

文章编号: 1004 - 7271(2008)06 - 0674 - 06

饥饿和再投饲对点带石斑鱼幼鱼脂肪酸和氨基酸组成的影响

陈波¹, 柳敏海¹, 施兆鸿², 陈超³, 罗海忠¹, 彭志兰¹, 傅荣兵¹

(1. 浙江省海洋开发研究院水产养殖技术研究推广中心, 浙江省舟山市水产研究所, 浙江 舟山 316000;

2. 中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 201306;

3. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 山东 青岛 266071)

摘要:在水温(29.2 ± 0.2) °C条件下,研究了饥饿和再投饲对点带石斑鱼幼鱼脂肪酸和氨基酸的影响。结果表明:随着饥饿时间的延长,饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸下降,但多不饱和脂肪酸上升($P < 0.05$),氨基酸总量和必需氨基酸总量显著下降,与对照组差异显著($P < 0.05$)。说明饥饿胁迫后产生了饥饿效应;恢复投饲后,实验组鱼体内的脂肪和能量百分含量与对照组不再存在显著差异。各实验组的氨基酸总量和必需氨基酸均显著高于对照组($P < 0.05$)。结合体重变化为判断指标,饥饿2 d的点带石斑鱼幼鱼具有完全补偿生长的能力,饥饿4 ~ 10 d具有部分补偿生长的能力;以氨基酸为指标,饥饿2 ~ 10 d的点带石斑鱼幼鱼均具有完全补偿生长的能力。

关键词:点带石斑鱼;饥饿;补偿生长;脂肪酸;氨基酸

中图分类号:S 963.7 文献标识码:A

The effects of starvation and re-feeding on fatty acid and amino acid composition in juvenile of *Epinephelus malabaricus* Bloch & Schneider

CHEN Bo¹, LIU Min-hai¹, SHI Zhao-hong², CHEN Chao³,

LUO Hai-zhong¹, PENG Zhi-lan¹, FU Rong-bing¹

(1. Aquaculture Research and Promotion Center, Zhejiang Marine Development Research Institute, Zhoushan Fisheries Research Institute of Zhejiang Province, Zhoushan 316000, China;

2. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shanghai 201306, China;

3. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Qingdao 266071, China)

Abstract: The effects of starvation and re-feeding on amino acid and fatty acid composition in the juvenile of *Epinephelus malabaricus* were studied at (29.2 ± 0.2) °C. With the extension of starvation time, the results showed that the saturation fatty acid (SFA) and mono-unsaturation fatty acid (MUFA) were significantly decreased ($P < 0.05$), the poly unsaturation (PUFA) was increased significantly ($P < 0.05$). Compared with the control group, the gross of the amino acid and the essential amino acid both dropped significantly

收稿日期: 2007-12-19

基金项目: 浙江省科技厅项目[2007B32020]; 国家“八六三”项目(2006AA10A414-3)

作者简介: 陈波(1967-), 男, 浙江定海人, 高级工程师, 主要从事海水增养殖方面的研究。E-mail: chenbo8287@163.com

通讯作者: 施兆鸿, shizhh@sh163.net

($P < 0.05$), which stressed that after starvation the effects of the starvation occurred; After re-feeding, compared with the control group, the experimental group of fish in the percentage of fat and energy no longer existed significant differences, the total of the amino acid and the essential amino acid were both higher than that ($P < 0.05$). Combined with the weight changes for the judgment of indicators, after 2 days starvation, the juvenile of *Epinephelus malabaricus* were with full compensation for the growth capacity, but after 4 – 10 days starvation, the juvenile of *Epinephelus malabaricus* were only with part of the growth capacity. For amino acids as an indicator, after 4 – 10 days starvation, the juvenile of *Epinephelus malabaricus* were all with full compensation for the growth capacity.

Key words: *Epinephelus malabaricus* Bloch & Schneider; starvation; compensatory growth; fatty acid; amino acid

动物继饥饿或营养不足一段时间后恢复喂食,在恢复生长阶段中出现的高于正常生长速度的快速生长现象称之为补偿生长^[1],并将此现象应用到生产中而获得了经济效益。因此研究受饥饿和补偿生长条件下生物摄食与生长、身体组成与机体代谢特征的变化对于促进科学养殖具有现实意义^[2]。因此,饥饿和补偿生长对鱼类生理生态的影响研究现已日渐受到国内外学者的高度关注和重视^[2],研究内容主要涉及对鱼类代谢、行为、形态和组织结构、存活、繁殖、机体成分、酶活力和恢复生长等的影响上^[3-5]。

点带石斑鱼 (*Epinephelus malabaricus*) 属鲈形目 (Perciformes)、鲷科 (Serranidae)、石斑鱼属 (*Epinephelus*)^[6]。肉味鲜美,生长迅速,适应性强,是上等食用鱼类,也是优良的海水养殖品种。其研究内容主要集中在亲鱼培育、胚胎发育、幼鱼形态及生长、人工育苗、营养需求、免疫及生产管理等方面^[7-12]。而有关饥饿对点带石斑鱼的影响报道较少,仅见饥饿和延时投喂对仔鱼生长和发育的影响^[13-14]。本实验以点带石斑鱼幼鱼为材料,开展饥饿和补偿生长对其脂肪酸和氨基酸组成的影响实验,以期对点带石斑鱼幼鱼合理投喂、苗种培育和养殖提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 实验鱼来源与驯化

