止,人们对畜禽类动物中的补偿生长现象进行了广泛地研究,并已在一些种类的饲养中利用此现象通过改变投饲制度而获得经济效益^[1-3]。自 20 世纪 70 年代以来,水生动物中的补偿生长现象逐渐受到人们重视,现已成为其营养生理学研究的热点之一^[4-6]。

诱发动动物补偿生长的因素很多,其中大多数学者利用饥饿或限食来诱发动动物的补偿生长效应,也有一些学者研究发现,通过蛋白质限制可以使禽畜类动物获得完全补偿生长^[7,8]。有关水产动物蛋白质限制后的补偿生长报道甚少,结果也不一致,其中 Schwarz 等^[9]报道了鲤(*Cyprinus carpio*)继蛋白质限制后未出现补偿生长现象,而 Wu 等^[10]研究发现,中国对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)在蛋白质限制后出现了部分和完全补偿生长效应。

牙鲆是我国重要的海水养殖鱼类,近年来已对该鱼的营养生理学和生态学特征做过很多研究^[11-14],但未见通过营养限制后恢复投喂引起牙鲆补偿生长的报道。本文研究了牙鲆幼鱼在蛋白质限制以及恢复投喂过程中的生长特性,旨在查明蛋白质限制能否激发牙鲆幼鱼的补偿生长效应,揭示其适应蛋白质限制胁迫的生理生态学对策,同时可为牙鲆养殖高效投饲制度的建立提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 饵料

制备 3 种实验饵料,分别含粗蛋白 50.00%, 40.47% 和 27.95% (湿重)。利用鱼油和面粉将各种饵料调至等能(约 18 kJ/g 干物质)。添加 0.2% 的 Cr_2O_3 作为测定消化率的外源指示物。饵料原料充分混匀后与水(2:1)调和,以绞肉机制成直径 3 mm 左右的颗粒饵料,在室温下自然风干后(水分含量 8% 左右)贮存于 -20℃ 冰箱中保存备用。实验饵料配方及主要营养成分见表 1。

1.2 实验设计

实验采用完全随机分组。整个实验阶段为 48 d, 分为蛋白质限制阶段(第 1~18 天)和恢复投喂阶段(第 19~48 天)。对照组 C 在整个实验期间一直投喂粗蛋白含量为 50.00% 的饵料(P50)。处理组 T40 和 T30 在蛋白质限制阶段分别投喂粗蛋白含量为 40.47% (P40) 和 27.95% (P30) 的饵料;在恢复投喂阶段两处理组与 C 组一样均投喂 P50 饵料。各组均设 3 个重复。

1.3 饲养条件

实验用循环水系统包括 9 个水族箱(50 cm × 40 cm × 40 cm, 实际水量 60 L)。海水经砂滤使用。日换水量为 1/4~1/3。实验期间水温为(23.0 ± 0.5)℃, 溶氧 > 6.0 mg/L, 盐度 32, pH 值 7.8 ± 0.2, 氨氮 < 0.1 mg/L, 光照周期为 14L:10D。

1.4 实验鱼的来源和驯养

实验用鱼购自大连富谷水产有限公司,为健康活泼的个体。实验前驯养 2 周,驯养期间每天足量投喂 P50 饵料 2 次(6:00 和 17:00),残饵和粪便及时用吸管取出。

1.5 实验程序

选取规格相近的个体 100 尾(平均体重(8.77 ± 0.72) g),将鱼称重(精确到 0.01 g)后放入各水族箱,每箱 9 尾。从剩余的鱼中随机取 9 尾,每 3 尾为一个样本,留做初始鱼体成分的分析。

表 1 实验饲料配方及成分分析

Table 1 Ingredient composition and proximate analysis (dry weight basis) of the experimental diets

