

# 饥饿对黄鳝消化酶活性的影响\*

杨代勤<sup>1,2,\*</sup> 陈芳<sup>1</sup> 阮国良<sup>1,2</sup> 胡成文<sup>1</sup> 曹胜欢<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 长江大学动物科学学院, 湖北荆州 434025; <sup>2</sup> 农业部淡水鱼类种质资源与生物技术重点开放实验室, 湖北荆州 434025)

**摘要** 饥饿是一种主要的环境胁迫因子,会对水产动物的生理生态产生广泛影响.本文探讨了饥饿对黄鳝消化器官主要消化酶活性的影响规律.在水温(20±0.5)℃条件下,将黄鳝饥饿30 d,并分别测定了饥饿第0、3、5、10、15、20和30天其胃、前肠、后肠和肝脏的蛋白酶、胰蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶活性.结果表明:饥饿对黄鳝胃、前肠、后肠和肝脏的蛋白酶、胰蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶活性均有一定影响.随着饥饿时间的延长,4种消化酶的活性均不断下降,且在饥饿的第5~10天内活性下降幅度最大;饥饿继续加深,则其活性下降不明显.

**关键词** 黄鳝 饥饿 消化酶活性

**文章编号** 1001-9332(2007)05-1167-04 **中图分类号** Q948.3 **文献标识码** A

**Effects of starvation on digestive enzyme activities of *Monopterus albus*.** YANG Dai-qin<sup>1,2</sup>, CHEN Fang<sup>1</sup>, RUAN Guo-liang<sup>1,2</sup>, HU Cheng-wen<sup>1,2</sup>, CHAO Sheng-huan<sup>1</sup>(<sup>1</sup>College of Animal Science, Yangtze University, Jingzhou 434025, Hubei, China; <sup>2</sup>Key Laboratory of Freshwater Fish Germplasm Resources and Biotechnology of Agriculture Ministry, Jingzhou 434025, Hubei, China). - Chin. J. Appl. Ecol., 2007, 18(5): 1167-1170.

**Abstract:** Starvation is a major environmental stress, which has a broad effect on the physiology and ecology of aquatic animals. In this study, *Monopterus albus* was starved for 30 days at (20±0.5)℃, and the activities of protease, trypsin, amylase and lipase in its digestive organs were measured on the 0, 3rd, 5th, 10th, 15th, 20th, and 30th day of starvation. The results showed that starvation had definite effects on the activities of all test enzymes. With the prolongation of starvation, the activities of test enzymes decreased, which was most significant when the fish was starved for 5-10 days. After 10 days of starvation, the decreasing trend of the enzyme activities became less obvious.

**Key words:** *Monopterus albus*; starvation; digestive enzyme activities.

## 1 引言

水产动物在自然环境中受到食物分布空间的不均匀性、季节更替或环境变化等影响,经常会在生活周期的某个阶段面临食物资源的缺乏而受到饥饿的胁迫.不同种类的水产动物对饥饿的耐受力 and 适应性不同,了解水产动物对饥饿的适应性对于保护水产资源、指导渔业生产具有积极的意义.有关饥饿对水产动物影响的研究较多,包括饥饿对水产动物代谢水平及身体贮能物质<sup>[4-6,9-12,14]</sup>、形态和组织结构<sup>[2,5]</sup>、集群行为<sup>[1]</sup>和补偿生长<sup>[13]</sup>等的影响.有关饥饿对水产动物消化的影响方面,Ehrlich等<sup>[2]</sup>进行

过饥饿对大西洋鲱和鲈鱼的消化组织结构影响的研究,Pedersen等<sup>[8]</sup>对饥饿1~2 d的大西洋鲱的肠道胰蛋白酶进行过分析,黄峰<sup>[3]</sup>对越冬饥饿的大口鲇的消化道消化酶进行过探讨,但对长期饥饿状态下水产动物消化酶的活性变化规律的系统研究报道很少.本文就饥饿对黄鳝消化酶活性进行研究,旨在探讨黄鳝饥饿状态下消化酶活性的变化规律,丰富水产动物饥饿生理的相关内容.

