

文章编号: 1004 - 7271(2008)04 - 0423 - 06

瓦氏黄颡鱼胃、前肠及肝胰脏的 主要消化酶活力

李伟纯, 马旭洲, 王 武

(上海海洋大学水产与生命学院, 上海 200090)

摘 要:对瓦氏黄颡鱼胃、前肠及肝胰脏的 3 种主要消化酶(蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶)活力进行了初步研究。结果表明:胃、前肠和肝胰脏蛋白酶的最适 pH 分别为 2.30、8.50 和 8.90,脂肪酶的最适 pH 分别为 8.0、7.6 和 7.9,淀粉酶的最适 pH 分别为 7.2、7.9 和 7.6。同时研究了在最适 pH 条件下,不同反应温度对 3 种主要消化酶活性的影响。结果表明:胃、前肠和肝胰脏蛋白酶的最适反应温度分别为 50 ℃、50 ℃和 65 ℃,脂肪酶的最适反应温度分别为 45 ℃、50 ℃和 35 ℃,淀粉酶的最适反应温度分别为 30 ℃、30 ℃和 35 ℃。在一定的温度范围内,3 种消化酶的活力均呈先升后降的趋势。在最适反应温度与最适 pH 条件下,瓦氏黄颡鱼蛋白酶与淀粉酶的活力分布均呈现:前肠 > 肝胰脏 > 胃;脂肪酶的活力强弱为:前肠 > 胃 > 肝胰脏。

关键词:瓦氏黄颡鱼; 消化酶活性; 最适温度; 最适 pH

中图分类号: S 917 文献标识码: A

Digestive enzyme activities in stomach, foreintestine and hepatopancreas of *Pelteobagrus vachelli* Richardson

LI Wei-chun, MA Xu-zhou, WANG Wu

(College of Fisheries and Life, Shanghai Ocean University, Shanghai 200090, China)

Abstract: A primary study was conducted to study the activities of three main digestive enzymes (protease, lipase and amylase) in stomach, foreintestine and hepatopancreas of *Pelteobagrus vachelli* Richardson. The results show that the optimum pH of protease in stomach, foreintestine and hepatopancreas is 2.30, 8.50 and 8.90 respectively; while the optimum pH of lipase is 8.0, 7.6 and 7.9; and amylase is 7.2, 7.9 and 7.6. And the study of the optimum temperature of three digestive enzyme shows that: the optimum temperature of protease in stomach, foreintestine and hepatopancreas is 50 ℃, 50 ℃ and 65 ℃ respectively; while the optimum temperature of lipase is 45 ℃, 50 ℃ and 35 ℃; and amylase is 30 ℃, 30 ℃ and 35 ℃. The activity of the three enzyme rises at first and then decreases within certain range of temperature. Under the most optimum pH and temperature conditions, both the activity distribution of protease and amylase is foreintestine > hepatopancreas > stomach; while the activity distribution of lipase is foreintestine > stomach > hepatopancreas.

Key words: *Pelteobagrus vachelli*; digenstive enzyme activity; optimum temperature; pH

收稿日期: 2007-10-18

基金项目: 上海市 2004 年科技兴农重点攻关项目[沪农攻字(2004)第 8-8 号]

作者简介: 李伟纯(1983-), 男, 浙江绍兴人, 硕士研究生, 专业方向为鱼类消化生理学。

通讯作者: 王 武, E-mail: wwang@shou.edu.cn

瓦氏黄颡鱼,又名江黄颡(*Pelteobagrus vachelli* Richardson),隶属于鲇形目(Siluriformes),鲿科(Bagridae),黄颡鱼属(*Pelteobagrus*)^[1-2]。瓦氏黄颡鱼肉质鲜美,无肌间刺;但是近年来由于人为捕捞,环境污染等问题,野生瓦氏黄颡鱼的资源大量萎缩。人工养殖瓦氏黄颡鱼具有良好的经济前景。瓦氏黄颡鱼的生物学研究报道已经有很多^[3-5],但是关于瓦氏黄颡鱼主要消化酶的研究尚未见报道。本试验研究了pH与温度对瓦氏黄颡鱼主要消化酶活性的影响,以为瓦氏黄颡鱼的消化生理研究和配合饲料的研制提供基础数据和理论依据,促进瓦氏黄颡鱼的人工养殖。

