

饥饿和再投喂对翘嘴鲌幼鱼消化酶活性的影响

樊启学,程鹏,刘文奎

(华中农业大学 水产学院,湖北 武汉 430070)

摘要: 研究了饥饿和再投喂对翘嘴鲌 (*Culter alburnus* Basilewsky) 幼鱼前肠、后肠和肝胰脏消化酶活性的影响。在 20.3~24.8 °C 条件下将 375 尾翘嘴鲌幼鱼 [体质量 (4.22±0.29)g] 分为 5 组,分别饥饿 0 d (对照组)、4 d、8 d、12 d 和 16 d,饥饿后恢复投喂 16 d。结果显示,饥饿 4 d、8 d 后蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶活性均显著下降;饥饿 12 d 后,脂肪酶活性仍显著下降;随着饥饿时间延长,消化酶活性变化趋于平缓。恢复投喂后,蛋白酶活性迅速升高,其中肝胰脏蛋白酶活性 (除饥饿 4 d 组) 升至显著高于饥饿前水平,然后逐渐恢复正常;恢复投喂 4 d 后,除饥饿 4 d 组后肠、肝胰脏及饥饿 12 d 组前肠外,淀粉酶活性升至显著高于饥饿前水平,8 d 后恢复正常。与淀粉酶活性相似,脂肪酶活性先迅速升至显著高于饥饿前水平,然后再逐渐恢复正常,饥饿 4 d 组的脂肪酶活性变幅较小,饥饿时间较长的,脂肪酶活性变幅较大。[中国水产科学,2008,15 (3): 439-445]

关键词: 翘嘴鲌; 饥饿; 再投喂; 消化酶活性

中图分类号: S959

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737- (2008)03-0439-07

翘嘴鲌 (*Culter alburnus* Basilewsky) 是一种传统的名贵鱼类,其肌肉的蛋白质含量高,氨基酸组成合理,富含多种营养物质,肉味鲜美,口感良好^[1],深受市场欢迎,已逐渐成为一种重要的养殖品种。饥饿作为一种重要的环境胁迫因子,对鱼类的生长、摄食及消化等诸方面都会产生显著影响。饥饿对施氏鲟 (*Acipenser schrenckii*)^[2]、虎鲨 (*Panaceas polyuranodon*)^[3] 等消化酶活性的影响已有报道。但有关翘嘴鲌消化酶活性的研究尚未见报道。本研究对翘嘴鲌幼鱼在饥饿期间及再投喂后蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶活性的变化规律进行探讨与分析,以丰富鱼类饥饿生理的内容,并为翘嘴鲌的营养研究和养殖实践提供参考资料。

1 材料与方法

1.1 实验鱼

实验鱼于 2005 年 8 月购自湖北省丹江口市鲌鱼原种有限公司,运回华中农业大学实验室,驯养于温室内圆形水族箱中 (直径为 1 m)。幼鱼规格相近,体质量为 (4.22±0.29)g,选用 375 尾随机放入 15 只水族箱,每箱 25 尾。每天喂食 2 次,分

别为 8:30 和 17:00,饲料为广州海大饲料有限公司生产的长吻鲢幼鱼膨化颗粒饲料,残饵于下次投喂前收集,粪便及时用虹吸管吸出。暂养与实验过程中,使用充分曝气的自来水,24 h 充气,每天酌情换水。实验期间水温保持在 20.3~24.8 °C, DO 为 (6.31±1.73)mg/L, pH 为 7.47±0.38,总氮氮 (0.30±0.09)mg/L。幼鱼暂养 14 d 后开始正式实验,将 15 只水族箱分成 5 个处理组,每组设 3 个平行,分别饥饿 0 d (A 组)、4 d (B 组)、8 d (C 组)、12 d (D 组) 和 16 d (E 组),饥饿结束后再恢复投喂 (饱食) 16 d。

1.2 实验方法

1.2.1 消化酶分析样品的制备 饥饿开始前、饥饿结束时和再投喂开始后 4 d、8 d、12 d 和 16 d 时从各组分别取 6 尾 (每一平行取 2 尾),称重解剖,迅速取出肝胰脏和肠道,剔除脂肪,剪开肠道,并将肠道等分为二 (分开前肠和后肠),用冰冻去离子水冲洗洗净肠内容物,用脱脂棉球轻轻擦干称重,冰浴下组织匀浆后,在 4 °C、13 000 r/min 下离心 30 min,取上清液,分别测定肝胰脏、前肠和后肠中蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶的活性。

收稿日期: 2007-03-12; 修订日期: 2007-11-27.