成分(干重比) Ingredients (% dry wt)	饵料 Diets		
	P30	P40	P50
鱼粉 Fish meal	30.0	45.0	60.0
豆粕 Soybean meal	9.0	13.0	17.0
乌贼内脏粉 Squid gut	4.5	4.5	4.5
面粉 Wheat flour	42.28	25.78	9.28
海藻粉 Algae flour	2.0	2.0	2.0
鱼油 Cod liver oil	9.0	6.5	4.0
混合矿物盐 Mineral mix	1.5	1.5	1.5
混合维生素 Vitamin mix	1.5	1.5	1.5
BHT	0.02	0.02	0.02
Cr_2O_3	0.2	0.2	0.2
成分组成 Proximate composition			
干物质 Dry matter (% wet wt)	91.21	91.42	92.07
蛋白质 Protein (% dry wt)	30.64	44.27	54.31
脂肪 Lipid (% dry wt)	14.85	14.04	14.48
灰分 Ash (% dry wt)	11.30	15.10	18.75
能值 Energy content (kJ/g dry wt)	18.32	18.61	18.78

在蛋白质限制阶段结束和实验结束时,各实验组称重,并从各水族箱中随机取 1 尾用于体成分测定。

实验期间每天饱食投喂 2 次(6:00 和 17:00),每天投喂前 1h 收集完整粪便,投喂后 1h 后收集残饵,将它们收于封口袋中在 - 20 ℃ 冰箱内保存。

1.6 生化分析

鱼样、残饵和粪便均 70 ℃ 下烘干至恒重测得水分含量;采用凯氏定氮法(总氮 ×6.25)测得粗蛋白含量;采用索氏提取法(以乙醚为抽提液)测得粗脂肪含量;将样品在马福炉中灼烧(550 ℃)7h 测得灰分含量;样品能值用 HR-15 型恒温式热量计(上海市检测技术所上立检测仪器厂)进行测定;采用湿式灰化定量法测定表观消化率。

1.7 计算与数据处理

实验期间鱼的特定生长率(Specific growth rate, SGR)、蛋白质效率(Protein efficiency ratio, PER)、摄食率(Feeding intake, FI)和饵料转化率(Food conversion efficiency, FCE)分别按以下公式计算:

湿重特定生长率 $SGR_w(\%/d) = 100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t$

饵料湿重转化率 $FCE_w(\%) = 100 \times (W_t - W_0) / C$

蛋白质效率 $PER = (W_t - W_0) / C_p$

摄食率 $FI(\% \text{体重}/d) = 100 \times C / [t \times (W_t + W_0) / 2]$

式中, W_0 为实验初始时的鱼体湿重, W_t 为实验结束时的鱼体湿重, t 为实验天数, C 为摄饵量(干重, g), C_p 为蛋白质消耗量(干重, g)。鱼体干重、蛋白质和能量的特定生长率(SGR_d , SGR_p , SGR_e)参照湿重特定生长率公式计算;同样可依据饵料湿重转化率公式计算饵料中干重、蛋白质以及能量转化率(FCE_d , FCE_p , FCE_e)。

饵料干物质、蛋白质、脂肪和能量表观消化率(Apparent digestibility, AD)计算公式如下:

干物质消化率 $AD_d(\%) = 100 \times (1 - C_d / C_f)$

营养成分表观消化率 $AD(\%) = 100 \times (1 - N_f / N_d \times C_d / C_f)$

式中, N_f 为粪便中的蛋白质(%)、脂肪(%)或能量(kJ/g 干物质); N_d 为饵料中的蛋白质(%)、脂肪(%)或能量(kJ/g 干物质); C_f 为粪便中 Cr_2O_3 含量(%); C_d 为饵料中 Cr_2O_3 含量(%)。

采用 SPSS10.0 统计软件进行数据分析,当单因素方差分析(One-way ANOVA)达显著差异后($p < 0.05$),进行 Duncan's 多重比较检验组间差异。

2 结果

2.1 实验期间牙鲆幼鱼的死亡率和体重变化

经 18 天蛋白质限制后牙鲆幼鱼的死亡率分别为 0.00%(对照组 C)、5.56%(T40)和 22.22%(T30);各实验组恢复投喂后的死亡率分别为 6.25%、0.00%和 0.00%。

实验期间不同投饲制度下的牙鲆幼鱼各阶段的体重如表 2 所示。在蛋白质限制阶段,两处理组的湿重均低于对照组,其中 T30 显著低于对照组($p < 0.05$);经过 30d 的恢复投喂后各处理组的湿重略低于对照组,组间无显著差异($p > 0.05$)。

