

# 匙吻鲟的消化酶分布及其活性

黄瑾 熊邦喜 陈洁 王琴 朱玉婷 施培松 徐薇

华中农业大学水产学院, 武汉 430070

**摘要** 对池塘养殖条件下的匙吻鲟消化器官中胃蛋白酶、胰蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性进行研究,并分析该4种酶活性在试验期间随时间的变化规律。结果表明,胃蛋白酶在食道中活性最高,其次为肝脏、胃、幽门盲囊,肠道最低;胰蛋白酶和脂肪酶活性都表现为十二指肠高于肝脏、幽门盲囊,食道居中,胃最低,且在匙吻鲟胃中脂肪酶活性极低;淀粉酶活性也是在十二指肠中最高,其次为食道、胃和肝脏,幽门盲囊最低。在6—10月的试验期间,消化器官胃蛋白酶活性呈现先降低后升高的变化过程,8月份最低;胰蛋白酶活性随试验时间的延长不断升高;脂肪酶和淀粉酶活性则表现出先升高后降低的变化过程,9月份达到最高值。

**关键词** 匙吻鲟; 消化器官; 消化酶; 池塘; 鱼类养殖

**中图分类号** Q 959.46<sup>+</sup>3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2013)01-0110-06

鱼类消化酶研究是鱼类消化生理研究的重要内容之一。国内外对水产动物消化酶的研究已有大量报道<sup>[1-5]</sup>,从对象来看,以鱼类、甲壳类和棘皮动物等的报道较多<sup>[6]</sup>,目前尚未见对匙吻鲟消化酶活性的报道。匙吻鲟(*Polyodon spathula*),俗称鸭嘴鲟,隶属于鲟形目、白鲟科、匙吻鲟属,原产于美国密西西比河水域,20世纪80年代引入中国后得到了广泛的关注,现已推广到全国近20个省市<sup>[7]</sup>。关于匙吻鲟的生物学、养殖和繁殖技术已有研究<sup>[8-10]</sup>。笔者对人工养殖条件下的匙吻鲟消化器官中4种消化酶活性及分布进行研究,分析4种酶活性在整个试验期间的变化,旨在为匙吻鲟的消化生理和人工配合饲料的研究提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验用鱼和养殖模式

试验鱼来自新洲“973”项目实验基地,为同一批繁殖的匙吻鲟鱼种,健康无病,体质量133.98~167.07 g。在陆基水泥池中暂养1周后,转移至主养草鱼池塘中。池塘面积110 m<sup>2</sup>,放养草鱼250尾,匙吻鲟25尾,鲢40尾,鳙25尾。试验鱼养殖时间为2010年6月11日至10月12日,共计122 d。

整个试验期间投喂混养草鱼成鱼配合饲料,其中饲料蛋白水平为30%,投喂频率为2次/d,饱食投喂。设3个重复,另有后备养殖池塘1个。试验期间水体溶氧保持在5 mg/L以上,水温22.0~35.8℃,pH值7.2~7.6。

### 1.2 样本的采集和处理

于养殖开始时采样1次,7—9月按每月各采样1次,试验结束时采样1次,共采样5次,采样当天停止投喂。每次采样时随机在3个池塘中采集匙吻鲟样本共6尾。用专运鱼桶将活鱼运回实验室,每次采样后在后备池塘中挑选与样本鱼体质量相近的匙吻鲟进行补充。

在实验室对样本鱼进行体长和体质量测定后,置冰盘上解剖,取出消化道和肝脏,除去脂肪组织和系膜,清除内含物,用4℃双蒸水反复冲洗。根据殷守仁等<sup>[11]</sup>的研究将消化器官分离为食道、胃、幽门盲囊、十二指肠、瓣肠、直肠和肝脏共7个部分。将各部分标记并保存于-80℃的超低温冰箱中备用。