基金项目: 湖北省“十一五”重大攻关项目资助 (2006AA203A01).

作者简介: 樊启学 (1962-),男,副教授,从事水产养殖和渔业生态学研究 .E-mail: fanqixue@mail.hzau.edu.cn

1.2.2 消化酶活性的测定 蛋白酶活性测定采用福林—酚试剂法,淀粉酶活性测定采用淀粉—碘显色法测定,脂肪酶活性测定采用聚乙烯醇橄榄油乳化液水解法。每样品重复测定 3 次,取出其平均值。

1.3 数据处理

所得数据均用平均值 ± 标准差 ($\bar{X} \pm SD$) 表示,并使用 statistica6.0 分析软件在 $\alpha = 0.05$ 水平下进行方差分析,然后进行组间差异的多重比较 (Duncan's)。

2 结果与分析

2.1 饥饿和再投喂过程中翘嘴鲌幼鱼蛋白酶活性的变化

2.1.1 饥饿过程中翘嘴鲌幼鱼蛋白酶活性的变化

饥饿期间翘嘴鲌幼鱼蛋白酶的活性呈下降的趋势 (表 1)。饥饿 4 d 后,蛋白酶活性明显下降,与对照组差异显著 ($P < 0.05$); 饥饿 8 d 后,蛋白酶活性继续下降,并与饥饿 4 d 组差异显著 ($P < 0.05$) (除肝胰脏外); 饥饿 12 d 和 16 d 后,蛋白酶活性下降已不明显。

表 1 饥饿过程中翘嘴鲌幼鱼蛋白酶活性的变化

Tab. 1 Changes of protease activity in <i>C. alburnus</i> juveniles during starvation						$\mu\text{g (Tyr)}/(\text{g} \cdot \text{min})$
组织 Tissue	分组 Group					
	A	B	C	D	E	
前肠 Foregut	2305.27±45.05 ^a	1951.70±50.37 ^b	1433.47±54.75 ^c	1434.67±67.40 ^c	1296.73±23.01 ^c	
后肠 Hindgut	1707.40±120.09 ^a	1394.33±39.53 ^b	997.23±71.56 ^c	832.57±20.19 ^{cd}	719.57±19.87 ^d	
肝胰脏 Hepatopancreas	539.87±63.08 ^a	422.43±13.91 ^b	387.57±11.11 ^{bc}	322.93±16.82 ^c	300.30±4.57 ^c	

注: A~E 组指分别饥饿 0 d、4 d、8 d、12 d、16 d; 表中同行参数上方字母不同的表明二者之间差异显著。
Note: Groups A~E are starved for 0 d, 4 d, 8 d, 12 d and 16 d, respectively; values with different superscripts in one row mean significant difference.

2.1.2 再投喂过程中翘嘴鲌幼鱼蛋白酶活性的变化 再投喂后,蛋白酶活性迅速升高,在恢复投喂 4 d 后达到一个高峰,然后逐渐恢复至饥饿前的水平 (表 2)。但各组的变化特点不完全一样。饥饿 4 d 组再投喂 4 d 后蛋白酶活性恢复至饥饿前的水平。饥饿 8 d 和 12 d 组相似,再投喂 4 d 后前肠、后肠蛋白酶活性恢复至饥饿前的水平,但肝胰脏蛋白酶活性升至显著高于饥饿前的水平 ($P < 0.05$),分别在再喂食后第 8 天和第 12 天降至饥饿前的水平。饥饿 16 d 组与 12 d 组相似,但后肠蛋白酶活性在再投喂 4 d 后也升至显著高于饥饿前的水平 ($P < 0.05$),于 8 d 后降至饥饿前的水平。可见,再投喂刺激了蛋白酶活性升高,尤其刺激了肝胰脏中蛋白酶的活性升高,饥饿时间长,再投喂后蛋

白酶活性反弹得就高,维持高水平的时间也长。
2.2 饥饿和再投喂过程中翘嘴鲌幼鱼淀粉酶活性的变化
2.2.1 饥饿过程中翘嘴鲌幼鱼淀粉酶活性的变化 饥饿对翘嘴鲌幼鱼淀粉酶活性的影响见表 3。在饥饿期,淀粉酶的活性随着饥饿时间增加而下降。饥饿 4 d 后,各部位淀粉酶的活性显著下降; 饥饿 8 d 后,肝胰脏中的淀粉酶活性仍下降显著; 饥饿 12 d 后,后肠和肝胰脏中淀粉酶的活性与饥饿 8 d 仍差异显著 ($P < 0.05$); 随着饥饿程度的进一步增加,各部位淀粉酶活性均有所下降,但差异已不显著。结果表明,饥饿开始阶段 (饥饿 4 d、8 d) 淀粉酶活性下降明显,但随着饥饿程度的进一步增加,下降幅度减小。