2.2 特定生长率

在蛋白质限制阶段,牙鲆幼鱼湿重(SGR_w),干重(SGR_d),蛋白质(SGR_p)以及能量(SGR_e)的特定生长率随饵料蛋白水平的提高而显著提高;在恢复投喂阶段,处理组的 SGR_w , SGR_d , SGR_p , SGR_e 与对照组相比均无显著差异($p > 0.05$),但 T30 的各项指标均高于对照组(图 1)。

表 2 实验期间各实验组牙鲆体重变化(平均值 ± 标准差)

Table 2 The changes of body weight of Paralichthys olivaceus held on the three groups at the different times of the experiment (Mean ± SD)

实验组 Treatments	体重 Weight (g)		
	初始 Initial	限制结束 After restriction	实验结束 Final
C	8.59 ±0.13	19.56 ±0.59b	42.37 ±0.56
T ₄₀	8.93 ±0.24	18.01 ±0.35ab	38.50 ±3.73
T ₃₀	8.87 ±0.19	16.86 ±1.27a	38.10 ±1.03

同一列中数据具不同字母的表示差异显著($p < 0.05$) Values with different superscripts in the same column are significantly different ($p < 0.05$)

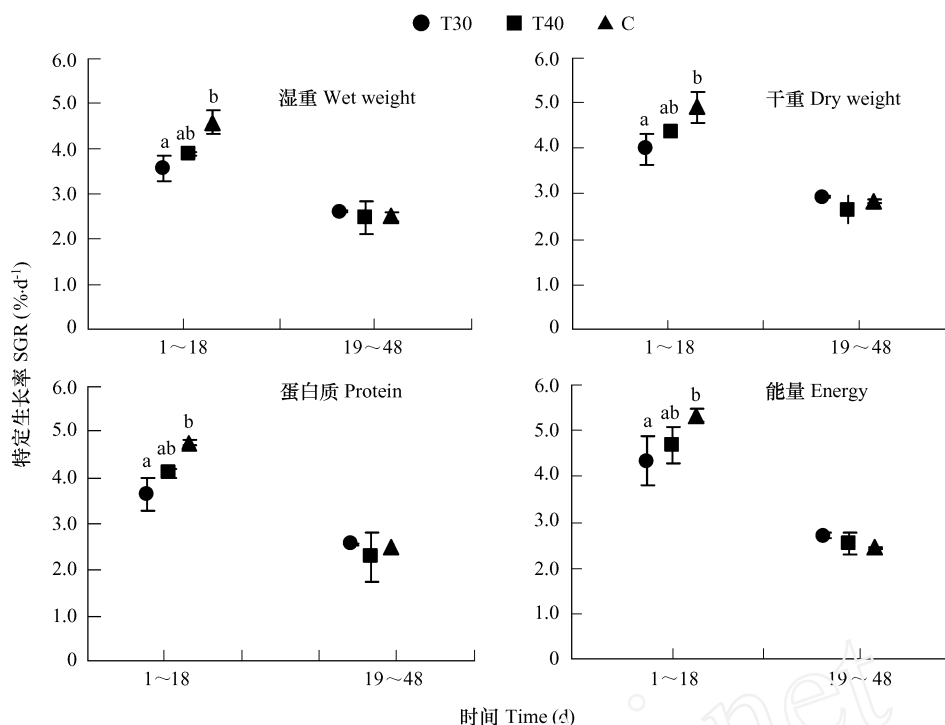


图1 实验期间不同投饲制度下牙鲆幼鱼的湿重、干重、蛋白质以及能量特定生长率

Fig. 1 Specific growth rates in term of wet weight (SGR_w), dry matter (SGR_d), protein (SGR_p) and energy (SGR_e) for juvenile *Paralichthys olivaceus* hold on the three feeding schedules during the course of experiment.

图中各组参数具不同字母的表示差异显著,误差线示均值标准差. For any one parameter values with the different letters are significantly different ($p < 0.05$), and bars indicate standard deviations of the means.