1 材料与方 法

1.1 实验用 鱼

瓦氏黄颡鱼为上海松江区良种场2006年6月繁殖的1龄鱼种,体重(10.12 ± 1.49)g,体长(8.68 ± 0.39)cm。

1.2 样品制 备

实验鱼在饥饿48h后进行取样。取鱼在冰块上解剖,取出肝胰脏、胃、前肠组织,剔除附着物,剪碎后,随机取一部分在电子天平上称重。将所取样品加10倍体积(W/V)预冷重蒸水,在0~4℃下研磨成匀浆,4℃冰箱中静置过夜,使消化酶尽可能溶解。高速冷冻离心机离心(0~4℃,6000r/min,20min),取上清液,即为酶粗提液,分别用于测定蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶。

1.3 酶活力测 定

1.3.1 蛋白酶活力测定

采用以酪蛋白为底物的福林-酚试剂显色法^[6],略加改动。以0.02mol/L磷酸缓冲液,配成0.5%酪素溶液。在水浴锅中预热3min,然后加入酶液1mL,准确反应15min后,加入10%三氯乙酸3mL终止显色反应。离心(3000r/min,5min),取上清液1mL加入0.55mol/L的碳酸钠溶液5mL,福林试剂1mL于37℃(在最佳反应温度试验中,温度做一定改变)水浴锅中显色15min。在波长680nm处测其光密度值。蛋白酶活性定义为:在一定的pH和温度下,每分钟水解酪蛋白产生1μmol酪氨酸为1个酶活力单位(μmol/min)。

1.3.2 脂肪酶活力测定

采用以聚乙烯醇橄榄油为底物的标准氢氧化钠溶液滴定法^[7]。将5mL0.02mol/L磷酸缓冲液和4mL聚乙烯醇橄榄油乳化液,水浴中预热5~10min,然后加入酶液1mL,从开始加入酶液精确计时,15min后加入95%乙醇15mL,终止酶反应。加酚酞指示剂三滴,用0.05mol/L标准氢氧化钠滴定至微红色,并同时做空白对照,对照样品中的乙醇在酶液前加入,不需保温。脂肪酶活性定义为:在一定的pH和温度下,每分钟催化产生1μmol脂肪酸为1个酶活力单位(μmol/min)。

1.3.3 淀粉酶活力测定

采用次亚碘酸法^[8]。取0.02mol/L磷酸缓冲液配置的2%淀粉液2mL于水浴锅中预热3min,加酶液0.1mL后水浴15min,然后置于水浴中煮沸10min,终止反应。冷却后,取1mL反应液于碘量瓶中,加入0.1mol/L碘液1mL,滴加0.15mol/L的NaOH1mL,摇匀,于20~10℃暗处静置15~30min,加入1.5mol/L的H₂SO₄酸化,以0.025mol/L硫代硫酸钠滴定,指示剂为2%淀粉,终点呈无色。淀粉酶活性定义为:在一定pH和温度下,每分钟催化淀粉生成1μmol麦芽糖为1个酶活力单位(μmol/min)。

1.4 不同pH值对蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活力的影响

在蛋白酶与淀粉酶的测定中,以磷酸底物缓冲液的pH值作为测定pH值。在脂肪酶测定中以磷酸缓冲液的PH值为测定pH值。先以pH=1.0为梯度测定消化酶最佳活力范围,再以pH=0.3为梯度测定其最佳反应PH值。胃,前肠和肝胰脏蛋白酶的最佳反应pH测定范围分别为:0.8~3.2,6.7~9.1和7.7~10.1;脂肪酶的测定范围分别为:6.8~8.9,6.7~8.5和6.7~8.8;淀粉酶的测定范围分别为:6.0~8.1,6.7~8.8和6.7~8.8。