### 1.3 酶活性指标的测定

将备用样本从超低温冰箱取出后转入-20℃的冰柜中解冻8 h,再从冰柜转入4℃冰箱中至完全解冻为止。对解冻后的样本进行酶活性指标的

收稿日期: 2012-06-26

基金项目: 国家“973”计划(2009CB118706)和国家“十一五”支撑计划项目(2006BAD03B02-04)

黄瑾, 硕士研究生; 研究方向: 鱼类生理与生态. E-mail: hzauhj@163.com

通讯作者: 熊邦喜, 博士, 教授. 研究方向: 鱼类增殖. E-mail: bangxix8@mail.hzau.edu.cn

测定。

本试验酶活性测定方法依照南京建成胃蛋白酶试剂盒(产品编号:A080-1;批号:20101115)、胰蛋白酶试剂盒(产品编号:A080-2;批号:20101115)、脂肪酶试剂盒(产品编号:A054;批号:20101113)和淀粉酶试剂盒(产品编号:C016;批号:20110106)的测定方法进行。

胃蛋白酶活性定义:在37℃条件下,1g组织1min分解蛋白生成1μg氨基酸相当于1个酶活力单位,U/g。

胰蛋白酶活性定义:在37℃条件下,1μg组织中含有的胰蛋白酶1min使吸光度变化0.03即为1个酶活力单位,U/μg。

脂肪酶活性定义:37℃条件下,1g组织在反应体系中与底物反应1min,每消耗1μmol底物为1个酶活力单位,U/g。

淀粉酶活性定义:37℃条件下,1g组织与底物作用30min,水解10mg淀粉定义为1个酶活力单位,U/g。

#### 1.4 数据处理

消化器官中4种酶的活性值为相同部位同种酶的所有平均值,用Statistica 6.0软件进行显著性分析。酶活性随时间的变化采用Excel软件进行绘图。酶活性与生长的相关性数据采用SAS 9.0软

件进行相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 匙吻鲟4种酶在消化器官中的分布

1)胃蛋白酶活性。表1数据显示,匙吻鲟胃蛋白酶活性最高的部位是食道,其次为肝脏,胃次之,且与鱼体的其他部位差异显著。幽门盲囊的胃蛋白酶活性高于肠道,但差异不显著。

2)胰蛋白酶活性。匙吻鲟胰蛋白酶活性十二指肠最高,与消化道其他部位相比均存在显著性差异。肝脏的胰蛋白酶活性低于十二指肠,高于其他部位,与幽门盲囊、瓣肠和直肠无显著性差异,与食道和胃的差异显著。胃是胰蛋白酶活性最低的部位。具体数据见表1。

3)脂肪酶活性。由表1数据还可知,匙吻鲟消化道脂肪酶的活性为十二指肠最高,其后依次为食道、幽门盲囊、直肠和瓣肠。肝脏的脂肪酶活性低于食道,但高于幽门盲囊。胃是匙吻鲟脂肪酶活性最低的部位。

4)淀粉酶活性。匙吻鲟消化道淀粉酶活性最高的部位是十二指肠,其次为食道和胃。幽门盲囊的淀粉酶活性最低。肝胰脏的淀粉酶活性略高于幽门盲囊,低于其他部位,与瓣肠和直肠无显著差异,与十二指肠、食道和胃差异显著(表1)。

表1 匙吻鲟不同消化器官中4种酶活性<sup>1)</sup>

Table 1 The activities of pepsin, trypsin, lipase and amylase in different parts of digestive organs of paddlefish (Mean±SD)

消化器官 Alimentary organs	胃蛋白酶/(U/g) Pepsin	胰蛋白酶/(U/μg) Trypsin	脂肪酶/(U/g) Lipase	淀粉酶/(U/g) Amylase
食道 Oesophagus	12.129±5.868 f	1.998±0.469 ab	0.477±0.189 e	0.558±0.125 cde
胃 Stomach	4.356±3.456 d	0.554±0.273 a	0.011±0.023 a	0.510±0.112 bcde
幽门盲囊 Pyloric caeca	1.826±1.400 abc	2.080±0.810 ab	0.330±0.104 bcd	0.342±0.098 a
十二指肠 Duodenum	1.141±0.911 a	9.187±0.829 c	0.791±0.224 f	0.591±0.066 e
瓣肠 Valvula intestine	1.451±1.292 ab	1.788±0.742 ab	0.254±0.094 b	0.463±0.065 bc
直肠 Rectum	1.684±1.491 abc	2.207±0.606 ab	0.270±0.091 bc	0.477±0.070 bcd
肝脏 Liver	6.908±2.861 e	4.496±1.826 b	0.430±0.186 de	0.445±0.061 b