## 2 材料与方法

### 2.1 试验材料

试验用黄鳝为长江大学黄鳝养殖基地自繁个体,规格基本一致,体质量为(48.5±3.8)g.试验前先将黄鳝转入室内规格为80 cm×35 cm×60 cm的可控温水族箱,每箱养殖黄鳝30尾,共12箱.水温

\*教育部科学技术研究重点项目(03087)、湖北省“十一五”重大科技攻关项目(2006AA203A01)和湖北省教育厅重点资助项目(2002A00014).

\* 通讯作者. E-mail: yangdaiq@163.com

2006-03-17 收稿,2007-02-09 接受.

控制在  $(20 \pm 0.5) ^\circ\text{C}$ , 并投喂蚯蚓, 在水族箱中养殖 15 d 后开始试验. 停止投喂任何食物, 每天换水 1 次, 所换水为通过曝气、调温达到  $20 ^\circ\text{C}$  的自来水, 每次换水 1/2. 试验期间水体 pH 7.2 ~ 7.6, 水中溶氧含量  $4.7 \sim 6.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ . 分别于饥饿 0、3、5、10、15、20 和 30 d, 对黄鳝的消化酶进行分析.

## 2.2 酶粗液制备

将活鳝杀死, 立即解剖, 迅速取出所有内脏, 置于冰块中, 分离出胃、肠道和肝脏, 剪开胃和肠道, 用冰冻重蒸水冲洗胃和肠内壁, 经脱脂棉球轻轻擦拭干净后, 分别刮下其粘膜. 将每 5 尾鳝相同组织、相同部位的粘膜合并为 1 个样品, 每个样品设 3 个重复. 将样品放入匀浆器中, 将匀浆器外套置于冰水中, 低温下匀浆, 匀浆液经高速冷冻离心机离心 30 min ( $12\,000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ ), 所得上清液即为消化酶样品, 置于冰箱中保存, 24 h 测定完所有酶活性指标.

## 2.3 酶活性测定

**2.3.1 蛋白酶** 采用福林-酚试剂法. 将 1 ml 粗酶液与 1 ml 1% 酪蛋白磷酸缓冲液 (pH 8.5) 混合,  $35 ^\circ\text{C}$  水浴 15 min, 以 3 ml 10% 的三氯乙酸终止反应, 680 nm 波长下测定吸光值. 蛋白酶活性大小用 1 g 新鲜组织在  $35 ^\circ\text{C}$ 、pH 为 8.5 条件下, 1 min 分解酪蛋白产生  $1 \mu\text{g}$  酪氨酸定为 1 个活性单位 ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ).

**2.3.2 胰蛋白酶** 以 Na-对甲苯磺酰-L-精氨酸甲酯盐酸盐 (TAME) 作底物, 先将 29.0 mg TAME 和 222 mg  $\text{CaCl}_2$  溶于 100 ml  $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、pH 9.0 Tris-HCl 缓冲液中,  $35 ^\circ\text{C}$  预热, 加入 0.2 ml 粗酶液, 立即混合均匀, 并计时, 于 247 nm 波长处测吸光值 (A), 每隔 30 s 读数 1 次, 共计 2 min, 根据时间-吸光值的关系曲线中的直线部分, 任选一时间间隔与相应的吸光值的增量 ( $\Delta A$ ) 计算胰蛋白酶活性. 用 1 g 新鲜组织在  $35 ^\circ\text{C}$ 、pH 9.0 条件下, 1 min 内所产生的吸光值的变化量 (增量) 表示 ( $\Delta A_{247} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ).

**2.3.3 淀粉酶** 采用 DNS 法. 将 0.5 ml 粗酶液与 2 ml 1.0% 淀粉-磷酸缓冲液 (pH 8.0) 混合,  $30 ^\circ\text{C}$  水浴

15 min, 3,5-二硝基水杨酸 (DNS) 显色, 煮沸后冷却, 540 nm 波长测定吸光值. 淀粉酶活性大小用 1 g 新鲜组织在  $30 ^\circ\text{C}$ 、pH 8.0 条件下, 1 min 内使可溶性淀粉分解产生麦芽糖的毫克数表示 ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ).