1.5 不同温度对蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活力的影响

以不同组织三种消化酶(蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶)各自的最适 pH 值为反应 pH 值,进行最适温度的测定。以 20 ℃为起始温度,5 ℃为梯度进行最适温度的测定。胃,前肠和肝胰脏蛋白酶的最适反应温度测定范围分别为:20~65 ℃,20~65 ℃和 20~75 ℃;脂肪酶的测定范围分别为:20~60 ℃,20~60 ℃和 20~65 ℃;淀粉酶的测定范围分别为:20~65 ℃,20~65 ℃和 20~65 ℃。

1.6 试验数据处理

用单因素可重复方差分析不同温度下消化酶活性是否存在显著差异。若存在,再用多重比较的方法来分消化酶的最适 pH 与温度。

2 结果分析

2.1 瓦氏黄颡鱼主要消化酶的最适 pH

采用单因素可重复方差分析表明,pH 对肝胰脏、前肠、胃淀粉酶活性均有显著影响。多重比较表明,胃、前肠、肝胰脏的蛋白酶的最适 pH 分别为 2.30、8.5 和 8.90,脂肪酶的最适 pH 分别为 8.0、7.6 和 7.9,淀粉酶的最适 pH 分别为 7.2、7.9 和 7.6(图 1~图 3)。

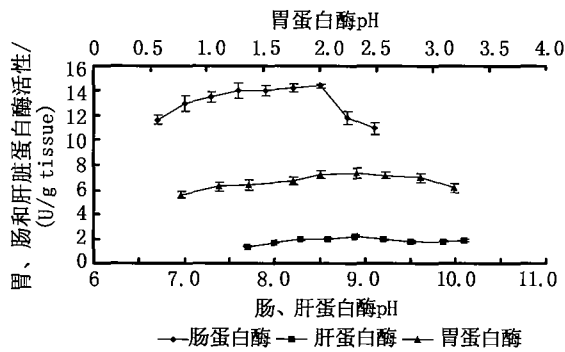


图 1 pH 对于蛋白酶活性的影响

Fig. 1 The effect of pH on the activity of protease

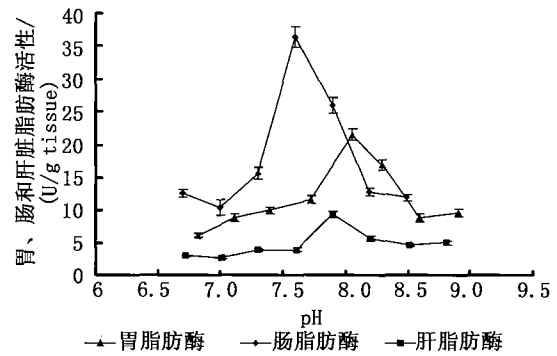


图 2 pH 对于脂肪酶活性的影响

Fig. 2 The effect of pH on the activity of lipase

2.2 瓦氏黄颡鱼主要消化酶的最适温度

采用单因素可重复方差分析表明,温度对肝胰脏、前肠、胃淀粉酶活性均有显著影响。多重比较表明,胃、前肠、肝胰脏的蛋白酶的最适反应温度分别为 50、50 和 65 ℃(测定 pH 值分别为 2.30、8.5 和 8.90),脂肪酶的最适反应温度分别为 45、50 和 35 ℃(测定 pH 值分别为 8.0、7.6 和 7.9),淀粉酶的最适反应温度分别为 30、30 和 35 ℃(测定 pH 值分别为 7.2、7.9 和 7.6)(图 4~图 6)。

