

草鱼和青鱼消化酶的分布特性

刘忠义, 王璋

(江南大学食品科学研究所, 江苏无锡 214036)

摘要: 选择草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 和青鱼 (*Mylopharyngodon piceus*) 作试验鱼, 对它们消化道的酸性蛋白酶、碱性蛋白酶、淀粉酶以及三酰基甘油酯酶沿消化道及肝脏和胰腺中的活性分布进行了比较研究。研究表明: 这些酶在消化道中呈现不同的分布规律, 在肝脏和胰腺中酶的活性高于在消化道中相应酶的活性; 同种鱼不同消化酶的分布有所差别; 两种鱼消化组织中的各种酶活性分布规律也有差别; 青鱼和草鱼的主要消化酶在不同消化器官中的分布有较大差别。

关键词: 草鱼; 青鱼; 消化酶; 蛋白酶; 淀粉酶; 脂酶

中图分类号: Q48 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6907-(2006)01-0014-05

Distribution Patterns of Digestive Enzyme Activities in Grass Carp (*Ctenopharyngodon idellus*) and Black Carp (*Mylopharyngodon piceus*)

LIU Zhong-yi, WANG Zhang

(Institute of Food Science, Southern Yangtze University, Wuxi, JiangSu 214036)

Abstract: Grass carp (a herbivorous fish) and black carp (a carnivorous fish) were selected to investigate distribution patterns of their digestive enzymes including pepsin-like enzymes, trypsin-like enzymes, amylase and lipase along the intestine, liver and pancreas. The present investigations showed that these digest enzymes displayed different distribution patterns in digestive tract; the activities of the enzymes in liver and pancreas were higher than those in digestive tract. Different digest enzymes of the same species had different distribution patterns; the distribution patterns of the enzyme activities in digestive tissue of the two species are different; the distribution patterns of the main digest enzymes in different digestive organs of the two species were quite different.

Key words: grass carp; black carp; digest enzyme; protease; amylase; lipase

研究鱼类消化酶可以为制定鱼类合理饲养策略、改善鱼类饲养方法、降低饲养成本、提高产量提供必要的基础资料,同时对鱼类生理学等方面的研究也有重要意义。此外,鱼酶在许多领域有重要的潜在应用^[1]。国外对鱼类消化酶的研究进行得很早,1940年获得了第一个鱼胃蛋白酶结晶^[2]。最近,Natalia等研究了一种观赏性鱼消化酶的活性分布模型^[3],Tengjaroenkul等研究了尼罗罗非鱼消化酶的分布模型^[4],Sidell等人调查了南极洲鱼体组织中三酰基甘油酯酶的活性^[5]。之前,Einarsson等研究了大西洋大麻哈鱼中胃蛋白酶原、胰蛋白酶原以及胰凝乳蛋白酶原分泌细胞的定位和超微结

构^[6]。有关这些方面文献非常多,但是大多数是以海鱼作为研究对象。国内对这方面的研究起步比较晚,但也取得不少成果。如吴婷婷等广泛调查了十种主要养殖淡水鱼的消化酶活性分布^[7],周景祥等研究了鲤等三种鱼的消化酶的分布^[8],席峰等研究了大黄鱼发育进程中消化酶的活性变化^[9]。我们选择草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 和青鱼 (*Mylopharyngodon piceus*) 做对象,研究它们的主要消化酶在组织中的分布情况。我们研究的目的是有以下几点:①找出这两种鱼的主要消化酶在不同消化器官中的分布情况,比较其异同,为这两种鱼制定合理饲养策略、改善饲养方法、降低饲养成本、提高产量提

供可供参考的基础资料;②为研究青鱼的生活习性提供一些参考资料;③为深入研究消化蛋白酶的生物学特性及其可能的应用做必要的准备,寻找更好利用渔业加工废物的途径。

1 材料和方法

1.1 实验鱼和试剂

草鱼、青鱼采购于无锡市青山市场,为本地养殖的淡水鱼。均完全成年,体重 2000 ~ 2500 g。鱼购回后,立即取出内脏,清理干净,将鱼肠内容物清除后按长度基本等分为前、中、后三段,并将肝和胰腺取下,将同种鱼的相同组织合并到一起称重。

实验所用试剂均为分析纯级或生化专用试剂。

1.2 粗酶提取

在鱼组织加入适量预先冷却到 4 °C 的去离子水,用高速组织破碎机匀浆,置于 4 °C 冰箱中保持一定时间,然后在 4 °C、11000 r/min 下离心 30 min,取上清液置于冰箱中待用(不超过 12 h)。