2.3 表观消化率

实验期间投喂不同蛋白含量饵料对牙鲆幼鱼表观消化率的影响如图2所示。蛋白质限制阶段,处理组与对照组相比,干物质、蛋白质消化率基本一致;脂肪和能量消化率均小于对照组,但经方差检验无显著差异。在恢复进食阶段,两处理组各消化率指标均赶上(T30)或超过(T40)对照组,经方差分析无显著差异。

2.4 摄食率和饵料利用率

饵料蛋白质水平显著影响牙鲆幼鱼的摄食和饵料利用率。如表3所示,在蛋白质限制阶段,处理组T30的饵料湿重、干重以及能量转化率均显著低于对照组C($p < 0.05$),而摄食率、蛋白质效率、蛋白质转化率均显著升高($p < 0.05$);在恢复投喂阶段,T30、T40的摄食率、饵料转化率的各种指标(FCE_w , FCE_d , FCE_p , FCE_e)、蛋白质效率均恢复至对照组水平,其中处理组T40的饵料能量转化率显著高于对照组($p < 0.05$)。

2.5 鱼体成分和能值

各组鱼体的水分、蛋白质、灰分、能量含量在实验各阶段无显著变化;在蛋白质限制阶段各处理组的脂肪含量与对照组相比无显著差异,而在恢复生长阶段各处理组的脂肪含量均低于对照组,其中T30显著低于对照组。

3 讨论

本实验中,投喂饵料蛋白含量50.00%的对照组鱼(体重为8.59~19.56g)的特定生长率(SGR_w)均值约为 $4.57\% \cdot d^{-1}$,与已有牙鲆生长速度($4.53\% \sim 5.32\% \cdot d^{-1}$)的资料一致^[11,12]。这表明用于实验的饵料其营养可以满足牙鲆幼鱼正常生长的需要。

在蛋白质限制阶段,牙鲆幼鱼的特定生长率(SGR_w , SGR_d , SGR_p , SGR_e)随着饵料蛋白水平的降低而显著降低,至蛋白质限制结束时,投喂低蛋白饵料的两处理组鱼的体重均低于对照组,其中T30鱼的体重显著低于对