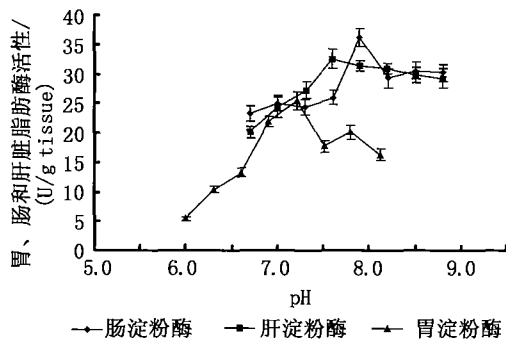


图 3 pH 对于淀粉酶活性的影响

Fig. 3 The effect of pH on the activity of amylase

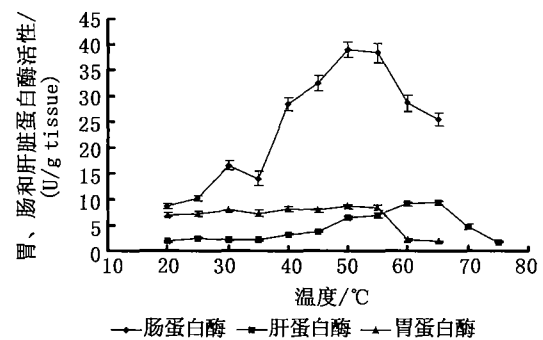


图 4 温度对蛋白酶活性的影响

Fig. 4 The effect of temperature on the activity of protease

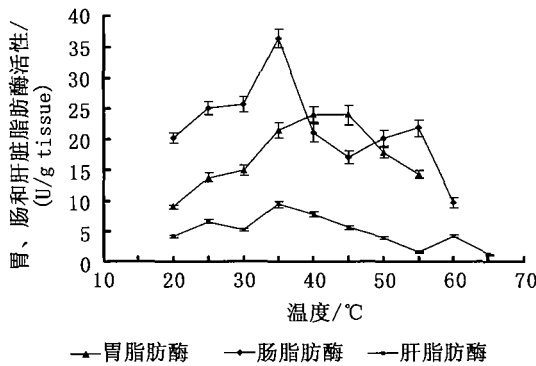


图5 温度对脂肪酶活性的影响

Fig.5 The effect of temperature on the activity of lipase

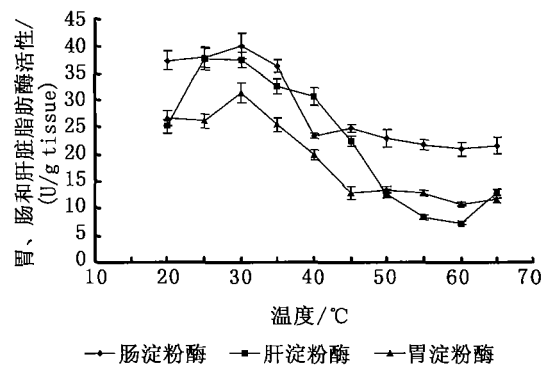


图6 温度对淀粉酶活性的影响

Fig.6 The effect of temperature on the activity of amylase

2.3 瓦氏黄颡鱼三种主要消化酶 Q_{10} 的计算

酶作用的温度系数 Q_{10} 是温度升高 10 °C 时反应速度增加的因素,是酶的一个特性值。本试验结果表明,瓦氏黄颡鱼的淀粉酶、脂肪酶、蛋白酶在不同组织中 Q_{10} 值有显著差异(表 1)。在一定温度范围内瓦氏黄颡鱼的淀粉酶、脂肪酶、蛋白酶活性呈现先上升后下降趋势。根据 3 种酶的温度系数 Q_{10} 得出:不同组织中淀粉酶活性均在 20 ~ 30 °C 升高,30 ~ 60 °C 出现降低;胃脂肪酶和肝胰脏脂肪酶在 20 ~ 40 °C 升高,40 ~ 60 °C 降低;前肠脂肪酶在 20 ~ 50 °C 升高,50 ~ 60 °C 降低;胃蛋白酶和前肠蛋白酶活性在 30 ~ 50 °C 内升高,50 ~ 60 °C 内降低;肝胰脏蛋白酶活性在 30 ~ 60 °C 升高,60 ~ 70 °C 降低。