1.3 酶活力测定

所有实验均做 4 个平行和 2 个空白。

1.3.1 蛋白酶活力测定

基本上按福林-酚法。

1.3.1.1 酸性蛋白酶(包括胃蛋白酶: E. C. 3. 4. 23. 1 等)活力测定^[3,7]

用 0.5% 的酪蛋白溶液(使用时用 0.1 mol/L 的 HCl 调整到 pH 2)作底物。酶液先在 25 °C 左右、pH 2 的条件下活化 30 min。活化后的酶液 2 mL 加入底物溶液 2 mL, 37 °C 保温 10 min, 加入 4 mL 5% 的三氯乙酸终止反应。在 680 nm 处测定三氯乙酸可溶物与福林试剂反应产物的吸光度。酶活力单位定义为: 每分钟每克组织中所含蛋白酶水解酪蛋白产生 1 μg 酪氨酸为 1 个酶活性单位。

1.3.1.2 碱性蛋白酶(包括胰蛋白酶: E. C. 3. 4. 21. 4 和胰凝乳蛋白酶: E. C. 3. 4. 21. 1 等)活力测定^[3,7]

用含 0.02 mol/L 的 CaCl₂ 的 0.05 mol/L 的 Tris-HCl 缓冲溶液(pH 8.5)溶解的 0.5% 酪蛋白溶液作底物。组织粗酶液 2 mL 加入底物溶液 2 mL, 37 °C 保温 10 min, 加入 4 mL 5% 的三氯乙酸终止反应。在 680 nm 处测定三氯乙酸可溶物与福林试剂反应产物的吸光度。酶活力单位定义为: 每分钟每克组织中所含蛋白酶水解酪蛋白产生 1 μg 酪氨酸为 1 个酶活性单位。

1.3.2 淀粉酶(E. C. 3. 2. 1. 1)活力测定^[3,7]

用溶解于 0.02 mol/L 的 pH 6.9 的磷酸盐缓冲溶液的 1% 的淀粉作底物。1 mL 底物溶液与 1 mL 粗酶液混合后 35 °C 保温 3 min, 然后加入 2 mL 1% 的二硝基水杨酸试剂, 在沸水浴中保温 5 min, 立即冷却, 于 540 nm 处测定吸光度。用麦芽糖制作标准曲线。酶活力以每克组织中所含酶每分钟所释放的麦芽糖的微摩尔数表示。

1.3.3 三酰基甘油酯酶(E. C. 3. 1. 1. 3)活力测定^[8]

用 4% 的聚乙烯醇橄榄油乳化液做底物。乳化油 2 mL 加入 3 mL pH 8.0 的 0.1 mol/L 的 Tris-HCl 缓冲溶液, 再加入 1 mL 粗酶液, 37 °C 保温 6 h, 立即加入 9 mL 95% 的乙醇终止酶反应, 用 1% 的酚酞作指示剂, 用 0.05 mol/L 的 NaOH 溶液滴定至终点。粗酶液先加乙醇作为空白。以中和保温期间所释放的脂肪酸所消耗的 0.05 mol/L 的 NaOH 溶液的毫升数表示每克组织所含酶的酶活力。

2 实验结果

2.1 青鱼和草鱼不同组织中酸性蛋白酶的分布

草鱼和青鱼的消化道以及肝胰组织中的酸性蛋白酶(包括胃蛋白酶、组织蛋白酶等)活性及其分布见图 1。青鱼和草鱼都属于鲤科鱼, 无胃, 连接

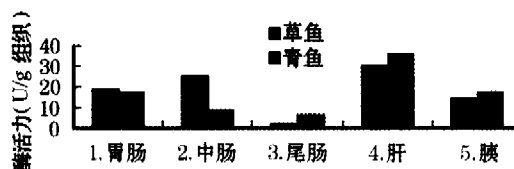


图1 青鱼和草鱼不同组织中的胃蛋白酶类酶的分布
Fig. 1 Mean acidic protease activities in different digestive tissues of grass carp and black carp