实验用点带石斑鱼幼鱼取自浙江华兴海水苗种有限公司内。实验前,将幼鱼置于室内水泥池内规格为 80 cm × 60 cm × 60 cm 的小网箱(网目 80)中,进行为期 15 d 的暂养。适养结束后,挑选体色正常、无伤病的健壮个体作为实验对象,实验鱼规格为:全长(5.25 ± 0.05) cm、体重(1.832 ± 0.03) g。

1.2 实验条件和饲料

各项实验均在自然光照、水温(29.2 ± 0.2) °C、盐度 27 ± 1 、pH 为 8.2 ± 0.2 的条件下进行。

投喂阶段每天定时、过量投喂 3 次。本实验所用饲料为由梅童鱼 (*Collenchthys niveatus*) 和天邦饲料公司生产的成鳗配合饲料(1:5)混合后自制颗粒饲料,70 °C 烘干,4 °C 保存备用。经测定,主要营养成分见表 1。

表 1 实验用饲料主要生化组成
Tab.1 The bio-composition of feed

粗蛋白 (%)	粗脂肪 (%)	水分 (%)	灰分 (%)	粗纤维 (%)
47.0	3.1	10.0	19.9	3.0

1.3 实验方法

实验分 6 组,分别为对照组 S0(每天投喂)、S2(饥饿 2 d 后投喂)、S4(饥饿 4 d 后投喂)、S6(饥饿 6 d 后投喂)、S8(饥饿 8 d 后投喂)和 S10(饥饿 10 d 后投喂)。每组设 3 平行,每平行实验鱼 25 尾。

对照组在适养结束后未分组前取样记为 S_{0_1} , 对照组在全部实验结束后取样记为 S_{0_2} ; 饥饿结束时取样分别记为 S_{2_1} 、 S_{4_1} 、 S_{6_1} 、 S_{8_1} 和 S_{10_1} ; 再投喂各组实验结束后取样分别记为 S_{2_2} 、 S_{4_2} 、 S_{6_2} 、 S_{8_2} 和 S_{10_2} 。取样时每平行各取 10 尾鱼, 取鱼肌肉且混匀, 将所取得的样品置于 $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中保存待测。氨基酸用酸水解法测定(日立 835—50 型氨基酸分析仪), 按 GB/T 14965—994Z 执行; 脂肪酸用气相色谱分析法测定(Agilent 6890 型气相色谱仪)。数据均用平均值 \pm 标准误($\bar{X} \pm S.E$)表示, 不同处理组数据间的差异采用单因素方差分析。对检测达到显著的平均值用 *Duncan* 检验。方差分析和多重比较用 SPSS 11.5 软件处理。

2 结果与分析

2.1 饥饿和再投饲对点带石斑鱼幼鱼脂肪酸的影响

点带石斑鱼幼鱼在经过不同时间饥饿和再投饲后脂肪酸组成结果见表 2、表 3。共检测出 26 种脂肪酸, 起始碳链长度在 12 碳~24 碳之间。其中饱和脂肪酸(SFA)11 种, 单不饱和脂肪酸(MUFA)7 种, 多不饱和脂肪酸(PUFA)8 种。

表 2 饥饿对点带石斑鱼幼鱼脂肪酸的影响

Tab. 2 The effect of starvation on fatty acid composition of juvenile *Epinephelus malabaricus*