表 1 瓦氏黄颡鱼蛋白酶、脂肪酶、淀粉酶在不同组织中 Q_{10} 值

Tab.1 The value of Q_{10} of protease, lipase and amylase in different tissues of *Pelteobagrus vachelli*

		20 ~ 30 °C	30 ~ 40 °C	40 ~ 50 °C	50 ~ 60 °C	60 ~ 70 °C
蛋白酶	胃	1.13	1.05	1.04	0.27	-
	前肠	1.45	2.26	1.37	0.74	-
	肝脏	1.14	1.56	1.95	1.40	0.52
脂肪酶	胃	1.91	1.39	0.75	0.55	-
	前肠	1.06	2.31	1.23	0.49	-
	肝脏	1.71	1.07	0.52	0.31	-
淀粉酶	胃	1.18	0.63	0.68	0.80	-
	前肠	1.07	0.59	0.98	0.92	-
	肝脏	1.48	0.82	0.41	0.58	-

2.4 瓦氏黄颡鱼不同组织三种消化酶(淀粉酶、脂肪酶和蛋白酶)的活力及其比值

通过对鱼类不同组织消化酶活力大小的分析比较,可以部分反映鱼类不同消化器官的主要消化功能。在最合适 pH 及最适温度下,瓦氏黄颡鱼蛋白酶的活力是前肠 > 肝胰脏 > 胃。脂肪酶的活力是前肠 > 胃 > 肝胰脏。淀粉酶的活力是前肠 > 肝胰脏 > 胃(表 2)。

鱼类不同组织器官不同消化酶之间的比值是反应动物食性和营养状况的一个重要指标。通常对 A/P(淀粉酶/蛋白酶), P/L(蛋白酶/脂肪酶)和 A/L(淀粉酶/脂肪酶)的比值进行比较。在瓦氏黄颡鱼中,其胃部的 A/P 值和肝胰脏的 A/P 与 A/L 值介于 3.5 ~ 4;前肠的 A/P, P/L 与 A/L 接近于 1;胃部的 P/L 接近于 0.5, A/L 接近于 1.5。

表 2 不同消化酶在最适反应 pH 与最适反应温度下在瓦氏黄颡鱼不同组织活力大小

Tab.2 The activities of protease, lipase and amylase in different tissues of *Pelteobagrus vachelli* under most adaptable pH and temperature

	胃(U)	前肠(U)	肝胰脏(U)
蛋白酶	8.64 ± 0.54	38.97 ± 2.11	9.45 ± 1.02
脂肪酶	23.95 ± 0.85	36.42 ± 1.29	9.4 ± 0.97
淀粉酶	31.49 ± 1.67	40.04 ± 2.28	37.62 ± 2.53

3 结果与讨论

3.1 关于瓦氏黄颡鱼主要消化酶的最适 pH 问题

瓦氏黄颡鱼胃、前肠、肝胰脏的蛋白酶的最适 pH 分别为 2.30、8.5 和 8.90,脂肪酶的最适 pH 分别为 8.0、7.6 和 7.9,淀粉酶的最适 pH 分别为 7.2、7.9 和 7.6(图 1~图 3)。pH 是酶促反应的重要影响因素,pH 过高或过低,均能引起酶不可逆的变化和变性。因此,测定酶的最适 pH,可作为消化酶性质的一个指标。有胃硬骨鱼类中胃内蛋白酶起作用的最适 pH 值在 2~3 之间^[9]。鱼类肠蛋白酶的最适 pH 值大部分在 6.5~9.5,多为微碱性;胰蛋白酶最适 pH 值大多为 7.0~8.7,呈中性或弱碱性^[10]。鱼类脂肪酶其 pH 值为 7.0~8.0^[10]。鱼类胃淀粉酶的最适 pH 一般在 5~7,肠淀粉酶的最适 pH 一般在 5~8。肝胰脏淀粉酶的最适 pH 一般在 6~8^[11]。