1)同列中字母不同代表有显著性差异( $P<0.05$ )。Values in the same column with different letters are significantly different ( $P<0.05$ ).

### 2.2 匙吻鲟消化器官中4种酶活性的变化

1)胃蛋白酶活性的变化。消化器官的胃蛋白酶活性的变化表现为先降低后升高,8月份为最低值,且在试验结束时的活性比试验开始时的活性低(图1)。另外,各消化器官的胃蛋白酶在7月份的活性值均显著低于6月份;除胃外,其他各消化器官的胃蛋白酶活性8月份也显著低于7月份( $P<0.05$ ),而8—10月间的差异不显著

( $P>0.05$ )。

2)胰蛋白酶活性的变化。匙吻鲟的胰蛋白酶活性随着试验时间的延长不断升高(图2)。其中,胃和肝脏胰蛋白酶活性7月与6月相比较有显著性差异( $P<0.05$ ),幽门盲囊和十二指肠胰蛋白酶活性8月与7月相比有显著性差异( $P<0.05$ ),胃和幽门盲囊胰蛋白酶活性10月与9月相比也有显著性差异( $P<0.05$ )。

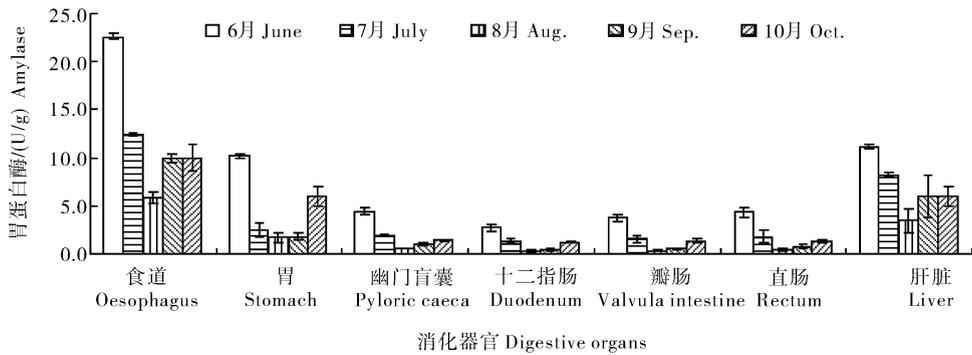


图 1 试验期间匙吻鲟消化器官中胃蛋白酶活性的变化

Fig. 1 Changing of pepsin activities in different parts of paddlefish digestive organs during experiment

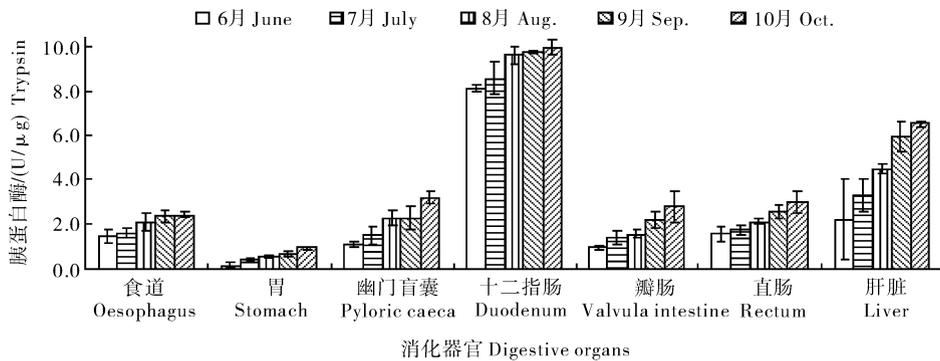


图 2 试验期间匙吻鲟消化器官胰蛋白酶活性的变化

Fig. 2 Changing of trypsin activities in different parts of paddlefish digestive organs during experiment