脂肪酸种类	S_{0_1}	S_{2_1}	S_{4_1}	S_{6_1}	S_{8_1}	S_{10_1}
C14:0	4.652 \pm 0.063 ^b	4.522 \pm 0.075 ^a	4.795 \pm 0.047 ^c	4.688 \pm 0.094 ^{bc}	4.459 \pm 0.071 ^a	4.804 \pm 0.045 ^c
C15:0	0.642 \pm 0.020 ^{ab}	0.650 \pm 0.040 ^b	0.581 \pm 0.042 ^a	0.584 \pm 0.051 ^{ab}	0.592 \pm 0.023 ^{ab}	0.739 \pm 0.017 ^c
C16:0	25.992 \pm 0.986	25.918 \pm 1.411	25.733 \pm 1.042	25.668 \pm 1.334	25.506 \pm 1.221	25.094 \pm 1.245
C16:1	7.403 \pm 0.966	6.968 \pm 0.838	6.798 \pm 0.948	6.655 \pm 0.924	6.452 \pm 0.911	6.237 \pm 0.774
C17:0	1.111 \pm 0.076 ^a	1.099 \pm 0.046 ^a	0.992 \pm 0.045 ^b	0.987 \pm 0.057 ^b	0.963 \pm 0.044 ^b	0.947 \pm 0.021 ^b
C17:1	0.862 \pm 0.028 ^b	0.779 \pm 0.020 ^a	0.776 \pm 0.030 ^a	0.753 \pm 0.032 ^a	0.748 \pm 0.034 ^a	0.736 \pm 0.045 ^a
C18:0	8.868 \pm 0.822	8.717 \pm 0.712	8.091 \pm 0.559	7.999 \pm 0.448	7.861 \pm 0.571	7.689 \pm 0.442
C18:1n-9c	22.925 \pm 1.351 ^c	21.973 \pm 1.211 ^{bc}	21.157 \pm 1.008 ^{abc}	20.689 \pm 1.013 ^{abc}	19.933 \pm 1.372 ^{ab}	19.611 \pm 1.144 ^a
C18:2n-6c	12.332 \pm 0.839	12.573 \pm 0.940	13.211 \pm 0.934	13.620 \pm 0.900	13.728 \pm 0.877	13.845 \pm 0.861
C18:3n-6		0.373 \pm 0.012 ^{bc}	0.354 \pm 0.013 ^b	0.329 \pm 0.014 ^a	0.365 \pm 0.010 ^{bc}	0.387 \pm 0.008 ^c
C18:3n-3	1.726 \pm 0.023 ^a	1.746 \pm 0.019 ^a	1.848 \pm 0.016 ^b	1.929 \pm 0.026 ^c	2.141 \pm 0.025 ^d	2.331 \pm 0.022 ^e
C20:1n-3	2.433 \pm 0.415	2.370 \pm 0.408	2.270 \pm 0.294	2.376 \pm 0.383	2.487 \pm 0.428	2.512 \pm 0.411
C21:0	0.587 \pm 0.026 ^d	0.570 \pm 0.025 ^d	0.526 \pm 0.022 ^c	0.446 \pm 0.031 ^b	0.400 \pm 0.010 ^a	0.374 \pm 0.023 ^a
C20:2			0.295 \pm 0.010 ^a	0.318 \pm 0.011 ^a	0.323 \pm 0.018 ^a	0.625 \pm 0.028 ^b
C20:3n-6	1.791 \pm 0.080 ^a	1.929 \pm 0.077 ^a	1.734 \pm 0.075 ^a	1.659 \pm 0.048 ^a	2.282 \pm 0.058 ^{ab}	2.656 \pm 0.064 ^b
C23:0			0.529 \pm 0.022 ^a	0.538 \pm 0.030 ^a	0.624 \pm 0.024 ^b	
C20:5n-3	3.207 \pm 0.047 ^a	3.581 \pm 0.045 ^b	3.902 \pm 0.034 ^c	3.986 \pm 0.053 ^d	4.084 \pm 0.057 ^c	4.369 \pm 0.040 ^f
C24:1n-9	0.523 \pm 0.024 ^d	0.509 \pm 0.023 ^d	0.451 \pm 0.022 ^c	0.397 \pm 0.014 ^b	0.381 \pm 0.018 ^b	0.314 \pm 0.016 ^a
C22:6n-3	4.945 \pm 0.121 ^a	5.722 \pm 0.200 ^b	5.956 \pm 0.197 ^b	6.378 \pm 0.265 ^c	6.670 \pm 0.245 ^c	6.720 \pm 0.138 ^c
Σ SFA	41.852 \pm 1.993	41.476 \pm 2.309	41.247 \pm 1.779	40.910 \pm 2.047	40.405 \pm 1.964	39.647 \pm 1.793
Σ MUFA	34.146 \pm 2.784	32.599 \pm 2.500	31.724 \pm 2.350	31.026 \pm 2.381	30.001 \pm 2.763	29.410 \pm 2.390
Σ PUFA	24.001 \pm 1.830 ^a	25.924 \pm 1.293 ^{ab}	27.300 \pm 1.288 ^{bc}	28.219 \pm 1.308 ^{bc}	29.593 \pm 1.290 ^{cd}	30.933 \pm 1.161 ^d
Σ n-3 UFA	12.311 \pm 0.606 ^a	13.419 \pm 0.672 ^{ab}	13.976 \pm 0.541 ^{bc}	14.669 \pm 0.718 ^{cd}	15.382 \pm 1.755 ^{de}	15.932 \pm 0.611 ^e
Σ n-6 UFA	14.123 \pm 1.639 ^a	14.875 \pm 1.029 ^{ab}	15.299 \pm 1.031 ^{ab}	15.608 \pm 0.962 ^{ab}	16.375 \pm 0.945 ^b	16.888 \pm 0.933 ^b
Σ n-9 UFA	23.448 \pm 1.375 ^c	22.482 \pm 1.234 ^{bc}	21.880 \pm 1.133 ^{abc}	21.242 \pm 1.062 ^{abc}	20.314 \pm 1.390 ^{ab}	19.925 \pm 1.160 ^a

注: 同一行数据上标字母相同表示差异不显著($P > 0.05$), 字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