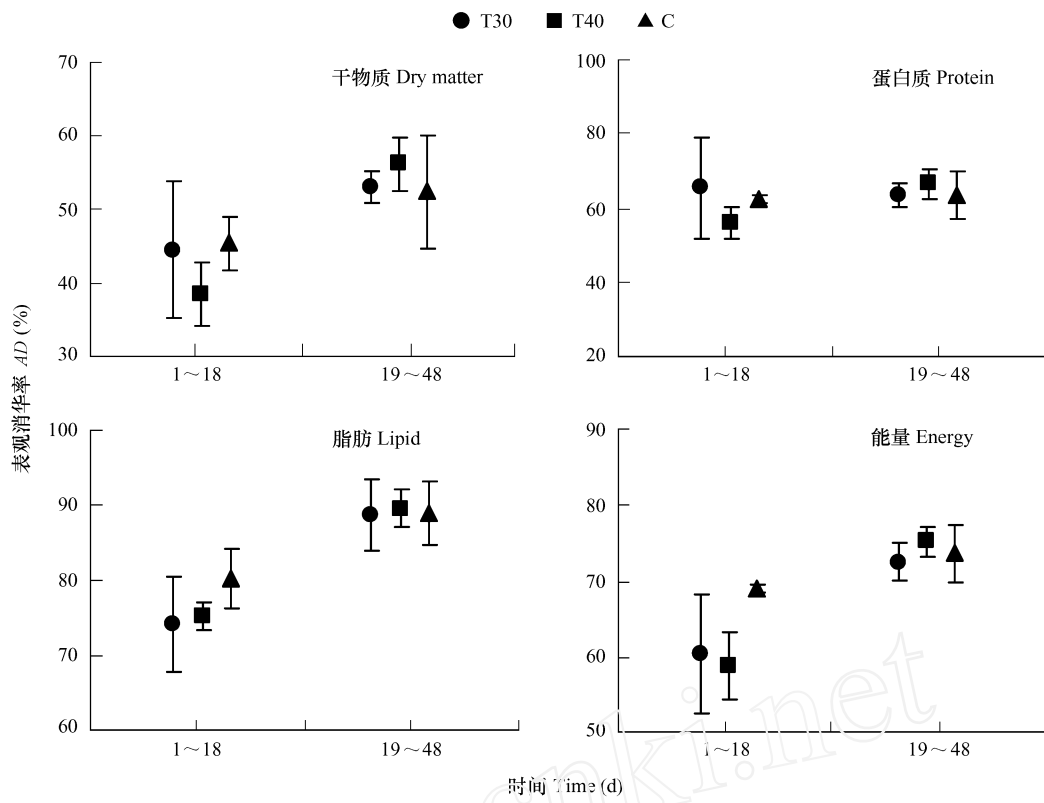


图2 实验期间不同投饲制度下牙鲆幼鱼的干物质、蛋白质、脂肪和能量表观消化率

Fig.2 Apparent digestibility of dry matter (AD_d), protein (AD_p), lipid (AD_l) and energy (AD_e) for juvenile *Paralichthys olivaceus* held on the three feeding schedules during the course of experiment

误差线示均值标准差 bars indicate standard deviations of the means

表3 牙鲆幼鱼在蛋白质限制和恢复生长阶段对饵料的利用率(平均值 ±标准差)

Table 3 The dietary utilization in juvenile *Paralichthys olivaceus* maintained on the three schedules during the period of protein restriction and recovery growth(Mean ±SD)

时间 Time	饵料利用参数 Feed utilization parameters	实验组 Treatments		
		C	T40	T30
蛋白质限制阶段 During the period of protein restriction	摄食率 FI(%体重/d)	3. 17 ±0. 19a	2. 96 ±0. 46a	3. 92 ±0. 26b
	饵料湿重转化率 FCE_w (%)	136. 45 ±1. 25b	110. 30 ±9. 85a	103. 12 ±6. 71a
	饵料干重转化率 FCE_d (%)	35. 41 ±0. 32b	30. 51 ±2. 61a	28. 30 ±1. 71a
	饵料蛋白质转化率 FCE_p (%)	39. 14 ±2. 85a	39. 15 ±4. 27a	50. 97 ±2. 17b
	饵料能量转化率 FCE_e (%)	40. 04 ±1. 85b	33. 39 ±1. 73a	32. 00 ±0. 07a
	蛋白质效率 PER(%)	2. 51 ±0. 02a	2. 49 ±0. 22a	3. 37 ±0. 02b
恢复生长阶段 During the period of realimentation	摄食率 FI(%体重/d)	2. 15 ±0. 02	2. 01 ±0. 02	2. 26 ±0. 02
	饵料湿重转化率 FCE_w (%)	111. 69 ±2. 91	118. 54 ±3. 77	110. 15 ±0. 40
	饵料干重转化率 FCE_d (%)	33. 32 ±2. 08	33. 66 ±2. 77	32. 99 ±0. 29
	饵料蛋白质转化率 FCE_p (%)	30. 76 ±0. 25	29. 23 ±1. 97	29. 34 ±0. 41
	饵料能量转化率 FCE_e (%)	28. 57 ±0. 04a	32. 84 ±1. 05b	31. 17 ±1. 04ab
	蛋白质效率 PER	2. 06 ±0. 05	2. 18 ±0. 07	2. 03 ±0. 01

注:同一行中数据具不同字母的表示差异显著 ($p < 0. 05$) Values with different superscripts in the same row are significantly different ($p < 0. 05$)

照组;在恢复投喂阶段,处理组鱼的特定生长率均恢复至对照组水平,并在实验结束后,两处理组鱼的体重赶上了对照组。以上结果表明,通过一段时间的蛋白质限制后恢复投喂可以诱发牙鲆幼鱼的补偿生长效应。在恢复投喂阶段,处理组的 SGR_w , SGR_d , SGR_p , SGR_e 与对照组无显著差异,这可能是因为蛋白质限制后的恢复投

喂诱发的快速生长仅持续较短的时间就恢复至正常的水平。与本研究结果相比,鲤和中国对虾经蛋白质营养限制后所表现的生长特性有所不同^[9,10]。前者未出现补偿生长现象,后者所表现的补偿生长效应与蛋白质限制程度有关,即 30 % 饵料蛋白限制组(对照组蛋白含量为 45 %)在恢复生长阶段出现了完全补偿生长,而 15 % 饵料蛋白限制组仅表现为部分补偿生长效应。造成以上差别的原因有很多,不仅与研究的对象有关,而且与蛋白质限制制度、饵料、温度等因素有关。