表 2 再投喂过程中翘嘴鲌幼鱼蛋白酶活性的变化
Tab. 2 Changes of protease activity in *C. alburnus* juveniles after re-feeding

组别 Group	组织 Tissue	饥饿处理前 Before starvation	恢复喂食时间 /d Time of re-feeding					$\mu\text{g (Tyr)}/(\text{g}\cdot\text{min})$
			0	4	8	12	16	
A	前肠 Foregut		2305.27± 55.18	2352.03± 185.60	2347.67± 93.46	2310.47± 98.80	2304.33± 135.99	
	后肠 Hindgut		1707.40± 147.08	1696.80± 99.40	1740.07± 87.02	1666.50± 84.55	1691.37± 153.58	
	肝胰脏 Hepatopancreas		539.87± 77.27	511.30± 36.25	509.20± 34.53	510.10± 67.30	549.73± 57.67	
B	前肠 Foregut	2346.70± 55.78 ^a	1951.70± 61.70 ^b	2441.10± 87.98 ^a	2340.00± 73.23 ^a	2340.43± 178.06 ^a	2300.00± 78.74 ^a	
	后肠 Hindgut	1802.53± 91.25 ^a	1394.33± 48.12 ^b	1780.17± 16.08 ^a	1764.40± 20.62 ^a	1737.10± 91.96 ^a	1666.43± 96.28 ^a	
	肝胰脏 Hepatopancreas	520.23± 49.90 ^a	422.43± 17.05 ^b	603.27± 7.21 ^a	546.27± 78.59 ^a	513.63± 36.37 ^a	510.53± 35.21 ^a	
C	前肠 Foregut	2352.31± 68.57 ^{ab}	1433.47± 67.06 ^c	2510.13± 38.52 ^a	2500.17± 9.30 ^a	2387.07± 51.93 ^{ab}	2326.80± 82.36 ^b	
	后肠 Hindgut	1672.60± 74.65 ^{ab}	997.23± 87.65 ^c	1860.07± 63.93 ^a	1735.17± 33.36 ^{ab}	1749.40± 60.53 ^{ab}	1666.5± 84.55 ^b	
	肝胰脏 Hepatopancreas	534.83± 13.86 ^b	387.57± 13.61 ^c	683.93± 22.41 ^a	653.60± 30.42 ^{ab}	527.80± 87.87 ^b	540.37± 51.75 ^b	
D	前肠 Foregut	2374.80± 86.36 ^a	1434.67± 82.65 ^b	2537.4± 67.28 ^a	2385.57± 59.35 ^a	2409.77± 67.72 ^a	2384.73± 92.99 ^a	
	后肠 Hindgut	1704.27± 44.27 ^a	832.57± 24.74 ^b	1857± 57.17 ^a	1801.97± 53.63 ^a	1714.53± 36.68 ^a	1689.03± 112.33 ^a	
	肝胰脏 Hepatopancreas	543.33± 23.91 ^c	322.93± 20.61 ^d	704.30± 26.35 ^a	628.93± 50.57 ^b	541.80± 18.68 ^c	518.80± 19.26 ^c	
E	前肠 Foregut	2370.10± 86.45 ^a	1296.73± 28.18 ^b	2548.20± 45.13 ^a	2414.60± 41.45 ^a	2372.50± 123.88 ^a	2397.43± 49.26 ^a	
	后肠 Hindgut	1698.47± 50.78 ^b	719.57± 24.35 ^c	1879.73± 34.08 ^a	1775.67± 89.03 ^{ab}	1706.63± 54.84 ^b	1694.93± 55.27 ^b	
	肝胰脏 Hepatopancreas	531.37± 18.46 ^c	300.30± 5.60 ^d	701.97± 19.46 ^a	610.17± 25.07 ^b	516.80± 18.65 ^c	556.73± 28.53 ^{bc}	

注: A~E 组指分别饥饿 0 d、4 d、8 d、12 d、16 d; 表中同行参数上方字母不同的表明二者之间差异显著。

Note: Groups A~E are starved for 0 d, 4 d, 8 d, 12 d and 16 d, respectively; values with different superscripts in one row mean significantly different.