**2.3.4 脂肪酶** 采用聚乙烯醇橄榄油乳化液水解法. 取  $0.025 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  pH 7.5 磷酸缓冲液 5 ml 和 4 ml 聚乙烯醇橄榄油作乳化液, 置  $30 ^\circ\text{C}$  水浴中预热 5 ~ 10 min, 然后加入粗酶液 1 ml, 保温 15 min, 立即加入 95% 乙醇 15 ml, 终止反应. 加酚酞指示剂 3 滴, 用  $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  NaOH 标准液滴定至微红色. 并同时做空白对照, 对照样品中的乙醇在酶液前加入. 脂肪酶活性大小用 1 g 新鲜组织在  $30 ^\circ\text{C}$ 、pH 7.5 条件下, 1 min 使脂肪分解产生  $1 \mu\text{g}$  分子脂肪酸的量表示 ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ).

采用最小显著极差法 (LSD) 对数据进行统计分析.

## 3 结果与分析

### 3.1 饥饿对黄鳝蛋白酶活性的影响

从表 1 可以看出, 黄鳝蛋白酶活性随饥饿时间的延长呈下降趋势. 饥饿第 3 天, 其蛋白酶活性开始下降, 到饥饿第 5 天, 其活性下降十分明显, 饥饿 0 d (未饥饿) 个体的胃和前肠的蛋白酶活性与饥饿 3 d 个体的蛋白酶活性均存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 而其后肠和肝脏的蛋白酶活性与饥饿 3 d 的个体存在极显著性差异 ( $P < 0.01$ ). 随着饥饿时间的进一步延长, 其蛋白酶的活性进一步下降, 其中饥饿至第 10 天胃和前肠的蛋白酶活性的下降幅度最大, 但饥饿 10 d 后, 虽然蛋白酶活性会下降, 但降低的幅度较小, 胃、前肠和后肠的蛋白酶活性在饥饿 10、15 和 20 d 的差异均不显著 ( $P > 0.05$ ), 仅饥饿 10 d 与饥饿 30 d 差异显著 ( $P < 0.05$ ), 而肝脏的蛋白酶活性则在饥饿 5、10、15、20 和 30 d 差异均不显著 ( $P > 0.05$ ). 表明饥饿在 3 d 内对蛋白酶的影响较小, 但在第 3 ~ 10 天内, 饥饿使蛋白酶活性显著降低, 首先

表 1 饥饿对黄鳝蛋白酶活性的影响

Tab. 1 Effect of starvation on protease activities of *M. albus* ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )

组织 Tissue	饥饿时间 Starvation period (d)						
	0	3	5	10	15	20	30
胃 Stomach	2458.87 ± 18.11a	2306.12 ± 21.55a	1932.52 ± 32.55b	1436.87 ± 29.11c	1357.88 ± 30.14c	1154.62 ± 22.38cd	1018.65 ± 22.39d
前肠 Foregut	1972.31 ± 15.23a	1720.5 ± 13.58a	1487.35 ± 29.58b	1058.23 ± 24.58c	987.26 ± 30.25c	863.61 ± 18.97cd	725.68 ± 18.17d
后肠 Hindgut	975.32 ± 14.81a	831.57 ± 12.87a	527.61 ± 18.51c	408.64 ± 15.34cd	395.87 ± 15.33cd	362.55 ± 11.37cd	317.35 ± 8.37d
肝脏 Liver	673.58 ± 11.82a	592.65 ± 12.32a	356.52 ± 10.57c	305.27 ± 10.59c	297.34 ± 9.58c	273.65 ± 12.11c	242.55 ± 10.53c

同行不同字母表示差异显著 Different letters meant significant difference at 0.01 level. 下同 The same below.

是肝脏和后肠的蛋白酶活性显著下降,随后胃和前肠的蛋白酶活性也显著下降,当蛋白酶活性下降到一定程度后,饥饿对其活性的影响减小。

### 3.2 饥饿对黄鳝胰蛋白酶活性的影响

从表 2 可以看出,黄鳝胰蛋白酶活性会随着饥饿时间的延长呈下降的趋势。饥饿第 3 天,胃与前肠的胰蛋白酶活性显著下降( $P < 0.05$ ),到饥饿的第 5 天,胃和前肠的胰蛋白酶活性极显著下降, ( $P < 0.01$ );后肠与肝脏的胰蛋白酶活性在饥饿的第 3 天下降不明显,至饥饿第 5 天,显著下降( $P < 0.05$ );随着饥饿的进一步加深,胃和前肠的胰蛋白酶仍呈下降趋势,但下降不明显,饥饿 10、15、20 和 30 d 个体的胰蛋白酶的活性相差不显著( $P > 0.05$ );而后肠胰蛋白酶活性在饥饿第 10 天明显下降( $P < 0.01$ );肝脏胰蛋白酶活性下降则不明显,其饥饿 5、10、15、20 和 30 d 的胰蛋白酶活性差异均不显著( $P > 0.05$ )。表明饥饿在开始阶段对胰蛋白酶影响较大,且主要影响前肠和胃的胰蛋白酶活性,在胰蛋白酶的活性下降到一定程度后,饥饿对其影响减小。