表 4 不同投饲制度下牙鲆幼鱼身体化学组成和能值(平均值 $\pm$ 标准差)

Table 4 The changes of carcass proximate composition of juvenile *Paralichthys olivaceus* maintained on the three feeding schedules during the experiment (Mean $\pm$ SD)

时间 Time	实验组 Treatments	水分 Moisture (%)	蛋白质 Protein (%)	脂肪 Lipid (%)	灰分 Ash (%)	能值 Energy content (kJ/g dry wt)
初始 Initial	—	76.58 $\pm$ 0.27	14.68 $\pm$ 0.12	3.36 $\pm$ 0.20	3.96 $\pm$ 0.14	20.19 $\pm$ 0.31
限制结束 After restriction	C	75.19 $\pm$ 0.45	15.24 $\pm$ 0.40	4.68 $\pm$ 0.57	4.13 $\pm$ 0.30	20.44 $\pm$ 0.44
	T40	74.28 $\pm$ 0.96	15.33 $\pm$ 0.27	4.82 $\pm$ 0.26	3.95 $\pm$ 0.10	21.18 $\pm$ 1.05
	T30	74.33 $\pm$ 0.25	15.02 $\pm$ 0.23	5.08 $\pm$ 0.70	4.10 $\pm$ 0.15	20.85 $\pm$ 0.31
实验结束 Final	C	73.46 $\pm$ 0.26	14.84 $\pm$ 0.37	7.39 $\pm$ 0.39b	3.77 $\pm$ 0.28	20.28 $\pm$ 0.52
	T40	73.89 $\pm$ 0.30	14.56 $\pm$ 0.58	6.66 $\pm$ 0.47ab	3.55 $\pm$ 0.22	20.95 $\pm$ 0.60
	T30	73.77 $\pm$ 0.41	14.79 $\pm$ 0.27	5.90 $\pm$ 0.35a	3.83 $\pm$ 0.34	21.17 $\pm$ 0.61

同一列中数据具不同字母的表示差异显著 ($p < 0.05$) Values with the different superscripts in the same column are significantly different ($p < 0.05$)

鱼体的生化组成与鱼类的营养代谢以及各种环境因素有关。已有的研究资料表明,饵料蛋白对鱼体成分的影响结果不一致,如随着饵料蛋白含量增加,金头鲷 (*Sparus auratus*)、鲈 (*Pleuronectes platessa*) 和鲤等鱼类的体蛋白含量增加而体脂肪含量降低^[9,15,16];而对鳟 (*Salmo trutta*) 和草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 等鱼类的研究却得到相反的结果^[17,18];本研究则发现,牙鲆在蛋白质限制阶段,随着饵料蛋白的降低,鱼体蛋白质没有变化而脂肪含量呈增加的趋势。另外,本研究结果还表明,在恢复投喂以后,对照组的鱼体脂肪含量高于处理组,且与 T30 相比有显著差异,这与鲤、中国对虾不同^[9,10]。目前对其营养代谢机制尚不清楚,今后需要在这方面做进一步比较研究。

蛋白质表观消化率是衡量鱼体对饵料蛋白质利用率的一个重要指标。就多数鱼类而言,蛋白质表观消化率与饵料蛋白质水平呈线性正相关^[19~21];De Silva 等^[22] 研究发现,随着饲料蛋白质水平的增加, *Sarotherodon niloticus* 对饵料蛋白的消化率呈一个先上升再下降的过程;而本研究结果表明,在蛋白质限制阶段,饵料蛋白水平对牙鲆幼鱼的蛋白质表观消化率的影响不显著。Schwarz 等^[9] 研究发现,鲤经过一段时间蛋白质营养限制后,在恢复生长阶段其蛋白质表观消化率仍显著低于持续投喂高蛋白饵料组鱼;Wu 和 Dong^[10] 研究表明,在恢复生长的前两周 15 % 饵料蛋白限制组中国对虾的蛋白质表观消化率持续低于 30 % 饵料蛋白限制组和对照组,而后两周各组间差异不显著;本研究中,恢复生长阶段各实验组的蛋白质表观消化率没有显著差异。影响鱼类蛋白质表观消化率的因素很多,除了种类不同外,还有饵料蛋白质的氨基酸组成、饲养温度、投饲制度等原因,今后应从这几方面做进一步的研究探讨。