表 3 饥饿过程中翘嘴鲌幼鱼淀粉酶活性的变化
Tab. 3 Changes of amylase activity in *C. alburnus* juveniles during starvation

组织 Tissue	分组 Group					$\text{mg (maltose)}/(\text{g}\cdot 30 \text{ min})$
	A	B	C	D	E	
前肠 Foregut	6.76±0.25 ^a	5.93±0.18 ^b	5.25±0.23 ^{bc}	4.49±0.36 ^{cd}	4.12±0.09 ^d	
后肠 Hindgut	5.41±0.22 ^a	4.72±0.22 ^b	4.34±0.28 ^{bc}	3.24±0.14 ^d	3.17±0.17 ^d	
肝胰脏 Hepatopancreas	9.51±0.40 ^a	8.54±0.23 ^b	7.14±0.23 ^c	6.16±0.35 ^d	5.36±0.10 ^d	

注: A~E 组指分别饥饿 0 d、4 d、8 d、12 d、16 d; 表中同行参数上方字母不同的表明二者之间差异显著。

Note: Groups A~E are starved for 0 d, 4 d, 8 d, 12 d and 16 d, respectively; values with different superscripts in one row mean significantly different.

2.2.2 再投喂过程中翘嘴鲌幼鱼淀粉酶活性的变化

再投喂过程中淀粉酶活性变化与蛋白酶活性变化相似,再投喂 4 d 后达到 1 个峰值,活性显著高于

饥饿前 ($P<0.05$) (除饥饿 4 d 组后肠和肝胰脏及饥饿 12 d 组前肠),后降低至对照组水平 (表 4)。

表 4 再投喂过程中翘嘴鲌幼鱼淀粉酶活性的变化
Tab. 4 Changes of amylase activity in *C. alburnus* juveniles after re-feeding

组别 Group	组织 Tissue	饥饿处理前 Before starvation	恢复喂食时间 /d Time of re-feeding				
			0	4	8	12	16
A	前肠 Foregut		6.76±0.31	6.78±0.23	6.72±0.55	6.56±0.45	6.69±0.34
	后肠 Hindgut		5.41±0.26	5.57±0.56	5.52±0.17	5.80±0.23	5.52±0.49
	肝胰脏 Hepatopancreas		9.51±0.48	9.50±0.17	9.64±0.47	9.61±0.16	9.48±0.56
B	前肠 Foregut	6.74±0.25 ^b	5.93±0.22 ^b	7.23±0.29 ^a	6.77±0.21 ^b	6.78±0.49 ^b	6.43±0.38 ^b
	后肠 Hindgut	5.79±0.19 ^{ab}	4.72±0.27 ^c	6.08±0.25 ^a	5.21±0.24 ^{bc}	5.75±0.40 ^{ab}	5.70±0.34 ^{ab}
	肝胰脏 Hepatopancreas	9.37±0.24 ^a	8.54±0.29 ^b	9.47±0.29 ^a	9.46±0.05 ^a	9.66±0.39 ^a	9.18±0.16 ^a
C	前肠 Foregut	6.41±0.34 ^b	5.25±0.28 ^c	7.76±0.32 ^a	6.93±0.46 ^{ab}	6.89±0.48 ^{ab}	6.55±0.23 ^b
	后肠 Hindgut	5.70±0.22 ^b	4.34±0.34 ^c	6.77±0.37 ^a	5.86±0.23 ^b	5.67±0.38 ^b	5.87±0.16 ^b
	肝胰脏 Hepatopancreas	9.48±0.18 ^b	7.14±0.28 ^c	11.30±0.40 ^a	9.92±0.10 ^b	9.80±0.16 ^b	9.60±0.33 ^b
D	前肠 Foregut	6.79±0.24 ^{ab}	4.49±0.44 ^c	7.96±0.23 ^a	7.2±0.40 ^{ab}	6.87±0.65 ^{ab}	6.47±0.33 ^b
	后肠 Hindgut	5.58±0.34 ^b	3.24±0.17 ^c	6.74±0.33 ^a	5.73±0.34 ^b	5.71±0.31 ^b	5.74±0.17 ^b
	肝胰脏 Hepatopancreas	9.59±0.41 ^b	6.16±0.42 ^c	11.41±0.53 ^a	9.66±0.19 ^b	9.55±0.49 ^b	9.43±0.24 ^b
E	前肠 Foregut	6.47±0.31 ^b	4.12±0.11 ^c	8.06±0.20 ^a	7.41±0.29 ^a	6.71±0.34 ^b	6.51±0.29 ^b
	后肠 Hindgut	5.54±0.52 ^b	3.17±0.21 ^c	6.77±0.27 ^a	5.45±0.20 ^b	5.62±0.49 ^b	5.55±0.21 ^b
	肝胰脏 Hepatopancreas	9.70±0.51 ^b	5.36±0.12 ^c	11.85±0.40 ^a	9.81±0.18 ^b	9.73±0.37 ^b	9.46±0.35 ^b

注: A~E 组指分别饥饿 0 d、4 d、8 d、12 d、16 d; 表中同行参数上方字母不同的表明二者之间差异显著。
Note: Groups A~E are starved for 0 d, 4 d, 8 d, 12 d and 16 d, respectively; values with different superscripts in one row mean significantly different.