咽部的肠膨大, 起胃的作用, 故将鱼消化道按长度等分为胃肠、中肠和尾肠三个部分。青鱼没有完整的胰腺, 草鱼有完整的胰腺。草鱼酸性蛋白酶的活性分布顺序为: 肝(35.80 ± 2.73) > 胃肠(17.20 ± 0.70) > 胰(17.00 ± 1.82) > 中肠(8.80 ± 0.08) > 尾肠(6.49 ± 0.14), 草鱼肠道的酸性蛋白酶分布相对比较均匀, 在尾肠中也有较高的酶活性; 草鱼胃肠和中肠(及尾肠)的酶活性有显著差别($P < 0.05$), 中肠和尾肠之间没有显著差别, 胰和胃肠之间的酶活性没有显著差别, 肝和胰、肝和胃肠之间的酶活性存在显著差别(均 $P < 0.05$)。青鱼酸性蛋白酶的活性分布顺序为: 肝(30.20 ± 1.82) > 中肠(24.80 ± 0.53) > 胃肠(18.60 ± 0.70) > 胰

(14.10 ± 1.52) > 尾肠 (2.07 ± 0.07), 青鱼肠道的酸性蛋白酶分布相对比较集中在胃肠和中肠, 在尾肠中基本上没有酶活性; 青鱼胃肠、中肠和尾肠之间的酶活性(任意两种相比较)存在显著差别 ($P < 0.05$), 尾肠的酶活性极低, 胰和胃肠没有显著差别, 肝和胰的酶活性有显著差别 ($P < 0.05$)。对比青鱼和草鱼, 青鱼胃肠、中肠和肝的酶活性大于草鱼, 而青鱼尾肠和胰的酶活性低于草鱼; 两种鱼的胃肠之间没有显著差别, 青鱼胃肠的酶活性略高, 中肠以及尾肠之间有显著差别, 青鱼中肠的酶活性大大高于草鱼, 但是青鱼尾肠的酶活性大大低于草鱼, 肝、胰组织的酶活性没有显著差别, 草鱼肝和胰的酶活性均高于青鱼。

2.2 青鱼和草鱼不同组织中碱性蛋白酶的分布

草鱼和青鱼的消化道以及肝胰组织中的碱性蛋白酶(包括胰蛋白酶、胰凝乳蛋白酶以及其他丝氨酸蛋白酶)活性及其分布见图2。草鱼各消化组织的碱性蛋白酶活性分布为: 胰 (112.30 ± 5.80) > 肝 (79.75 ± 3.82) > 中肠 (34.30 ± 0.80) > 胃肠 (32.40 ± 0.52) > 尾肠 (32.10 ± 0.65); 草鱼肠道总的碱性蛋白酶的活性分布呈均匀分布趋势, 相互之间差别不大, 草鱼肝和胰的酶活力显著高于肠道, 而胰的酶活力又远高于肝。青鱼各消化组织的碱性蛋白酶活性分布为: 胰 (122.40 ± 4.90) > 中肠 (68.00 ± 3.65) > 肝 (56.40 ± 1.22) > 胃肠 (37.00 ± 1.51) > 尾肠 (21.60 ± 0.95); 和草鱼不同, 青鱼肠道的总的碱性蛋白酶的活性呈不均匀分布, 以中肠的活性最高, 尾肠的活性最低, 但是尾肠也有相当可观的酶活力。青鱼胃肠和中肠、胃肠和尾肠、中肠和尾肠之间碱性蛋白酶活性有显著差别 ($P < 0.05$), 中肠与肝的酶活力没有显著差别, 胰与肠道的酶活性差别非常显著 ($P < 0.01$)。对比青鱼和草鱼, 其胃肠的酶活力差别不大, 尾肠的差别较大, 中肠差别最大(青鱼远高于草鱼), 两种鱼的胰腺中酶活力差别不太大, 青鱼略高于草鱼, 但是草鱼肝中酶活力远高于青鱼。

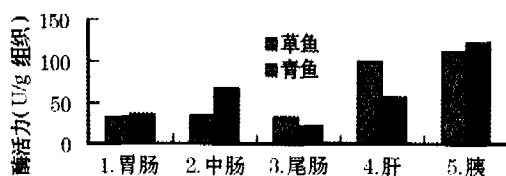


图2 青鱼和草鱼不同组织的胰蛋白酶类酶活性分布
Fig. 2 Mean alkaline protease activities in different digestive tissues of grass carp and black carp

2.3 青鱼和草鱼不同组织中淀粉酶的分布

两种鱼不同组织中的淀粉酶活性分布见图3。两种鱼均有很高的淀粉酶活力。青鱼各消化组织的淀粉酶活性均高于草鱼, 且差异均显著, 其中中肠、尾肠及胰腺的酶活力差异非常显著。青鱼各消化组织的淀粉酶活力分布顺序为: 胰 > 肝 > 中肠 > 尾肠 > 胃肠, 草鱼各消化组织的淀粉酶活力分布顺序为: 肝 > 胰 > 胃肠 > 中肠 > 尾肠, 虽然草鱼尾肠的酶活力是所有消化组织中最底的, 但是依然有可观的淀粉酶活性。