从表 2 中可见, 随饥饿时间的延长, 各饥饿组与对照组 SFA 差异都不显著($P > 0.05$), 但从平均值看, S_{0_1} 的 41.852 \pm 1.993 仍下降到 S_{10_1} 的 39.647 \pm 1.793。大部分 SFA 含量随着饥饿时间的延长而下降或变化不显著($P > 0.05$), 但 C15:0 含量呈上升趋势($P < 0.05$)。MUFA 各组与对照组之间差异虽然也不显著($P > 0.05$), 但平均值仍呈下降趋势, 其中 C18:1n-9c 和 C24:1n-9 差异显著($P < 0.05$)。PUFA 总量呈上升的趋势, 且差异显著($P < 0.05$), 从 S_{0_1} 的 24.001 \pm 1.830 上升到 S_{10_1}

的 30.933 ± 1.161 。其中 C18:3n-3、C20:3n-6、C20:5n-3 和 C22:6n-3 上升显著($P < 0.05$)。但 C20:3n-6 含量呈波浪型曲线变化。 $\Sigma n-3$ UFA 和 $\Sigma n-6$ UFA 呈一直上升趋势,且对照组与 S10₁ 组差异显著($P < 0.05$), $\Sigma n-3$ UFA 比 $\Sigma n-6$ UFA 上升幅度更大; $\Sigma n-9$ UFA 呈下降趋势且对照组和 S0₁₀ 之间差异显著($P < 0.05$)。

表 3 再投饲对点带石斑鱼幼鱼脂肪酸的影响

Tab. 3 The effect of re-feeding on fatty acid composition of juvenile *Epinephelus malabaricus*

脂肪酸种类	S0 ₂	S2 ₂	S4 ₂	S6 ₂	S8 ₂	S10 ₂
C12:0	0.072 ± 0.004		0.062 ± 0.005		0.059 ± 0.002	
C13:0	0.059 ± 0.003					
C14:0	4.384 ± 0.091 ^{ab}	4.567 ± 0.085 ^c	4.334 ± 0.076 ^a	4.440 ± 0.085 ^{abc}	4.423 ± 0.074 ^{abc}	4.513 ± 0.056 ^{bc}
C14:1	0.119 ± 0.011					
C15:0	0.557 ± 0.048 ^b	0.508 ± 0.028 ^{ab}	0.475 ± 0.011 ^a	0.493 ± 0.026 ^{ab}	0.487 ± 0.037 ^a	0.509 ± 0.045 ^{ab}
C16:0	24.659 ± 1.009	25.599 ± 1.421	24.761 ± 1.001	25.113 ± 0.737	25.330 ± 1.466	24.982 ± 1.007
C16:1	5.796 ± 0.789	5.259 ± 0.821	5.167 ± 0.951	5.357 ± 0.964	5.461 ± 0.745	5.183 ± 0.831
C17:0	0.861 ± 0.083	0.784 ± 0.090	0.812 ± 0.069	0.839 ± 0.075	0.852 ± 0.084	0.794 ± 0.044
C17:1	0.686 ± 0.041 ^a	0.816 ± 0.027 ^b	0.704 ± 0.028 ^a	0.838 ± 0.035 ^b	0.707 ± 0.034 ^a	0.641 ± 0.042 ^a
C18:0	6.538 ± 0.537	6.535 ± 0.478	6.633 ± 0.617	6.815 ± 0.521	6.853 ± 0.554	7.131 ± 0.453
C18:1n-9 ^l	0.121 ± 0.009		0.110 ± 0.010		0.094 ± 0.003	
C18:1n-9 ^e	20.399 ± 1.246	20.316 ± 1.388	20.689 ± 1.400	20.496 ± 1.213	21.316 ± 1.170	20.204 ± 1.001
C18:2n-6 ^l	0.117 ± 0.007		0.117 ± 0.010	0.123 ± 0.012	0.124 ± 0.011	
C18:2n-6 ^e	14.037 ± 0.976	14.761 ± 0.945	14.491 ± 0.911	14.532 ± 0.897	14.591 ± 0.953	15.399 ± 0.999
C18:3n-6	0.277 ± 0.017	0.280 ± 0.011	0.283 ± 0.015	0.293 ± 0.014	0.298 ± 0.018	0.324 ± 0.009
C18:3n-3	2.040 ± 0.021 ^{ab}	2.021 ± 0.027 ^a	2.070 ± 0.020 ^{bc}	2.033 ± 0.024 ^{ab}	2.014 ± 0.016 ^a	2.106 ± 0.025 ^b
C20:1n-3	2.485 ± 0.404	2.644 ± 0.347	2.577 ± 0.276	2.576 ± 0.225	2.616 ± 0.378	2.662 ± 0.441
C21:0	0.698 ± 0.025 ^d	0.541 ± 0.026 ^b	0.696 ± 0.028 ^d	0.670 ± 0.017 ^d	0.627 ± 0.024 ^c	0.498 ± 0.022 ^a
C20:2	0.306 ± 0.014	0.306 ± 0.017	0.311 ± 0.015	0.312 ± 0.027	0.306 ± 0.024	0.328 ± 0.018
C22:0	0.248 ± 0.011		0.251 ± 0.015	0.255 ± 0.015	0.252 ± 0.013	0.251 ± 0.014
C20:3n-6	1.697 ± 0.072 ^{ab}	1.632 ± 0.070 ^a	1.661 ± 0.063 ^{ab}	1.676 ± 0.055 ^{ab}	1.672 ± 0.057 ^{ab}	1.768 ± 0.065 ^b
C23:0	0.616 ± 0.025	0.582 ± 0.026	0.618 ± 0.020	0.604 ± 0.034	0.571 ± 0.027	0.609 ± 0.035
C20:5n-3	4.828 ± 0.044 ^{de}	4.751 ± 0.042 ^d	4.840 ± 0.044 ^e	4.593 ± 0.042 ^c	4.223 ± 0.040 ^a	4.486 ± 0.053 ^b
C24:0	0.076 ± 0.004		0.064 ± 0.014			
C24:1n-9	0.510 ± 0.029 ^c	0.420 ± 0.021 ^a	0.509 ± 0.020 ^c	0.469 ± 0.026 ^c	0.463 ± 0.024 ^{ab}	0.433 ± 0.022 ^{ab}
C22:6n-3	7.813 ± 0.156 ^d	7.678 ± 0.163 ^{cd}	7.765 ± 0.153 ^d	7.472 ± 0.123 ^c	6.660 ± 0.148 ^a	7.180 ± 0.133 ^b
ΣSFA	38.768 ± 1.840	39.116 ± 2.154	38.706 ± 1.856	39.248 ± 1.510	39.454 ± 2.281	39.308 ± 1.685
ΣMUFA	30.116 ± 2.529	29.455 ± 2.604	29.756 ± 2.685	29.736 ± 2.463	30.657 ± 2.354	29.123 ± 2.337
ΣPUFA	31.115 ± 1.307	31.429 ± 1.275	31.538 ± 1.231	31.034 ± 1.194	29.888 ± 1.267	31.591 ± 1.302
Σn-3 UFA	17.166 ± 0.625 ^b	17.094 ± 0.579 ^b	17.252 ± 0.493 ^b	16.674 ± 0.414 ^b	15.513 ± 0.582 ^a	16.434 ± 0.652 ^{ab}
Σn-6 UFA	16.128 ± 1.072	16.673 ± 1.026	16.552 ± 0.999	16.624 ± 0.978	16.685 ± 1.039	17.491 ± 1.073
Σn-9 UFA	21.030 ± 1.284	20.736 ± 1.409	21.308 ± 1.430	20.965 ± 1.239	21.873 ± 1.197	20.637 ± 1.023