### 3.3 饥饿对黄鳝淀粉酶活性的影响

从表 3 可以看出,黄鳝淀粉酶活性随饥饿时间延长呈下降趋势。饥饿第 3 天和第 5 天,所检测的各

消化器官内的淀粉酶活性与未饥饿的个体淀粉酶活性无显著差异( $P > 0.05$ );但饥饿第 10 天,其肝脏淀粉酶活性与未饥饿和饥饿 3 d 处理差异显著( $P < 0.05$ );前肠中的淀粉酶活性与未饥饿个体差异显著( $P < 0.05$ );而后肠和胃淀粉酶活性到饥饿第 15 天才与未饥饿个体有显著性差异( $P < 0.05$ );饥饿 5、10、15、20 和 30 d 个体所检测的消化器官中的淀粉酶活性均不存在显著性差异( $P > 0.05$ )。这表明饥饿对黄鳝淀粉酶活性的影响较小。

### 3.4 饥饿对黄鳝脂肪酶活性的影响

从表 4 可以看出,黄鳝脂肪酶活性随饥饿时间延长呈下降趋势。饥饿第 3 天,除了胃的脂肪酶活性下降不明显外,前肠、后肠和肝脏脂肪酶活性均明显下降( $P < 0.05$ );到饥饿第 5 天,其脂肪酶活性下降更明显,除胃的脂肪酶活性与未饥饿的个体差异显著外( $P < 0.05$ ),另外 3 个组织与未饥饿个体差异极显著( $P < 0.01$ );随着饥饿时间进一步延长,脂肪酶活性下降速度开始减慢,饥饿 5、10 和 15 d 的个体,其肝脏、前肠、胃内脂肪酶活性差异不显著( $P > 0.05$ );饥饿 5 和 10 d 个体后肠的脂肪酶活性差异也不显著( $P > 0.05$ ),只是饥饿 15 d 与饥饿 5 d 个体差异显著( $P < 0.05$ );饥饿 20 和 30 d 的个体各

表 2 饥饿对黄鳝胰蛋白酶活性的影响

Tab.2 Effect of starvation on trypsin activities of *M. albus* ( $\Delta A247 \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$ )

组织 Tissue	饥饿时间 Starvation period (d)						
	0	3	5	10	15	20	30
胃 Stomach	18.21 ± 2.56a	14.33 ± 2.27b	10.87 ± 1.12c	6.25 ± 0.47d	5.89 ± 0.37d	5.24 ± 0.38d	4.90 ± 0.31d
前肠 Foregut	27.33 ± 2.87a	21.5 ± 1.97b	11.35 ± 1.27c	7.08 ± 0.56d	6.51 ± 0.61d	5.87 ± 0.30d	5.18 ± 0.37d
后肠 Hindgut	11.27 ± 2.18a	10.08 ± 1.57a	8.45 ± 0.67b	5.31 ± 0.26c	4.96 ± 0.32c	4.32 ± 0.22c	4.21 ± 0.33c
肝脏 Liver	4.08 ± 1.59a	3.52 ± 0.38a	3.01 ± 0.18b	2.78 ± 0.13b	2.62 ± 0.17b	2.05 ± 0.21b	1.98 ± 0.12b

表 3 饥饿对黄鳝淀粉酶活性的影响

Tab.3 Effect of starvation on amylase activities of *M. albus* ( $mg \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$ )