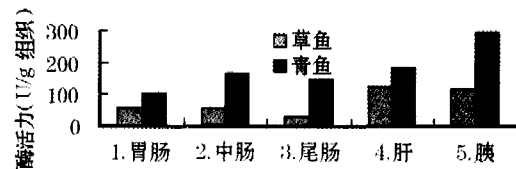


图3 青鱼和草鱼不同组织的淀粉酶分布
Fig. 3 Mean amylase activities in different digestive tissues of grass carp and black carp

2.4 青鱼和草鱼不同组织中三酰基甘油酯酶的分布

对两种鱼的三酰基甘油酯酶活力的实验研究结果见图4。和前面几种酶的分布相似, 二种鱼的三酰基甘油酯酶活力分布态势有所不同。青鱼各消化组织的酶活分布顺序为: 胰 > 肝 > 胃肠 > 尾肠 > 中肠, 青鱼肠道中脂酶活性主要存在于胃肠段, 尾肠活性高于中段, 即肠道中脂酶活性呈前后高中间低的分布态势, 胰腺脂酶活性比肝高, 胰腺和肝的脂酶活性高于肠道; 草鱼各消化组织的酶活分布顺序为: 肝 > 胰 > 胃肠 > 中肠 > 尾肠, 草鱼肠道中脂酶活性呈前高后低均匀下降趋势, 草鱼肝脂酶活性略高于胰腺, 这两个消化组织的脂酶活性均高于肠道。

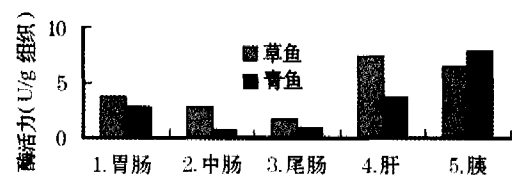


图4 青鱼和草鱼不同组织的三酰基甘油酯酶的活性分布
Fig. 4 Mean lipase activities in different digestive tissues of grass carp and black carp

3 讨论

3.1 酸性蛋白酶

一般认为鱼消化道的酸性蛋白酶主要存在于鱼胃中, 其次是肠中段, 肠的尾部基本上没有酸性蛋白酶。Einarsson 等用免疫定位技术研究大西洋大

麻哈鱼的酶分泌细胞时发现, 在鱼胃里有大量分泌胃蛋白酶的腺细胞^[6]。Natalia 等^[3]对红龙 (*Scleropages formosus*) 的研究表明这种观赏性鱼的消化道酸性蛋白水解酶活性主要存在于胃部; Tengjaroenkul 等^[4]研究了罗非鱼 Nile tilapia 的消化酶的分布模型同样表明肠道末端基本上没有酶活性 (包括淀粉酶、肽酶、脂酶和蛋白酶等); 同样的研究在很多海鱼的研究中可以找到^[10-13]。但是, 这些研究都是针对有胃鱼而言, 而草鱼和青鱼是无胃的鲤科鱼。Fraisie 等^[14]对有胃的鲶和无胃的鲤的几种消化酶的分布研究表明, 有胃的鲶消化道中消化酶活性分布确实呈前高后低的态势, 肠道尾部的酶活力远低于前端和中部; 而无胃的鲤则呈基本均匀分布的趋势。国内吴婷婷等^[7]对青鱼和鲤等的研究表明这两种鱼的后肠蛋白酶的活性高于前、中肠。我们的研究结果是: 青鱼消化道酸性蛋白水解酶活性呈前高后低的分布态势, 且主要集中在中、前部; 草鱼消化道酸性蛋白水解酶活性则呈相对均匀分布的态势, 前段高于中、后段。这一结果基本上与 Fraisie 等^[14]的研究相符。如果考虑到这两种鱼的食性, 这是一个很合理的结果。草鱼虽然以草为主要食物, 但是在草鱼的生长发育中, 主要还是利用蛋白质, 由于食物中蛋白质含量相对较低, 食物体积较大, 因此, 要充分利用食物中的蛋白质, 草鱼必须利用其整个消化道, 故其肠道中酸性蛋白酶活性呈前高后低、相对均匀分布的态势。青鱼是肉食性鱼, 其食物体积较小, 食物中蛋白质含量高, 所以青鱼的肠道比草鱼短, 其酶活性分布规律自然不同于草鱼, 而与肉食性的其它鱼相似。