2.3 饥饿和再投喂过程中翘嘴鲌幼鱼脂肪酶活性的变化

2.3.1 饥饿过程中翘嘴鲌幼鱼脂肪酶活性的变化

饥饿过程中脂肪酶活性呈下降的趋势 (表 5)。饥饿 4 d 后,脂肪酶活性下降明显,与对照组存在显著差异 ($P<0.05$) (除前肠外); 饥饿 8 d 后,脂肪酶活

性继续下降,与饥饿 4 d 组差异显著 ($P<0.05$); 饥饿 12 d 后,脂肪酶的活性仍然下降,且与饥饿 8 d 组差异显著 ($P<0.05$) (除前肠外); 随着饥饿的进一步增加,脂肪酶活性下降幅度减小。可见,饥饿前期 (饥饿 4 d、8 d) 脂肪酶活性变化比较大,而饥饿后期变化较小。

表 5 饥饿过程中翘嘴鲌幼鱼脂肪酶活性的变化
Tab. 5 Changes of lipase activity in *C. alburnus* juveniles during starvation

组织 Tissues	分组 Group				
	A	B	C	D	E
前肠 Foregut	18.31±0.78 ^a	16.91±0.29 ^a	12.20±0.40 ^b	11.11±0.53 ^{bc}	10.11±0.34 ^c
后肠 Hindgut	26.20±0.33 ^a	21.96±0.643 ^b	17.06±0.31 ^c	14.93±0.78 ^d	14.05±0.40 ^d
肝胰脏 Hepatopancreas	8.81±0.29 ^a	7.12±0.26 ^b	5.05±0.21	3.99±0.27 ^d	3.68±0.09 ^d

注: A~E 组指分别饥饿 0 d、4 d、8 d、12 d、16 d; 表中同行参数上方字母不同的表明二者之间差异显著。
Note: Groups A~E are starved for 0 d, 4 d, 8 d, 12 d and 16 d, respectively; values with different superscripts in one row mean significantly different.

2.3.2 再投喂过程中翘嘴鲌幼鱼脂肪酶活性的变化

饥饿再投喂后脂肪酶活性的变化见表 6, 与蛋白酶和淀粉酶相似, 先迅速升高至显著高于饥饿前水

平, 然后再逐渐恢复至饥饿处理前水平。饥饿时间较短的饥饿 4d 组, 脂肪酶活性变幅较小; 饥饿时间较长的, 脂肪酶活性变幅较大。

表 6 再投喂过程中翘嘴鲌幼鱼脂肪酶活性的变化
Tab. 6 Changes of lipase activity in *C. alburnus* juveniles after re-feeding