组织 Tissue	饥饿时间 Starvation period (d)						
	0	3	5	10	15	20	30
胃 Stomach	1.87 ± 0.21a	1.23 ± 0.32ab	1.17 ± 0.18ab	1.05 ± 0.18ab	0.96 ± 0.10b	0.81 ± 0.11b	0.72 ± 0.08b
前肠 Foregut	7.08 ± 1.89a	6.35 ± 0.47ab	5.22 ± 0.86ab	4.87 ± 0.33b	4.52 ± 0.27b	4.35 ± 0.38b	4.05 ± 0.27b
后肠 Hindgut	8.87 ± 2.31a	7.96 ± 0.96a	6.52 ± 0.82ab	6.06 ± 0.62ab	5.90 ± 0.38b	5.12 ± 0.44b	4.63 ± 0.51b
肝脏 Liver	7.05 ± 1.12a	5.08 ± 0.87ab	4.81 ± 0.50bc	4.75 ± 0.34c	4.36 ± 0.25c	3.92 ± 0.22c	3.03 ± 0.19c

表 4 饥饿对黄鳝脂肪酶活性的影响

Tab.4 Effect of starvation on lipase activities of *M. albus* ( $\mu g \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$ )

组织 Tissue	饥饿时间 Starvation period (d)						
	0	3	5	10	15	20	30
胃 Stomach	12.35 ± 2.18a	10.54 ± 2.27ab	8.51 ± 2.20b	8.07 ± 1.08b	6.73 ± 1.21b	5.76 ± 0.52bc	4.05 ± 0.30c
前肠 Foregut	23.57 ± 2.67a	17.35 ± 2.83b	10.87 ± 2.22c	9.56 ± 1.58c	8.27 ± 0.88cd	6.37 ± 0.68d	5.08 ± 0.69d
后肠 Hindgut	35.73 ± 6.21a	26.73 ± 3.33b	14.52 ± 3.58c	12.38 ± 2.04cd	10.58 ± 2.06d	7.21 ± 1.18de	6.92 ± 1.10e
肝脏 Liver	33.25 ± 4.89a	25.65 ± 2.88b	11.25 ± 1.17c	10.17 ± 1.56c	9.35 ± 1.22cd	6.73 ± 1.06d	5.27 ± 0.38d

组织脂肪酶活性差异均不显著( $P > 0.05$ )。表明饥饿对脂肪酶活性的影响,在饥饿开始时较大,且主要影响到肠道和肝脏脂肪酶的活性,随着饥饿的加深,脂肪酶下降到一定程度后,对其活性的影响反而减小。

#### 4 讨 论

研究表明,饥饿对黄鳝胃、前肠、后肠和肝脏的蛋白酶、胰蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶的活性均产生影响,随着饥饿时间的延长,4种消化酶的活性均不断下降,且大多在饥饿的前5~10 d下降幅度较大,当消化酶的活性下降到一定程度后,饥饿继续加深时,消化酶活性下降不明显。类似情况在其它研究中也发现, Pedersen 等<sup>[8]</sup>发现大西洋鲱饥饿1~2 d后,其肠道中蛋白酶和胰蛋白酶的活性降低; Munilla-Moran 等<sup>[7]</sup>发现饥饿对大菱鲂的消化功能产生影响,未摄食的大菱鲂的消化酶活性比摄食的要低,而且后肠的蛋白酶降低最快,中肠的弹性蛋白酶下降最快; Maddock 等<sup>[6]</sup>认为,摄食会使鱼类大量分泌盐酸进入胃中,提高蛋白酶的活力,而饥饿鱼类的胃中则大多呈中性,胃蛋白酶的活力很低。这表明鱼类由于饥饿,消化道中没有食物刺激和诱导,可能使其消化液和消化酶的分泌下降甚至停止。即饥饿导致消化酶的活性下降。

长时间饥饿(超过10 d)还对黄鳝的摄食等产生影响,饥饿30 d后黄鳝食欲很低,即使投喂黄鳝喜食的天然饵料蚯蚓,其摄食量也很少,需通过12~15 d的养殖摄食才能恢复正常。这可能是由于饥饿对黄鳝的消化道组织结构产生影响造成的。 Ehrlich 等<sup>[2]</sup>研究大西洋鲱和鳊鱼的饥饿过程时发现,较长时间的饥饿会使鱼体的组织结构发生变化,其中消化系统的组织结构受饥饿的影响明显,饥饿的鲱鱼的肠会严重衰退,其结缔组织膜分解,肠上皮细胞数量下降,而饥饿的鳊鱼肝脏组织的横切面明显萎缩。 MacLeod 等<sup>[5]</sup>发现虹鳟在饥饿期间其肠绒毛的高度下降,肠横切面积缩小;南方大口鲈在饥饿过程中胃粘膜高度下降,胃壁肌肉层明显变薄<sup>[15]</sup>。