草鱼、鲤、鲢、鳙肝胰脏和肠蛋白酶的最适 pH 值分别为 8.7、8.7、7.6、7.6 和 8.4、8.7、8.0、8.4^[12];淀粉酶的最适 pH 值分别为 6.4 和 6.4,6.4 和 6.4,7.2 和 6.8,7.2 和 6.8^[13]。鲈胃、肠道及胰脏的蛋白酶活力的最适 pH 值分别为 2.2、7.0 和 7.4;淀粉酶的活力的最适 pH 值分别为 7.0、7.4 和 7.0^[14]。南方大口鲈胃、胰脏和肠蛋白酶的最适 pH 值分别为 2.6、6.2 和 7.0,淀粉酶最适 pH 值分别为 5.0、6.4 和 7.0^[15]。黄颡鱼胃、肠、肝胰脏蛋白酶脂肪酶最适 pH 为 2.2、7.4、7.4^[16];肝胰脏、肠、胃淀粉酶最适 pH 分别为 6.8、6.8、6.4^[17]。瓦氏黄颡鱼不同组织不同消化酶的活性与前人研究结果基本相符合。

3.2 关于瓦氏黄颡鱼主要消化酶的最适温度问题

瓦氏黄颡鱼胃、前肠、肝胰脏的蛋白酶的最适反应温度分别为 50、50 和 65 °C,脂肪酶的最适反应温度分别为 45、50 和 35 °C,淀粉酶的最适反应温度分别为 30、30 和 35 °C(图 4~图 6)。一般认为,鱼类消化酶的最适温度在 30~60 °C,数值较为分散^[18-20]。鲢、鳙、草、鲤肠道和肝胰脏蛋白酶最适温度为 45~55 °C,淀粉酶为 30~35 °C,脂肪酶为 25~30 °C^[21]。鲈胃、肠道、胰脏中蛋白酶最适温度分别为 40 °C,44 °C,36 °C,淀粉酶的最适温度分别为 44 °C,40 °C,40 °C^[14]。南方大口鲈蛋白酶最适温度分别为 33 °C,39 °C 和 45 °C,淀粉酶最适温度分别为 45 °C,39 °C 和 41 °C^[15]。黄颡鱼的胃蛋白酶、肠蛋白酶、淀粉酶的最适温度分别为 35~40 °C、55~60 °C、35~40 °C^[22]。瓦氏黄颡鱼不同组织不同消化酶的活性与前人研究结果基本相符合。

从酶活的 Q_{10} 系数来看,在瓦氏黄颡鱼所能承受的温度范围内,酶活都显著增高($P < 0.05$)。瓦氏黄颡鱼的最适生长水温为 26~29 °C^[23]。所以,在瓦氏黄颡鱼适宜的生活水温下,可以考虑提高投饵量。当然,环境水温本身也会影响鱼类消化酶的分泌肠道的蠕动^[24]等鱼类的体内代谢。离体条件下所测得的消化酶最适温度只反映了消化酶的热稳定性和温度对酶活力的影响规律,并不能准确反映温度对消化率的影响情况。但是,由于在实验测定条件下,消化酶与底物反应时间(15~30 min)远小于食物在鱼类消化道内的停留时间,在最适温度下进行测定能够更好地反应鱼类消化酶的活力情况。

3.3 瓦氏黄颡鱼的营养消化与吸收

3.3.1 胃部

瓦氏黄颡鱼胃部淀粉酶与蛋白酶的比值(A/P)和淀粉酶与脂肪酶的比值(A/L)都较高。但是,在胃部淀粉酶与脂肪酶的 pH 均在碱性条件下(8.0、7.2)。在胃部的酸性条件下淀粉酶与脂肪酶的作用都非常小。所以,胃部主要是瓦氏黄颡鱼消化蛋白质的场所。