本研究结果表明,牙鲆幼鱼的摄食率随着饵料蛋白质水平下降而显著增加,而在恢复投喂阶段处理组鱼的摄食率降至对照组水平,其中处理组 T30 的摄食率略高于对照组,这与一些学者的研究结果一致^[9,10,23]。关于饵料蛋白水平对鱼类饵料利用率的影响已有较多报道。一般随着饵料蛋白含量的增加,鱼类的蛋白质效率和饵料蛋白质转化率降低,而饵料湿重、干重和能量转化率升高^[23~25]。本研究中,牙鲆幼鱼在蛋白质限制阶段的饵料利用特征与上述结果一致;恢复投喂后,两处理组鱼的蛋白质效率和饵料转化率的各种指标 (FCE_w , FCE_d , FCE_p , FCE_e) 均恢复至对照组水平,其中处理组 T40 的饵料能量转化率显著高于对照组。

综合生长率、摄食率、消化率、蛋白质效率以及饵料转化率等指标,可以得到以下结论:处理组 T40 的补偿生长是通过恢复投喂阶段提高饵料能量转化率来实现的,而处理组 T30 的补偿生长除了依靠提高饵料能量转化率之外,还伴随着摄食率的提高。

References :

- [1] Cao B H, Guo Y M, Yuan J M, *et al.* Effects of stages in the early growth and dietary protein level on compensatory growth in broiler chicks. *J. Chin. Agri. Univ.*, 2001, 6(5) :113 ~ 118.
- [2] Wilson P N, Osbourn D F. Compensatory growth after undernutrition in mammals and birds. *Biol. Rev.*, 1960, 35:324 ~ 363.
- [3] Plavnik I, Hurwitz S. The performance of broiler chicks during and following a severe food restriction at an early age. *Poult. Sci.*, 1985, 64:348 ~ 355.
- [4] Deng L, Zhang B, Xie X J. The recovery growth in the southern catfish (*Silurus meridionalis*) following starvation. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1999, 23(2) : 168 ~ 173.
- [5] Hayward R S, Noltie D B, Wang N. Use of compensatory growth to double hybrid sunfish growth rates. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 1997, 126:316 ~ 322.
- [6] Nikki J, Pirhonen J, Jobling M, *et al.* Compensatory growth in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), held individually. *Aquaculture*, 2004, 235(4) :285 ~ 296.
- [7] Zimmerman D R, Khajareen S. Starter protein nutrition and compensatory responses in swine. *Anim. Sci.*, 1973, 36:189 ~ 194.
- [8] Campbell R G, Dunkon A C. The influence of nutrition in early life on growth and development of the pig 1. Effects of protein nutrition prior and subsequent to 6.5 kg on growth and development to 45 kg. *Anim. Prod.*, 1983, 36:415 ~ 423.
- [9] Schwarz F J, Plank J, Kirchgessner M. Effects of protein or energy restriction with subsequent realimentation on performance parameters of carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture*, 1985, 48:23 ~ 33.
- [10] Wu L, Dong S. Effects of protein restriction with subsequent realimentation on growth performance of juvenile Chinese shrimp (*Fenneropenaeus chinensis*). *Aquaculture*, 2002, 210(4) :343 ~ 358.
- [11] Miao F. Compensatory growth of carnivorous fishes. Master Dissertation, Institute of Oceanology, Chinese Academy Sciences, China, 2000.
- [12] Xian W W, Zhu X H. Preliminary study on the effect of ration on growth of bastard halibut *Paralichthys olivaceus* (T. et S.). *J. Ocean Univ. Qingdao (Nature Science)*, 2000, 30(3) : 453 ~ 458.
- [13] Li A J, Zhang D B, Wei W Q, *et al.* A study on the nutritional requirement for juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. *J. Zhejiang Ocean Univ. (Nature Science)*, 2001, 20 (suppl) :6 ~ 10.
- [14] Wang Q K, Jiang Z Q, Wang J B, *et al.* The effect of starvation and refeeding on the metabolism in *Paralichthys olivaceus*. *J. Dalian Fish. Univ.*, 2004, 19(4) :248 ~ 251.
- [15] Cowey C B, Pope J A, Asron J W, *et al.* Studies on the nutrition of marine flatfish. The protein requirement of plaice (*Pleuronectes platessa*). *Br. J. Nutr.*, 1972, 28:447 ~ 456.
- [16] Luquet P, Sabaut J. Preliminary study on the protein requirement of gilthead bream *Sparus aurata*. *Stud. Rev./Gen. Fish. Counc. Med.*, 1973, 52:82 ~ 90.
- [17] Poston H A. Influence of dietary protein and energy on swimming stamina, growth and body composition of brown trout. *Prog. Fish. Cult.*, 1975, 37:257 ~ 261.
- [18] Dabrowski K. Protein requirements of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*). *Aquaculture*, 1977, 12:63 ~ 67.
- [19] Shen X M, Liu Y F, Tang R Y. The study of protein digestibility of gynogenetic crucian carp. *J. Fish. Chin.*, 1995, 19(1) :52 ~ 57.
- [20] Deng L, Xie X J. Studies on the nutrition of *Silurus meridionalis*. Digestibilities of the artificial diets. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2000, 24(4) :347 ~ 355.
- [21] Ogino C, Chen M S. Protein nutrition in fish. 3. Apparent and true digestibility of dietary protein by young carp. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 1979, 39: 649 ~ 651.
- [22] De Silva S S, Perera M K. Digestibility in *Sarotherodon niloticus* fry: Effect of dietary protein level and salinity with further observations on variability in daily digestibility. *Aquaculture*, 1984, 38(4) :293 ~ 306.
- [23] Zhang W B, Xie X J, Fu S J, *et al.* The nutrition of *Silurus meridionalis*: Optimum dietary protein level. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2000, 24(6) :603 ~ 609.
- [24] Yang Z, Yang J X. Optimum protein requirement of juvenile *Takifugu obscurus*. *J. Fish. Chin.*, 2003, 27(5) :450 ~ 455.
- [25] Jobling M, Wandsvik A. Quantitative protein requirements of Arctic char, *Salvelinus alpinus* (L.). *J. Fish. Biol.*, 1983, 22(6) :705 ~ 712.