由于饥饿对鱼类消化道组织产生影响,使其组织结构萎缩,从而导致功能的衰退,其分泌消化酶的能力必然下降,从而使其消化系统中消化酶的活性下降,使鱼类的消化能力降低。因此,在黄鳝养殖过程中,应尽量减少饥饿的发生,进行科学投喂,以保证黄鳝的正常摄食、消化和生长,提高黄鳝对饲料的利用率,提高黄鳝养殖的效益。

#### 参考文献

- [1] Barber I, Huntingford FA. 1995. The effect of hunger and cestode parasitism on the shoaling decisions of small freshwater fish. *Journal of Fish Biology*, **47**: 524-536
- [2] Ehrlich KF, Blaxter JH. 1976. Morphological and histological changes during the growth and starvation of herring and plaice larvae. *Journal of Marine Biology*, **35**: 105-118
- [3] Huang F (黄峰). 2001. Studies on chemical digestive function in *Silurus meridionalis*. Ph. D. Dissertation. Huazhong Agricultural University. Wuhan. (in Chinese)
- [4] Kutty MN. 1978. Ammonia quotient in sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *Journal of Fisheries Research Board of Canada*, **35**: 1003-1005
- [5] MacLeod MG. 1995. Effects of salinity and starvation on the alimentary canal anatomy of the rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Journal of Fish Biology*, **47**: 524-536
- [6] Maddock DM, Burton MP. 1994. Some effects of starvation on the lipid and skeletal muscle layers of the winter flounder, *Pleuronectes americanus*. *Canadian Journal Zoology*, **72**: 1672-1679
- [7] Munilla-Moran R, Stark JR. 1990. Metabolism in marine flatfish. VI. Effect of nutritional state on digestion in turbot, *Scophthalmus maximus*. *Comparative Biochemistry Physiology*, **95**(3): 625-634
- [8] Pedersen BH, Nilssen EM. 1987. Variations in the content of trypsin and trypsinogen in larval herring (*Clupea harengus*) digesting copepod nauplii. *Journal of Marine Biology*, **94**(2): 171-181
- [9] Shen W-Y (沈文英), Lin H-R (林浩然), Zhang W-M (张为民). 1999. Effect of starvation and refeeding on biochemical composition of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fingerling. *Acta Zoologica Sinica* (动物学报), **45**(4): 404-412 (in Chinese)
- [10] Song Z-B (宋昭彬), He X-F (何学福). 2000. Effects of starvation on morphology and histology of digestive system in larval and juvenile *Silurus meridionalis* Chen. *Acta Hydrobiologica Sinica* (水生生物学报), **24**(2): 181-187 (in Chinese)
- [11] Stirling HP. 1976. Effects of experimental feeding and starvation on the proximate composition of the European bass, *Pecentrarchus labrax*. *Journal of Marine Biology*, **34**: 85-91
- [12] Wu D-Y (伍代勇), Ye Y-T (叶元土), Ding X-F (丁小峰), et al. 2006. The changes of free amino in all organs and tissues of *Carassius auratus* during starvation. *Feed Industry* (饲料工业), **27**(2): 30-33 (in Chinese)
- [13] Wu L-X (吴立新), Dong S-L (董双林). 2000. Advances in studies on compensatory of aquatic animals after starvation or undernutrition. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **11**(6): 943-946 (in Chinese)
- [14] Wu L-X (吴立新), Dong S-L (董双林), Jiang Z-Q (姜志强). 2004. Research advances in ecophysiological effects of starvation on crustacean. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **15**(4): 723-727 (in Chinese)
- [15] Xie X-J (谢小军), Deng L (邓利), Zhang B (张波). 1998. Advances and studies on ecophysiological effects of starvation on fish. *Acta Hydrobiologica Sinica* (水生生物学报), **22**(2): 181-188 (in Chinese)

作者简介 杨代勤,男,1966年生,博士,教授。主要从事鱼类生态与养殖研究,发表论文38篇。E-mail: yangdaiq@163.com

责任编辑 肖红