注:同一行数据上标字母相同表示差异不显著($P > 0.05$),字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

再投饲后至实验结束,SFA、MUFA 和 PUFA 对照组和各实验组之间差异都不显著($P > 0.05$)。对 $\Sigma n-3$ UFA、 $\Sigma n-6$ UFA 和 $\Sigma n-9$ UFA 分析发现,仅 $\Sigma n-3$ UFA 对照组与 S8₂ 和 S10₂ 两组之间差异显著($P < 0.05$)外,其他均不显著($P > 0.05$)。

鱼体中不同种类脂肪酸在饥饿过程中损失速率不同的现象说明:(1)中性脂提供主要能量,极性脂可能因参与生物膜的结构建成而较少发挥贮能作用;(2)高不饱和脂肪酸特别是 n-3 系列的 22:6n-3 和 20:5n-3 这两种脂肪酸可能在生物膜建成中的结构作用更大,因此更具保守性。

2.2 饥饿和再投饲对点带石斑鱼幼鱼氨基酸的影响

饥饿后,S10₁ 组的氨基酸总量和必需氨基酸总量均显著低于对照组($P < 0.05$)(表 4)。其中天冬氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、酪氨酸和脯氨酸在饥饿 2 d 后就与对照组产生差异($P < 0.05$);赖氨酸不论何组

与对照组差异均不显著($P > 0.05$)。饥饿实验说明点带石斑鱼幼鱼经过饥饿胁迫后氨基酸总量和必需氨基酸总量是下降的,表现出饥饿效应。

表4 饥饿对点带石斑鱼幼鱼氨基酸的影响
Tab.4 The effect of starvation on amino acid composition of juvenile *Epinephelus malabaricus*