组别 Group	组织 Tissue	饥饿处理前 Before starvation	恢复喂食时间 /d Time of re-feeding				
			0	4	8	12	16
A	前肠 Foregut		18.31±0.96	18.69±0.56	18.62±0.76	19.01±1.07	19.33±0.83
	后肠 Hindgut		26.21±0.41	26.68±1.27	26.31±0.90	25.87±0.90	26.20±1.11
	肝胰脏 Hepatopancreas		8.81±0.36	8.90±0.96	8.90±0.22	8.57±0.64	8.34±0.62
B	前肠 Foregut	19.04±0.12 ^b	16.51±0.35 ^c	20.49±0.51 ^a	18.43±1.06 ^b	18.38±0.68 ^b	19.35±0.67 ^{ab}
	后肠 Hindgut	26.27±1.18 ^b	21.96±0.79 ^c	29.51±0.59 ^a	25.86±0.57 ^b	27.00±1.31 ^b	26.53±0.59 ^b
	肝胰脏 Hepatopancreas	8.53±0.71 ^b	7.12±0.33 ^b	9.96±0.33 ^a	8.77±0.23 ^a	8.97±0.97 ^a	8.54±0.45 ^b
C	前肠 Foregut	18.96±0.48 ^b	12.20±0.49 ^c	22.52±0.76 ^a	19.87±0.41 ^b	19.25±0.98 ^b	18.95±0.63 ^b
	后肠 Hindgut	26.28±0.77 ^b	17.06±0.38 ^c	31.82±1.53 ^a	27.09±0.99 ^b	26.56±1.35 ^b	26.47±0.65 ^b
	肝胰脏 Hepatopancreas	8.50±0.47 ^b	5.05±0.26 ^c	11.17±0.29 ^a	9.37±0.41 ^b	8.85±0.33 ^b	8.67±0.66 ^b
D	前肠 Foregut	19.26±0.34 ^b	11.11±0.65 ^c	22.64±0.53 ^a	19.33±0.95 ^b	19.09±0.30 ^b	18.97±0.47 ^b
	后肠 Hindgut	25.79±0.34 ^c	14.93±0.96 ^d	31.6±0.84 ^a	27.82±0.58 ^b	25.89±0.57 ^{bc}	26.19±0.84 ^{bc}
	肝胰脏 Hepatopancreas	8.45±0.41 ^b	3.99±0.34 ^c	10.65±0.41 ^a	9.32±0.85 ^{ab}	8.53±0.44 ^b	8.53±0.11 ^b
E	前肠 Foregut	18.89±0.42 ^b	10.11±0.42 ^c	22.69±0.39 ^a	20.56±0.52 ^b	19.32±0.84 ^b	19.12±0.63 ^b
	后肠 Hindgut	26.15±0.29 ^b	14.05±0.50 ^c	31.43±0.94 ^a	27.55±0.42 ^b	26.72±0.75 ^b	26.28±0.54 ^b
	肝胰脏 Hepatopancreas	8.78±0.13 ^{bc}	3.68±0.11 ^d	10.67±0.49 ^a	9.38±0.43 ^b	8.37±0.35 ^c	8.84±0.32 ^{bc}

注: A~E 组分别饥饿 0 d、4 d、8 d、12 d、16 d; 表中同行参数上方字母不同的表明二者之间差异显著。

Note: Groups A~E are starved for 0 d, 4 d, 8 d, 12 d and 16 d, respectively; values with different superscripts in one row mean significantly different.

3 讨论

3.1 消化酶在不同消化部位的活性分布

Das 和 Triphthi^[4] 认为肝胰脏主要分泌蛋白酶原, 因此肝胰脏的蛋白酶活性微弱或没有活性, 而肠道分泌肠致活酶, 它能激活蛋白酶原, 共同促进肠道对食物蛋白质的消化吸收。本研究结果与此相符, 翘嘴鲌蛋白酶活性前肠最高, 后肠次之, 肝胰脏最低。另外, 在对池养鳗鲡 (*Anguilla japonica*)^[5]、中华鲟 (*Acipenser sinensis* Gray)^[6]、鳊 (*Siniperca chuatsi*)^[7]、黄鳝 (*Monopterus albus*)^[8-9] 等鱼类的研究中, 也发现了与此相似的规律。吴婷婷等^[10] 通过对 6 种鱼类消化酶活性的研究发现的鳊与鳊 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 的蛋白酶活性分布结果与本研究相似, 但青鱼 (*Mylopharyngodon piceus*) 不同消化器官中蛋白酶活性却是后肠最高、前肠次之、肝脏最低, 他们认为这是因为鱼类消化道不同部位蛋白酶活性分布因鱼而异。

翘嘴鲌幼鱼消化道内淀粉酶活性顺序是肝胰

脏最高、前肠次之、后肠最低, 表明肝胰脏是翘嘴鲌淀粉酶的合成中心。翘嘴鲌虽然是肉食性鱼类, 但对碳水化合物有一定的消化能力。本实验与 1992 年倪寿文等^[11] 对草鱼、鲤、鲢、鳙 (*Aristichthys nobilis*)、尼罗罗非鱼 (*Tilapia nilotica*) 和 1994 年马燕梅等^[7] 对鳊的研究发现的结果相似。而吴婷婷等^[10] 研究发现青鱼、草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*)、鲤 (*Cyprinus carpio*)、鲫 (*Carassius auratus*)、鲢 5 种鱼肠道中淀粉酶活性没有明显差异, 戴贤君等^[8] 发现黄鳝淀粉酶活性是肠高于肝胰脏, 本研究结果与上述结果不同。

翘嘴鲌脂肪酶活性以后肠最高, 前肠次之, 肝胰脏最低, 这说明翘嘴鲌脂肪的主要消化部位是后肠。吴婷婷等^[8] 研究发现鳊、青鱼后肠的脂肪酶活性明显高于前肠。马燕梅等^[7] 报道鳊脂肪酶活性是肠高于肝脏, 与本实验结果相符。而戴贤君等^[8] 指出黄鳝脂肪酶的活性顺序是肝脏高于肠。倪寿文等^[11] 研究发现, 草鱼和鲤的肝胰脏脂肪酶活性