参考文献:

- [1] 曹兵海, 吴于明, 袁建敏, 等. 生长早期的不同阶段和日粮蛋白质水平对肉鸡补偿性生长的影响. *中国农业大学学报*, 2001, 6(5) :113 ~ 118.
- [4] 邓利, 张波, 谢小军. 南方鲇继饥饿后的恢复生长. *水生生物学报*, 1999, 23(2) :168 ~ 173.
- [11] 缪峰. 肉食性鱼类补偿生长特性的研究. 硕士学位论文. 中国科学院海洋研究所, 2000.
- [12] 线薇薇, 朱鑫华. 摄食水平对褐牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*) 幼鱼生长影响的初步研究. *青岛海洋大学学报 (自然科学版)*, 2000, 30(3) :453 ~ 458.
- [13] 李爱杰, 张道波, 魏万权, 等. 牙鲆幼鱼营养需要的研究. *浙江海洋学院学报 (自然科学版)*, 2001, 20(增刊) : 6 ~ 10.
- [14] 王庆奎, 姜志强, 王静波, 等. 饥饿和恢复投喂对牙鲆代谢的影响. *大连水产学院学报*, 2004, 19(4) :248 ~ 251.
- [19] 沈小民, 刘永发, 唐瑞英. 异育银鲫的蛋白质消化率研究. *水产学报*, 1995, 19(1) :52 ~ 57.
- [20] 邓利, 谢小军. 南方鲇的营养学研究. 人工饲料的消化率. *水生生物学报*, 2000, 24(4) :347 ~ 355.
- [23] 张文兵, 谢小军, 付世建, 等. 南方鲇的营养学研究: 饲料的最适蛋白质含量. *水生生物学报*, 2000, 24(6) :603 ~ 609.
- [24] 杨州, 杨家新. 暗纹东方鲀幼鱼对蛋白质的最适需要量. *水产学报*, 2003, 27(5) :450 ~ 455.