氨基酸种类	S0 ₁	S2 ₁	S4 ₁	S6 ₁	S8 ₁	S10 ₁
天冬氨酸 Asp	2.126 ± 0.058 ^d	1.968 ± 0.023 ^c	1.921 ± 0.018 ^c	1.907 ± 0.042 ^c	1.816 ± 0.010 ^b	1.615 ± 0.042 ^a
苏氨酸 Thr *	0.829 ± 0.017 ^c	0.812 ± 0.015 ^c	0.782 ± 0.012 ^b	0.773 ± 0.014 ^b	0.738 ± 0.010 ^a	0.739 ± 0.010 ^a
丝氨酸 Ser	0.589 ± 0.010 ^c	0.574 ± 0.011 ^{bc}	0.629 ± 0.014 ^d	0.565 ± 0.015 ^b	0.538 ± 0.013 ^a	0.524 ± 0.012 ^a
谷氨酸 Glu	2.507 ± 0.073 ^c	2.509 ± 0.065 ^c	2.421 ± 0.045 ^{bc}	2.423 ± 0.057 ^{bc}	2.351 ± 0.075 ^b	2.157 ± 0.051 ^a
甘氨酸 Gly	1.237 ± 0.041 ^c	1.175 ± 0.045 ^{bc}	1.142 ± 0.080 ^{abc}	1.041 ± 0.033 ^a	1.092 ± 0.054 ^{ab}	1.043 ± 0.073 ^a
丙氨酸 Ala	1.173 ± 0.071 ^b	1.248 ± 0.056 ^c	1.208 ± 0.027 ^{bc}	1.124 ± 0.046 ^{ab}	1.170 ± 0.044 ^{bc}	1.069 ± 0.018 ^a
缬氨酸 Val *	1.308 ± 0.066 ^c	1.166 ± 0.012 ^b	1.071 ± 0.044 ^a	1.012 ± 0.041 ^a	1.014 ± 0.024 ^a	0.994 ± 0.055 ^a
蛋氨酸 Met *	0.556 ± 0.027 ^d	0.525 ± 0.014 ^c	0.520 ± 0.015 ^c	0.514 ± 0.011 ^c	0.458 ± 0.014 ^b	0.399 ± 0.011 ^a
异亮氨酸 Ile *	0.847 ± 0.015 ^{bc}	0.874 ± 0.027 ^{cd}	0.819 ± 0.016 ^b	0.849 ± 0.009 ^{bc}	0.903 ± 0.014 ^d	0.781 ± 0.018 ^a
亮氨酸 Leu *	1.626 ± 0.062 ^c	1.555 ± 0.042 ^{bc}	1.531 ± 0.052 ^{bc}	1.513 ± 0.043 ^b	1.475 ± 0.050 ^b	1.152 ± 0.074 ^a
酪氨酸 Tyr	0.658 ± 0.018 ^c	0.627 ± 0.015 ^b	0.696 ± 0.014 ^d	0.702 ± 0.010 ^d	0.674 ± 0.020 ^{cd}	0.581 ± 0.021 ^a
苯丙氨酸 Phe *	0.997 ± 0.024 ^d	0.959 ± 0.034 ^{cd}	0.950 ± 0.025 ^c	0.885 ± 0.021 ^b	0.859 ± 0.017 ^b	0.795 ± 0.015 ^a
组氨酸 His *	0.430 ± 0.008 ^b	0.428 ± 0.007 ^b	0.385 ± 0.010 ^a	0.386 ± 0.004 ^a	0.398 ± 0.007 ^a	0.438 ± 0.006 ^b
赖氨酸 Lys *	1.578 ± 0.040	1.596 ± 0.040	1.566 ± 0.052	1.607 ± 0.049	1.567 ± 0.046	1.539 ± 0.051
精氨酸 Arg *	1.287 ± 0.022 ^c	1.227 ± 0.040 ^{bc}	1.238 ± 0.042 ^{bc}	1.220 ± 0.028 ^b	1.211 ± 0.035 ^b	1.107 ± 0.038 ^a
脯氨酸 Pro	0.680 ± 0.024 ^a	0.852 ± 0.026 ^c	0.992 ± 0.019 ^d	1.086 ± 0.017 ^e	0.781 ± 0.028 ^b	0.746 ± 0.025 ^b
氨基酸总量(T)	18.428 ± 0.565 ^c	18.095 ± 0.471 ^c	17.871 ± 0.485 ^{bc}	17.607 ± 0.440 ^{bc}	17.045 ± 0.461 ^b	15.679 ± 0.484 ^c
必需氨基酸总量(E)	9.458 ± 0.281 ^d	9.142 ± 0.231 ^{cd}	8.862 ± 0.268 ^{bc}	8.759 ± 0.220 ^{bc}	8.623 ± 0.217 ^c	7.944 ± 0.242 ^a
E/T (%)	0.513	0.505	0.496	0.497	0.506	0.507

注: * 为必需氨基酸;同一行数据上标字母相同表示差异不显著($P > 0.05$),字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

再投饲后氨基酸总量和必需氨基酸含量呈上升趋势,且 S10₂ 与对照组之间差异显著($P < 0.05$) (表5)。S10₂ 与对照组之间的各氨基酸除甘氨酸外均差异显著($P < 0.05$)。

表5 再投饲对点带石斑鱼幼鱼氨基酸的影响
Tab.5 The effect of re-feeding on amino acid composition of juvenile *Epinephelus malabaricus*