3.2 碱性蛋白酶

所有哺乳动物的消化道和胰腺等组织都分泌碱性蛋白酶。许多研究表明鱼的消化道和胰腺等消化组织分泌胰蛋白酶和胰凝乳蛋白酶^[3-5,12,14]。Einarrsson 等用免疫定位技术研究大西洋大麻哈鱼的酶分泌细胞时发现: 在鱼的肠道和胰腺中有大量分泌胰蛋白酶原和胰凝乳蛋白酶原的腺细胞^[6]。Natalia 等^[3]对红龙 (*Scleropages formosus*) 的研究表明这种观赏性鱼的消化道和胰腺中有 6~8 种碱性蛋白水解酶, 其相对分子质量为 16800~97000 道尔顿, 其中 4 种高分子的酶是金属蛋白酶, 三种低分子的丝氨酸蛋白酶中, 分子质量为 42100 道尔顿的是胰蛋白酶, 32300 道尔顿的是胰凝乳蛋白酶。这些研究同时指出, 鱼胰腺和幽门盲肠中的碱性蛋白酶活性高于胃肠道。所以, 在我们从青鱼和草鱼的消化

组织中检出的碱性条件下的酪蛋白分解活性不能肯定全部来源于胰蛋白酶和胰凝乳蛋白酶, 应该有多种酶存在, 这有待进一步研究。

和酸性蛋白酶的分布略有区别, 草鱼肠道中碱性蛋白酶的分布基本上是均匀的, 整个肠道中的活性分布基本上相同。而青鱼肠道中的碱性蛋白酶的分布以中段最高, 其尾部酶活虽然相对比较低, 但也表现出很高活性, 这一点显著不同于酸性蛋白酶。和酸性蛋白酶一样, 两种鱼的胰和肝中有高于肠道任何一段的酶活性。这一结果和吴婷婷等^[7]的研究结果有很大不同, 也不同于周景祥等^[8]的研究结果。两种鱼之间的比较表明, 它们消化组织中的碱性蛋白酶的分布规律不同, 青鱼肠道和肝中的酶活性高于草鱼, 尤其是中肠段, 而草鱼尾肠段和胰中的酶活性高于青鱼。基于和酸性蛋白酶中所讨论的同样的理由, 我们认为我们的研究结果是合理的。显然, 草鱼和青鱼酶活性的不同与其种类和食性有关。

3.3 淀粉酶

有研究认为鱼消化道中的淀粉酶是一种可诱导酶^[14]。这些研究基本上认为肉食性鱼的淀粉酶活性低于草食性鱼, 胰腺中淀粉酶活性高于肠道。Natalia^[3], Tengjaroenkul^[4]等的研究认为在中性 pH 值时可以检测到最高的淀粉酶活性。此外, 周景祥等在中性 pH 值检测到鲤消化组织中的高淀粉酶活性, 吴婷婷等则在肉食性的鳊消化组织中检测到大大高于草食性草鱼和鲤的淀粉酶活性, 而席峰等则在大黄鱼淀粉酶检测中发现在 pH 4.6 时有高淀粉酶活性。我们中性 pH 值 (pH 6.9) 时检测到青鱼和草鱼的消化组织中存在很高的淀粉酶活性。就我们的实验来看, 二种鱼消化组织中的淀粉酶活性分布显示出基本相同的规律, 在肠道中基本上沿整个肠道均匀分布, 肝和胰腺中的酶活性远高于肠道。这一结果符合周景祥等^[8]的研究, 但是与吴婷婷等^[7]的研究有较大差别。Fraissi 等^[14]对鲤中麦芽糖酶的研究也表明糖酶沿肠道基本均匀分布。

对比二种鱼的淀粉酶活性, 我们发现青鱼各消化组织中的酶活性均大大高于草鱼。这一点与以前的研究结论有出入。一般认为肉食性鱼的淀粉酶活性低于草食性鱼, 但是吴婷婷等^[7]的研究表明, 肉食性的鳊消化组织中的淀粉酶活性大大高于草食性草鱼和鲤。我们认为, 除了鱼种类本身的差别外, 饲养条件起着至关重要的作用。Fraissi 等^[14]的研究早已表明饲养条件对鱼淀粉酶活性有极其重要的影响。