3) 脂肪酶活性的变化。匙吻鲟脂肪酶活性在试验期间表现为先升高后降低的变化趋势, 9 月份出现最高值, 而且在胃部只在 9 月份检出有较低的脂肪酶活性, 在其他各月均未检测到脂肪酶活性(图 3)。十二指肠和肝脏的脂肪酶活性 7 月与 6 月相比有显著性差异( $P < 0.05$ ), 食道和肝脏脂肪酶活性 8 月与 7 月相比有显著性差异( $P < 0.05$ )。除食道和幽门盲囊外, 匙吻鲟消化器官中脂肪酶活性值 9 月和 8 月均无显著性差异( $P > 0.05$ )。而 9 月

和 10 月的差异均显著( $P < 0.05$ )。

4) 淀粉酶活性的变化规律。淀粉酶活性的变化与脂肪酶相同, 都在 9 月份出现最高值, 且试验结束时的活性值低于试验开始时的活性值(图 4)。除幽门盲囊和十二指肠 9 月的淀粉酶活性与 8 月相比有显著性差异( $P < 0.05$ )外, 匙吻鲟其他消化器官的淀粉酶活性在 6 月至 9 月间无显著性差异。但除食道外, 各消化器官中 9—10 月的淀粉酶活性均存在显著性差异( $P < 0.05$ )。

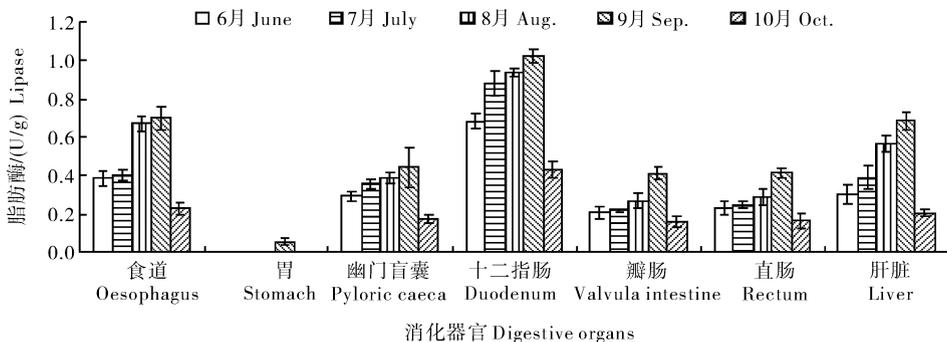


图 3 试验期间匙吻鲟消化器官脂肪酶活性的变化

Fig. 3 Changing of lipase activities in different parts of paddlefish digestive organs changing during experiment

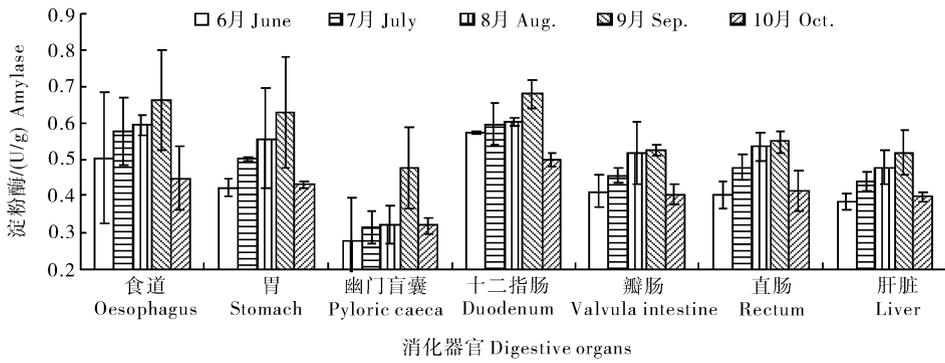


图 4 试验期间匙吻鲟消化器官淀粉酶活性的变化

Fig. 4 Changing of amylase activities in different parts of paddlefish digestive organs changing during experiment