氨基酸种类	S0 ₂	S2 ₂	S4 ₂	S6 ₂	S8 ₂	S10 ₂
天冬氨酸 Asp	1.731 ± 0.022 ^a	1.914 ± 0.025 ^d	1.781 ± 0.017 ^b	1.775 ± 0.006 ^{ab}	1.839 ± 0.048 ^c	2.010 ± 0.024 ^e
苏氨酸 Thr *	0.773 ± 0.010 ^{ab}	0.757 ± 0.014 ^a	0.753 ± 0.009 ^a	0.773 ± 0.014 ^{ab}	0.791 ± 0.011 ^b	0.894 ± 0.008 ^c
丝氨酸 Ser	0.562 ± 0.015 ^b	0.557 ± 0.014 ^b	0.535 ± 0.004 ^a	0.573 ± 0.006 ^{bc}	0.58 ± 0.011 ^c	0.642 ± 0.005 ^d
谷氨酸 Glu	2.356 ± 0.041 ^a	2.415 ± 0.043 ^{ab}	2.440 ± 0.058 ^b	2.485 ± 0.043 ^{bc}	2.534 ± 0.051 ^{cd}	2.609 ± 0.013 ^d
甘氨酸 Gly	1.267 ± 0.043	1.252 ± 0.082	1.18 ± 0.080	1.271 ± 0.041	1.192 ± 0.76	1.245 ± 0.93
丙氨酸 Ala	1.200 ± 0.046 ^a	1.244 ± 0.071 ^a	1.224 ± 0.017 ^a	1.241 ± 0.045 ^a	1.214 ± 0.044 ^a	1.395 ± 0.052 ^b
缬氨酸 Val *	1.111 ± 0.045 ^a	1.130 ± 0.042 ^a	1.149 ± 0.047 ^a	1.299 ± 0.052 ^b	1.181 ± 0.063 ^a	1.198 ± 0.054 ^a
蛋氨酸 Met *	0.566 ± 0.024 ^b	0.468 ± 0.007 ^a	0.620 ± 0.024 ^c	0.566 ± 0.009 ^b	0.581 ± 0.010 ^b	0.566 ± 0.014 ^b
异亮氨酸 Ile *	0.872 ± 0.010 ^a	0.870 ± 0.014 ^a	0.920 ± 0.016 ^b	0.914 ± 0.011 ^b	0.871 ± 0.016 ^a	0.911 ± 0.014 ^b
亮氨酸 Leu *	1.500 ± 0.033 ^a	1.567 ± 0.042 ^a	1.713 ± 0.081 ^b	1.677 ± 0.054 ^b	1.723 ± 0.064 ^b	1.707 ± 0.027 ^b
酪氨酸 Tyr	0.567 ± 0.010 ^a	0.621 ± 0.009 ^b	0.642 ± 0.011 ^{bc}	0.706 ± 0.010 ^c	0.648 ± 0.015 ^c	0.672 ± 0.017 ^d
苯丙氨酸 Phe *	0.848 ± 0.018 ^a	0.892 ± 0.022 ^b	0.850 ± 0.017 ^a	0.970 ± 0.009 ^c	0.866 ± 0.021 ^a	0.966 ± 0.013 ^c
组氨酸 His *	0.461 ± 0.014 ^{bc}	0.475 ± 0.012 ^c	0.447 ± 0.009 ^b	0.462 ± 0.008 ^{bc}	0.421 ± 0.007 ^a	0.420 ± 0.012 ^a
赖氨酸 Lys *	1.544 ± 0.044 ^a	1.625 ± 0.047 ^b	1.654 ± 0.038 ^b	1.697 ± 0.034 ^b	1.688 ± 0.042 ^b	1.692 ± 0.052 ^b
精氨酸 Arg *	1.198 ± 0.045 ^a	1.262 ± 0.038 ^{ab}	1.259 ± 0.035 ^{ab}	1.235 ± 0.047 ^{ab}	1.285 ± 0.031 ^b	1.264 ± 0.024 ^{ab}
脯氨酸 Pro	0.868 ± 0.024 ^c	0.827 ± 0.025 ^{bc}	0.786 ± 0.027 ^b	0.798 ± 0.023 ^b	1.119 ± 0.024 ^d	0.642 ± 0.022 ^a
氨基酸总量(T)	17.424 ± 0.441 ^a	17.876 ± 0.507 ^{ab}	17.953 ± 0.490 ^{ab}	18.442 ± 0.412 ^{ab}	18.533 ± 0.534 ^{ab}	18.833 ± 1.281 ^b
必需氨基酸总量(E)	8.873 ± 0.243 ^a	9.046 ± 0.238 ^{ab}	9.365 ± 0.276 ^{bc}	9.593 ± 0.238 ^c	9.407 ± 0.256 ^{bc}	9.618 ± 0.218 ^c
E/T (%)	0.509	0.506	0.522	0.520	0.508	0.512

注: * 为必需氨基酸;同一行数据上标字母相同表示差异不显著($P > 0.05$),字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