明显高于肠,而鲢鳙的肝胰脏脂肪酶的活性则比肠低。由此可见,鱼类消化道内脂肪酶的活性分布是因鱼的种类不同而异的。

3.2 饥饿对消化酶活性的影响

饥饿对翘嘴鲌蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶的活性均产生影响。在饥饿初期,消化酶活性下降幅度较大,当消化酶的活性下降到一定程度,继续饥饿,其活性下降不明显。

在其他一些鱼类的研究中也有相似的发现。Munilla-Moran^[12]发现饥饿对大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)的消化功能产生影响,未摄食的大菱鲆的消化酶活性比摄食的要低,而且后肠的蛋白酶降低的最快,中肠的弹性蛋白酶下降的最快。钱云霞^[13]对养殖鲈(*Lateolabrax japonicus*)的研究发现,饥饿使各部位蛋白酶活性均有所下降。其原因可能是饥饿期间消化道没有食物蠕动的机械刺激,因而消化酶的分泌量下降^[14]。另外,食物通过嗅觉、视觉等感觉器官影响中枢神经系统对消化腺分泌的控制,在饥饿的情况下,鱼类感觉器官的刺激作用不复存在,从而降低了消化酶的分泌^[15]。

也有学者的研究结果与本研究结果不尽相同。王燕妮等^[16]发现,饥饿后鲤的淀粉酶活性会大幅上升。郑曙明等^[3]研究发现,在饥饿时间较短时虎鲨淀粉酶活性下降,然而当饥饿时间持续增加后,其活性则迅速上升。高露姣等^[2]研究发现,饥饿7 d时,施氏鲟十二指肠、胃、肝胰脏的消化酶活性均有较大幅度的下降,继续饥饿后,有部分酶活性出现不同程度的反弹。他们认为这可能是由以下机制引起的:鱼类在饥饿时,代谢发生适应性变化,通过提高身体各种酶的活性,以达到积极利用体内的储存物质以维持生命的目的,是对饥饿的应激适应。

3.3 再投喂对消化酶活性的影响

鱼类消化酶的分泌及其活性高低与鱼类的摄食有密切的关系。摄食过程是消化道内消化酶作用底物的过程,随着底物的不断增加,消化酶的合成和分泌必然受到影响。Pedersen等^[17]对大西洋鲱(*Clupea harengus*)仔鱼研究时发现胰蛋白酶及其酶原含量对食物供应具有依赖性。Zambonino等^[18]发现,16~38 d的海鲈(*Dicentrarchus labrax*)幼鱼摄食量越大,胰腺部分和肠部分的胰蛋白酶的活性越强。

本研究结果表明,饥饿再投喂后,翘嘴鲌幼鱼

消化酶活性迅速升至显著高于饥饿前水平,然后再逐步恢复正常。贾泽梅^[19]发现美国红鱼(*Sciaenops ocellatus*)的淀粉酶活性也呈现相同的变化趋势。但也有研究与本实验不一致。王燕妮等^[16]发现饥饿后的鲤恢复摄食后淀粉酶活性会下降。钱云霞^[13]认为,饥饿会引起鱼体肝胰脏组织结构发生变化,例如胃腺厚度下降等消化器官的实质性变化,从而导致这些器官的蛋白酶分泌量降低,而且在恢复投饵时,由这种器官实质性变化引起的酶活性下降的恢复会显得迟缓,最终使得再投喂后其酶活性也不会得到显著提高。不同的结果可能与鱼的种类特性和饥饿的程度有关。

参考文献:

- [1] 陈建明,叶金云,潘茜,等. 翘嘴红鲌肌肉营养成分分析[J]. 浙江海洋学院学报:自然科学版,2003,22(4):314-317.
- [2] 高露姣,陈立桥,赵晓勤,等. 施氏鲟幼鱼的饥饿和补偿生长研究—对消化器官结构和酶活性的影响[J]. 中国水产科学,2004,11(5):413-419.
- [3] 郑曙明,王燕妮,袁迎霞,等. 虎鲨饥饿后的补偿生长及淀粉酶活性研究[J]. 华中农业大学学报,2003,22(5):483-487.
- [4] Das K M, Triphthi S D. Studies on the digestive enzymes of grass carp, *Ctenopharyngodon idella*[J]. Aquaculture, 1991,92:21-32.
- [5] 龙良启,熊邦喜,白东清,等. 池塘鳊鲢胃肠组织消化酶的初步研究[J]. 华中农业大学学报,1996,15(3):275-278.
- [6] 李瑾,何瑞国,王学东. 中华鲟消化酶活性分布的研究[J]. 水产科技情报,2001,28(3):99-102.
- [7] 马燕梅,梅景良,林树根. 鳊鱼肠道和肝胰脏主要消化酶活性的研究[J]. 江西农业大学学报,2004,26(4):584-588.
- [8] 戴贤君,舒妙安. 黄鳝不同生长阶段消化器官及其消化酶的变化[J]. 上海交通大学学报,2002,20(2):113-116.
- [9] 杨代勤. 黄鳝营养需要与消化酶的研究[D]. 武汉:华中农业大学,2002.
- [10] 吴婷婷,朱晓鸣. 鳊鱼、青鱼、草鱼、鲤、鲫、鲢消化酶活性的研究[J]. 中国水产科学,1994,1(2):10-17.
- [11] 倪寿文,桂远明,刘焕亮. 草鱼、鲤、鲢、鳙和尼罗罗非鱼淀粉酶的比较研究[J]. 大连水产学院学报,1992,7(1):24-31.
- [12] Munilla-Moran R, Stark J R. Protein digestion in early turbot larvae, *Scophthalmus maximus*[J]. Aquaculture, 1989,81(3-4):315-327.
- [13] 钱云霞. 饥饿对养殖鲈蛋白酶活力的影响[J]. 水产科学,

- 2002, 21 (3): 6-7.
- [14] 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): 181-188.
- [15] 钱国英. 不同驯食方式对鳊鱼胃、肠道消化酶活性的影响 [J]. 浙江农业大学学报, 1998, 24 (2): 201-210.
- [16] 王燕妮, 张志蓉, 郑曙明. 鲤鱼的补偿生长及饥饿对淀粉酶的影响 [J]. 水利渔业, 2001, 21 (5): 6-7.
- [17] Pedersen B H, Ugelstad L, Hjelmeland K. Effects of transitory, low food supply in the early life of larval herring, *Clupea harengus* on mortality, growth and digestive capacity [J]. *Mar Biol*, 1990, 107: 61-66.
- [18] Zambonino J L, Cahu C L, Peres A, et al. Sea bass, *Dicentrarchus labrax* larvae fed different *Artemia* tations: growth, pancreas enzymatic response and development of digestive functions [J]. *Aquaculture*, 1996, 139: 129-138.
- [19] 贾泽梅. 美国红鱼继饥饿后的补偿生长及其机制的初步探讨 [D]. 大连: 大连水产学院, 2001.

Effects of starvation and refeeding on activities of digestive enzymes in *Culter alburnus* Basilewsky juveniles

FAN Qi-xue, CHENG Peng, LIU Wen-kui

(Fishery College, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: The effects of starvation for different time and refeeding on the activities of digestive enzymes (protease, amylase and lipase) in three parts of digestive organs (foregut, hindgut and hepatopancreas) of *Culter alburnus* Basilewsky juveniles were investigated indoor under 20.3–24.8 °C. After two weeks acclimation, 375 juveniles, body weight (4.22 ± 0.29) g, were divided into five groups (A, B, C, D and E respectively, three replicates, each 25 individuals), which were starved for 0 d (control), 4 d, 8 d, 12 d and 16 d, respectively, then all re-fed for 16 d. The results showed that the activities of digestive enzymes were influenced markedly by starvation ($P < 0.05$). The activities of three kinds of enzymes all decreased sharply during the first 4–8 days of starvation; the lipase activities of fish starved for 12 d still decreased and were greatly lower than those starved for 8 d ($P < 0.05$), and then the digestive enzymes activities tended to decrease smoothly. Upon refeeding, the protease activities in the three parts rose quickly, reaching peak on the 4th day, of which the protease activities in hepatopancreas (except the fish starved for 4 d) were greatly higher than those before starvation, and then fell down to the level before starvation; after refeeding for 4 d, the amylase activities in three parts mostly reached the level that was greatly higher than those before starvation, and then recovered to the normal level after refeeding for 8 d; the lipase activities also rose to a peak after refeeding, and then recovered to the normal level; the longer time the fish starved, the higher the lipase activities rose. The distribution of the activities of digestive enzymes in three parts of digestive organs of *C. alburnus* juveniles were also discussed in this paper. [Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15 (3): 439–445]

Key words: starvation; refeeding; digestive enzymes; enzyme activity; *Erythroculter ilishaeformis*