2.3 酶活性变化与匙吻鲟生长的关系

1) 匙吻鲟的生长情况。对每次采集的 6 尾匙吻鲟样本进行体长、体质量测定,结果见表 2。  
2) 消化酶与体长、体质量的关系。匙吻鲟的消

化酶与体长、体质量间的相关系数见表 3。结果表明匙吻鲟胰蛋白酶的变化与生长有显著相关性 ( $P < 0.05$ ),而其他 3 种酶在养殖期中的变化与生长无显著相关性 ( $P > 0.05$ )。

表 2 匙吻鲟的生长指标

Table 2 Growth indexes for paddlefish (Mean ± SD)

生长指标 Growth index	6月 June	7月 July	8月 August	9月 September	10月 October
体长/cm Length	35.44 ± 0.49	37.15 ± 1.86	39.27 ± 4.52	39.50 ± 5.68	43.70 ± 0.14
体质量/g Weight	150.15 ± 11.90	169.11 ± 42.18	206.02 ± 83.98	232.11 ± 95.06	333.17 ± 7.11

表 3 匙吻鲟消化酶活性与体长、体质量的相关系数<sup>1)</sup>

Table 3 Correlation coefficient between body length, body weight and digestive enzyme activities of paddlefish

消化器官 Alimentary organs	体长 Body length				体质量 Body weight			
	胃蛋白酶 Pepsin	胰蛋白酶 Trypsin	脂肪酶 Lipase	淀粉酶 Amylase	胃蛋白酶 Pepsin	胰蛋白酶 Trypsin	脂肪酶 Lipase	淀粉酶 Amylase
食道 Oesophagus	-0.645	0.899*	-0.212	-0.282	-0.509	0.872	-0.306	-0.366
胃 Stomach	-0.261	0.979**	0.088	0.024	-0.120	0.952*	0.109	-0.067
幽门盲囊 Pyloric caeca	-0.653	0.993**	-0.437	0.239	-0.527	0.965*	-0.522	0.232
肠道 Intestinal	-0.588	0.959**	-0.333	-0.159	-0.460	0.941*	-0.405	-0.257
肝脏 Liver	-0.657	0.924*	-0.155	0.077	-0.527	0.907*	-0.243	-0.022

1) \* 表示显著相关 ( $0.01 < P < 0.05$ ), \*\* 表示极显著相关 ( $P < 0.01$ )。\* represents significant correlation ( $0.01 < P < 0.05$ ), \*\* represents extremely significant correlation ( $P < 0.01$ ).

3 讨论

3.1 匙吻鲟消化酶的分布特点

鱼类消化酶的种间差异明显,同种鱼在不同条件下也存在差异,同时由于不同学者的分析方法和表达酶活性方式的差异,使得研究结果可比性较差。以蛋白酶活性为例,倪寿文等<sup>[1]</sup>将蛋白酶活性定义为在水浴 37 °C 条件下的吸光值,而吴婷婷等<sup>[12]</sup>的定义是在 25 °C 下的吸光值。此外,测定时的 pH 值、反应底物、反应时间等条件的不同都是造成结果

没有可比性的原因。孙海涛等<sup>[13]</sup>在研究饲料蛋白水平对匙吻鲟消化酶活力影响的试验中测得的蛋白酶活性与本试验差距较大,也是由于测定方法和对酶活性定义的差异导致的,但其研究结果中匙吻鲟消化酶的分布特点与本研究结果相似。

部分学者<sup>[14-16]</sup>对中华鲟、史氏鲟和杂交鲟消化酶活性的研究认为,幽门盲囊是蛋白酶活性最高的部位,且肠道中的蛋白酶活性高于胃。但本试验中对匙吻鲟消化酶的研究发现,胃中的胃蛋白酶活性显著高于肠道各部位。而肠道,特别是十二指肠的