到实验结束时, S_{0_2} 和 S_{2_2} 的氨基酸总量和必需氨基酸总量均显著低于 S_{0_1} 和 S_{2_1} ($P < 0.05$); 其他各饥饿组的氨基酸总量和必需氨基酸总量均显著高于饥饿结束后测量值 ($P < 0.05$), 说明饥饿后再投饲对点带石斑鱼幼鱼有补偿效应。

3 小结

在饥饿过程中 SFA 和 MUFA 下降, 氨基酸总量和必需氨基酸总量显著下降 ($P < 0.05$), 说明点带石斑鱼幼鱼发生了饥饿效应, 且随着饥饿时间的延长饥饿效应越明显。恢复投饲后, 实验组鱼体内的脂肪和能量百分含量与对照组不再存在显著差异。结合体重变化为判断指标^[14], 饥饿 2 d 的点带石斑鱼幼鱼具有完全补偿生长的能力, 饥饿 4 ~ 10 d 具有部分补偿生长的能力; 以氨基酸为指标, 饥饿 2 ~ 10 d 的点带石斑鱼幼鱼均具有完全补偿生长的能力。

本实验中 SFA 和 MUFA 含量随着饥饿时间的延长而下降, PUFA 相对含量呈上升的趋势, 点带石斑鱼幼鱼在饥饿的过程中 $\Sigma n-3$ UFA 和 $\Sigma n-6$ UFA 一直呈上升趋势, 但 $\Sigma n-3$ UFA 比 $\Sigma n-6$ UFA 上升幅度大, $\Sigma n-9$ UFA 呈下降趋势, 说明点带石斑鱼幼鱼在饥饿的过程脂肪酸损失速率的排列顺序为 $\Sigma n-9$ PUFA > $\Sigma n-6$ PUFA > $\Sigma n-3$ PUFA。以此推测点带石斑鱼幼鱼在饥饿的过程中首先是利用 SFA 和 MUFA, 最后才利用 PUFA。

参考文献:

- [1] Wilson P N, Osbourn D F. Compensatory growth after undernutrition in mammals and birds [J]. Biol Rev, 1960, (35): 324 - 363
- [2] 谢小军, 邓 利, 张 波. 饥饿对鱼类生理生态学影响的研究进展 [J]. 水生生物学报, 1998, 22(2): 181 - 187.
- [3] 吴旭干, 傅荣兵, 成永旭, 等. 饥饿对三疣梭子蟹初孵幼体 (Z_1) 存活及主要生化成分的影响 [J]. 动物学杂志, 2006, 41(6): 7 - 13.
- [4] Zamal H, Ollevier F. Effect of feeding and lack of food on the growth, gross biochemical and fatty acid composition of juveni catfish [J]. J Fish Biol, 1995, 46: 404 - 414.
- [5] Wang Y, Cui Y B, Yang Y X. Compensatory growth in hybrid tilapia, *Oreochromis mossambicus* \times *O. niloticus* reared in seawater [J]. Aquaculture, 2000, 189: 101 - 108.
- [6] 中国科学院动物研究所, 中国科学院海洋研究所, 上海水产学院. 南海鱼类志 [M]. 北京: 科学出版社, 1962: 306.
- [7] Yu H L, Shi Y S. Dietary selenium requirements of juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus* [J] Aquaculture, 2005, 25(1-2): 356 - 363.
- [8] Yu H L, Shi Y S. Dietary vitamin E requirement of grouper, *Epinephelus malabaricus*, at two lipid levels, and their effects on immune responses [J]. Aquaculture, 2005, 248(1-4): 235 - 244.
- [9] Sha M, Hung C T. Bioeconomic analysis of improving management productivity regarding grouper *Epinephelus malabaricus* farming in Taiwan [J]. Aquaculture, 2002, 211(1-4): 151 - 169.
- [10] 邹记兴, 常 林, 向文洲, 等. 点带石斑鱼的亲鱼培育、产卵受精和胚胎发育 [J]. 水生生物学报, 2003, 27(4): 378 - 384.
- [11] 邹记兴, 向文洲, 林坚士, 等. 点带石斑鱼仔、稚、幼鱼的生长与发育 [J]. 高技术通讯, 2003, (4): 77 - 84.
- [12] 陈 波, 柳敏海, 罗海忠, 等. 点带石斑鱼工厂化育苗技术的初步研究 [J]. 现代渔业信息, 2006, 21(10): 26 - 29.
- [13] Kenzo Yoseda, Shigeki Dan, Takuma Sugaya, et al. Effects of temperature and delayed initial feeding on the growth of Malabar grouper (*Epinephelus malabaricus*) larvae [J]. Aquaculture, 2006, 256(1-4): 192 - 200.
- [14] 柳敏海, 施兆鸿, 陈 波, 等. 饥饿对点带石斑鱼饵料转换期仔鱼生长和发育的影响 [J]. 海洋渔业, 2006, 28(4): 292 - 299.