3.3.2 肝胰脏

肝胰脏是鱼类淀粉酶的中心生成器官^[19]。瓦氏黄颡鱼肝胰脏中淀粉酶与蛋白酶(A/P)和脂肪酶

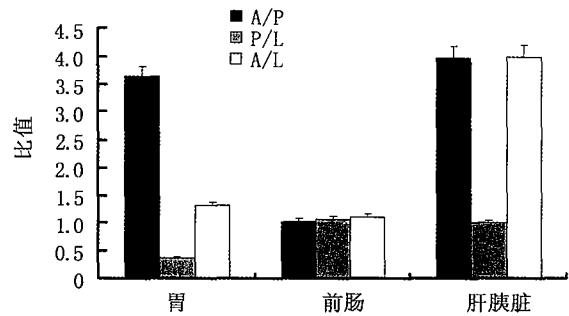


图 7 瓦氏黄颡鱼不同组织消化酶的比值
Fig. 7 Enzyme activities ratio in different digestive tracts of *Pelteobagrus vachelli*
淀粉酶(A),蛋白酶(P),脂肪酶(L)

(A/L)的比值都较高。这可能是由于肝脏是淀粉酶的生成器官的原因。

3.3.3 前肠

瓦氏黄颡鱼前肠蛋白酶、脂肪酶与淀粉酶在前肠中的最适 pH 均在碱性条件下,并且前肠中蛋白酶、脂肪酶与淀粉酶的活力显著高于胃与肝胰脏($P < 0.05$);所以前肠是瓦氏黄颡鱼主要进行消化吸收的场所。在通常情况下,淀粉酶的活力在杂食性鱼类与草食性鱼类中所占的消化酶活性比例大于肉食性鱼类^[25]。但是在有些肉食性或杂食性偏肉食性鱼类中,淀粉酶也表现出高于蛋白酶或略高于蛋白酶的水平,如:亚德里亚鲟(*Acipenser naccarii*)、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[26]、鲇(*Silurus asotus Linnaeus*)^[14]和翘嘴红鲌(*Erythroculter ilishaefoumis*)^[27]等。从瓦氏黄颡鱼前肠消化酶之间的比值来看。前肠中蛋白酶、脂肪酶与淀粉酶相互之间的比值均接近于1。所以,瓦氏黄颡鱼可以很好地利用各类营养物质。这验证了瓦氏黄颡鱼的食性是以动物性饵料为主的杂食性鱼类,主要以小鱼虾、昆虫稚幼虫为食,也摄食少量的低、高等植物碎片和种子^[28]。介于瓦氏黄颡鱼前肠有与蛋白酶,脂肪酶相同水平的淀粉酶。虽然在饲料中添加适量的蛋白质可以更好地促进瓦氏黄颡鱼的生长^[29],但是可以考虑以部分淀粉类原料进行蛋白质类原料的代替,来降低饲料的成本费用。

参考文献:

- [1] 成庆泰,郑葆珊. 中国鱼类系统检索[M]. 北京:科学出版社,1987:214,947.
- [2] 褚新洛,郑葆珊,戴定远,等. 中国动物志(硬骨鱼纲,鲇形目)[M]. 北京:科学出版社,1999:40-42.
- [3] 王武,王峰,张东升. 江黄颡鱼的生物学[J]. 内陆水产,2004,4:10-11.
- [4] 王武,刘利平,张克俭,等. 江黄颡鱼人工繁殖的初步研究[J]. 水产科技情报,2001,28(5):195-201.
- [5] 杨家云. 瓦氏黄颡鱼的繁殖生物学[J]. 西南师范大学学报(自然科学版),1994,19(6):639-645.
- [6] Lowry O H, Rosebrough N J, Farr A L, et al. Protein measurement with the Folin phenol reagent[J]. J Biol Chem, 1951, 193:265-275.
- [7] Bier M. Lipases; Methods in enzymology I[M]. New York: Academic Press, 1955:627-642.
- [8] 中山大学生物系生化微生物学教研室. 生化技术导论[M]. 北京:人民教育出版社,1979:57-59.
- [9] 尾崎久雄. 鱼类消化生理:下册[M]. 李爱杰,沈宗武,译. 上海:上海科学技术出版社,1985:548-556.
- [10] 张美红,胡重江,李英文. 水产动物消化酶特性的研究及其应用[J]. 中国饲料,2005,5:32-34.
- [11] 周景祥,陈勇,黄权,等. 鱼类消化酶的活性及环境条件的影响[J]. 北化大学学报(自然科学版),2001,2(1):70-83.
- [12] 倪寿文,桂远明,刘焕亮. 草鱼、鲤、鲢和尼罗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):160-168.
- [13] 倪寿文,桂远明,刘焕亮. 草鱼、鲤、鲢和尼罗非鲫淀粉酶活性比较[J]. 大连水产学院学报,1992,7(12):4-31.
- [14] 向泉. 鲇消化道主要消化酶活性及对饲料蛋白质酶解动力学研究[D]. 西南农业大学硕士论文,2002:2.
- [15] 叶元土,林仕梅,罗莉,等. 温度、PH值对南方大口鲶、长吻鲶蛋白酶和淀粉酶的影响[J]. 大连水产学院学报,1998,13(2):17-23.
- [16] 韩庆,夏维福,罗玉双,等. 黄颡鱼蛋白酶活性的研究[J]. 水利渔业,2004,24(6):6-7.
- [17] 陈章宝,郑曙明. 淡水白鲢、团头鲂、黄颡鱼主要消化酶活性研究[J]. 四川畜牧兽医学院学报,2001,15(3):10-15.
- [18] John E H. Fish nutrition[M]. California: Academic press Inc, 1987, (8):332-423.
- [19] 田宏杰. 温度和盐度对施氏鲟幼鱼消化酶活性影响的研究[D]. 上海水产大学硕士毕业论文,2006:5-7.
- [20] 谢一荣,吴锐全. 鱼类消化酶研究及其在水产养殖中的应用[J]. 广东饲料,2005,14(2):15-18.
- [21] 桂远明. 温度对草、鲤、鲢、鳙主要消化酶活性的影响[J]. 大连水产学院学报,1993,7(4):1-8.
- [22] 喻召德. 黄颡鱼消化酶的初步研究[D]. 华中农业大学硕士论文,2004.
- [23] 黄宁宇,夏连军,么宗利,等. 养殖密度和温度对瓦氏黄颡鱼幼鱼生长影响实验研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版),2005,24(3):208-212,248.
- [24] Flowerdew M W, Grove D J. Some observation of the effects of body weight, temperature, meal size and quality on gastric emptying time in turbot, *Scophthalmus maximus* (L.) using radiography[J]. J Fish Biol, 1979, 14:229-238.
- [25] Fange R, Grove D. Digestion[M]//Hoar W S, Randall D J, Brett J T. Fish Physiology, Bioenergetics and Growth. New York: Academic Press, 1979:161-260.
- [26] Furne M, Hidalgo M C, Lopez A, et al. Digestive enzyme activities in Adriatic sturgeon *Acipenser naccarii* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*[J]. A Comparative Study Aquaculture, 2005, 250:391-398.
- [27] 寿建昕,沈文英,祝尧荣. 翘嘴红鲌胃、肠道及肝胰脏主要消化酶活力的研究[J]. 水产科学,2007,26(2):99-102.
- [28] 蔡焯值,蔡焯强,何长仁. 瓦氏黄颡鱼生物学的初步研究[J]. 北京水产,2003,6:24-29.
- [29] 王武,石张东,甘炼. 江黄颡鱼幼鱼最适蛋白质需要量的研究[J]. 上海水产大学学报,2003,12(2):185-188.