胰蛋白酶活性要高于胃。这说明匙吻鲟分泌胃蛋白酶和胰蛋白酶的部位不同,胃是匙吻鲟胃蛋白酶分泌的主要部位,而肠是其胰蛋白酶分泌的主要场所。此外,本试验结果表明,肝脏也是匙吻鲟分泌蛋白酶的重要器官。李瑾等<sup>[14]</sup>对中华鲟的研究结果表明在各消化区段中,肠道是消化脂肪的主要部位,幽门盲囊中一般不存在脂肪酶。笔者发现,匙吻鲟胃中的脂肪酶活性极低,且幽门盲囊的脂肪酶活性要低于肠道和肝脏,这与对中华鲟的研究结果相似。在匙吻鲟的消化器官中,胃、瓣肠、直肠、肝脏的淀粉酶活性差异不显著,幽门盲囊相对较低,这一结果与中华鲟<sup>[14]</sup>和史氏鲟<sup>[16]</sup>的肝脏是淀粉酶活性最低的器官结果不相同。但本试验中,除幽门盲囊外,肝脏的淀粉酶活性较其他消化器官低,故认为肝脏不是消化淀粉的主要器官。

### 3.2 食性与消化酶活性的关系

鱼类消化酶活性强度与食性有一定的关系。本试验中,匙吻鲟消化器官中淀粉酶活性比胃蛋白酶和胰蛋白酶活性低,这与匙吻鲟摄食浮游动物的特点有关。这与李瑾等<sup>[14]</sup>对中华鲟的研究和伍莉等<sup>[15-16]</sup>对杂交鲟和史氏鲟的研究结果一致。在无胃鱼类中,吴婷婷等<sup>[12]</sup>研究了鳊、青鱼、鲤、鲫、草鱼等的消化酶后指出,蛋白酶活力与食性有关,即肉食性鱼类的蛋白酶活力明显高于杂食性的鱼类。Agrawal<sup>[17]</sup>比较了肉食性、杂食性鱼类淀粉酶的差异后也指出,草食性鱼类具有较强的淀粉酶活力,而肉食性鱼类最弱。本试验结果可见:在匙吻鲟的7种消化器官中,胃蛋白酶和胰蛋白酶活性均高于淀粉酶,这与上述研究结果一致,也充分证明了匙吻鲟是属于动物食性的鱼类。

### 3.3 消化酶活性在试验期间的变化

在养殖生产中,使用人工饵料饲养匙吻鲟已越来越普遍,鱼类在摄食天然饵料时消化酶活性随时间变化的规律,在一定程度上可指导人工饵料的选择和投喂。在6月至10月份的养殖过程中,匙吻鲟的胃蛋白酶活性的变化表现为先高后低的变化过程,而胰蛋白酶活性则随着养殖时间的延长不断升高。考虑到胰蛋白酶活性在整个养殖期间的相对变化幅度(食道:39.2%;胃:82.0%;幽门盲囊:65.7%;十二指肠:18.6%;瓣肠:66.0%;直肠:46.9%;肝脏:65.8%)较胃蛋白酶(食道:74.4%;胃:90.2%;幽门盲囊:87.7%;十二指肠:90.8%;瓣肠:92.4%;直肠:92.5%;肝脏:69.0%)小,且胰蛋

白酶活性变化受匙吻鲟生长的影响大于胃蛋白酶,所以在选择饵料时胃蛋白酶活性的变化是重要的参考因素。匙吻鲟的脂肪酶活性在试验期间6—9月不断升高,9月以后则开始下降,所以对其饵料中的脂肪含量的确定,也应该随着养殖时间的延长不断增加,9月份以后其饵料中添加脂肪含量可以适当降低。匙吻鲟的淀粉酶活性的变化规律与脂肪酶相同,所以饵料中淀粉添加量的变化也应与脂肪的添加量相一致。

## 参 考 文 献

- [1] 倪寿文,桂远明,刘焕亮.草鱼、鲤、鲢、鳙和尼罗非鱼肝胰脏和肠道蛋白酶活性的初步探讨[J].动物学报,1993,39(2):160-167.
- [2] 沈文英,寿建昕,金叶飞,等.银鲫消化酶的研究[J].上海水产大学学报,2009,11(3):193-198.
- [3] DAS K M, TRIPATHI S D. Studies on the digestive enzyme of grass carp *Ctenopharyngodon idella* (Val.) [J]. Aquaculture, 1991,92:21-32.
- [4] FURNE M, HIDALGO M C, LOPEZ A, et al. Digestive enzyme activities in Adriatic sturgeon *Acipenser naccarii* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*: a comparative study [J]. Aquaculture, 2005,250(1/2):391-398.
- [5] KIM B G, DIVAKARAN S, BROWN C L, et al. Comparative digestive enzyme ontogeny in two marine larval fishes: pacific threadfin (*Polydactylus sexfilis*) and bluefin trevally (*Caranx melampygus*) [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2001,24(3):225-241.
- [6] 杨蕙萍,董圣英,王子臣.国内外关于水产动物消化酶研究的概况[J].大连水产学院学报,1998,13(3):64-71.
- [7] 熊邦喜,梅新海,戴泽贵.匙吻鲟引进中国20年概述[J].淡水渔业,2008,38(5):70-73.
- [8] 陈鹏.水库放养匙吻鲟的生长与负载量的研究[D].武汉:华中农业大学水产学院,2009:18-28.
- [9] 陈静.匙吻鲟早期发育与鱼体成分分析[D].武汉:华中农业大学水产学院,2008:34-39.
- [10] 董宏伟,韩志忠,康志平,等.匙吻鲟含肉率及肌肉营养成分分析[J].淡水渔业,2007,37(4):49-51.
- [11] 殷守仁,赵文,刘保占.匙吻鲟的生物学特性、成鱼养殖技术及消化系统的解剖[J].北京农业,2009(11):52-56.
- [12] 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):10-16.
- [13] 孙海涛,吉红.饲料蛋白水平对匙吻鲟幼鱼肌肉营养成分及消化酶活力的影响[J].水产科学,2011(12):721-725.
- [14] 李瑾,何瑞国,王学东.中华鲟消化系统内消化酶活性分布[J].中国饲料,2002(21):18-20.
- [15] 伍莉,陈鹏飞,陈建,等.杂交鲟主要消化器官蛋白酶、淀粉酶活力的初步研究[J].内陆水产,2002(7):34-36.

- [16] 伍莉, 陈鹏飞, 陈建. 史氏鲟消化酶活性的初步研究[J]. 西南农业大学学报: 自然科学版, 2002, 24(2): 179-189.
- [17] AGRAWAL V P. Digestive enzymes of three teleost fishes [J]. Acta Physiol Acad Sci Hung, 1975, 46(2): 93-98.

## Activity and distribution of digestive enzymes for paddlefish (*Polyodon spathula*)

HUANG Jin XIONG Bang-xi CHEN Jie WANG Qin  
ZHU Yu-ting SHI Pei-song XU Wei

*Fisheries of College, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China*

**Abstract** The enzyme activities, distribution features and changing patterns with feeding time of pepsin, trypsin, lipase and amylase in digestive organs for pond-cultured paddlefish were determined in the present study. The results showed that the highest activity of pepsin was found in the oesophagus, then followed in order by the liver, stomach, pyloric caeca, and intestine tract. The duodenum had the highest activity of trypsin and lipase, then followed in order by the liver, pyloric caeca, stomach, and oesophagus. The activities of amylase from the highest to the lowest in the digestive organs was in the order of the duodenum, oesophagus, stomach, liver, and pyloric caeca. During the culturing period from June to October, the activity of pepsin decreased at first, and then increased, with the lowest value appeared in August. The activities of trypsin increased gradually with increasing of the feeding time. While the activities of lipase and amylase increased at first and then declined, with the highest value appeared in September.

**Key words** paddlefish; digestive organs; digestive enzyme; pond; fish culture

(责任编辑: 边书京)