3.4 三酰基甘油酯酶

在鱼类的生活中,脂肪占有重要的地位。Sidell等^[5]对南极洲鱼三酰基甘油酯酶活性的研究表明,南极洲鱼类脂肪代谢或者燃烧提供足够的代谢能以维持鱼类的生长繁殖以及抗寒。Erickson等^[15]对河道鲶脂肪的研究得出同样的结论。青鱼和草鱼是多年生鱼,脂肪是这些鱼过冬的重要能量储备。

以前的研究中许多研究者采用三丁酸甘油酯作为三酰基甘油酯酶的底物^[5]。可是,三丁酸甘油酯并不是脂酶的特异性底物,也能被非特异性酯酶水解。我们采用乳化橄榄油作底物。Tengjaroenkul等^[4]的研究表明尼罗罗非鱼中,脂酶主要分布在消化道的中前部。而Natalia等^[3]则证明骨舌鱼消化组织中有广泛的脂酶活性分布,并且认为与鱼的食物供给中的碳水化合物及脂肪含量有关,在吴婷婷等^[7]的研究中,青鱼和草鱼肠道的脂酶活性高于肝,且后肠的活性大于中前肠。本研究表明草鱼和青鱼的肝和胰腺的脂酶活性高于肠道。草鱼肝的活性最高,而青鱼胰腺的脂酶活性最高。二种鱼的肠道前段(胃肠段)的活性均大于中后段。显然,这些差别部分与饲养方案有关,部分则与所用的研究方法有关。由于脂酶与食物组成有关,因此,可以根据季节的变化调整饲料组成,以求达到最大的喂饲效率,如在春夏季适当减少饲料中脂肪比率,而在进入寒冷季节前加大饲料中脂肪以及碳水化合物的比率,以使鱼体贮藏足够的脂肪过冬。

4 结论

(1)在青鱼和草鱼各消化器官中均检出酸性蛋白酶、碱性蛋白酶、淀粉酶和三酰基甘油酯酶的活性。上述主要消化酶在二种鱼的消化器官中有各自不同的分布。这些酶在二种鱼的肝和胰腺中活性比肠道高许多,表明肝和胰腺在二种鱼的消化及代谢过程中有非常重要的作用。

(2)上述消化酶沿青鱼和草鱼的整个肠道分布,尤其草鱼基本上显示均匀分布态势。这提示我们,草鱼的整个肠道都在发挥消化作用,这与其他鱼的研究结果有所不同,或许,这是草鱼快速生长的原因之一。虽然青鱼肠道后部的酶活性比较低,但也存在一定的酶活,但是酸性蛋白酶例外(这种酶在后段肠中的活性极低,这与其食性有关)。

(3)二种鱼的消化器官中存在很高的淀粉酶活

性。由于这些酶具有食物诱导性,表明在这些鱼的饲料中碳水化合物和脂肪的比例比较高,为了提高饲养效率,可以根据季节变化适当调整饲料组成。

参考文献:

- [1] Shahidi F, Janak Kamil Y V A. Enzymes from fish and aquatic invertebrates and their application in the food industry [J]. Trends Food Sci Technol, 2001, 12(12): 435~464.
- [2] Norris F R, Elam D W J. Preparation and properties of crystalline salmon pepsin [J]. J Biol Chem, 1940, 134: 443~453.
- [3] Natalia Y, Hashim R, Ali A, et al. Characterization of digestive enzymes in a carnivorous ornamental fish, the Asian bony tongue *Scleropages formosus* (Osteoglossidae) [J]. Aquaculture, 223: 305~320.
- [4] Tengjaroenkul B, Smith B J, Caceci T, et al. Distribution of intestinal enzyme activities along the intestinal tract of cultured Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Aquaculture, 2000, 182: 317~327.
- [5] Sidell B D, Hazel J R. Triacylglycerol lipase activities in tissues of Antarctic fishes [J]. Polar Biol, 2002, 25: 517~522.
- [6] Einarsson S, Davis P S. On the localization and ultrastructure of pepsinogen, trypsinogen and chymotrypsin secreting cells in the Atlantic salmon, *Salmo salar* L [J]. Comp Biochem Physiol, 1996, 114 B: 295~301.
- [7] 吴婷婷,朱晓鸣. 鳊、青鱼、草鱼、鲤、鲫、鲢消化酶活性的研究 [J]. 中国水产科学. 1994, 1: 10~17.
- [8] 周景祥,余涛,黄权,等. 鲤鱼、黄颡鱼和大眼鲈鲂消化酶活性的比较研究 [J]. 吉林农业大学学报. 2001, 23: 94~96.
- [9] 席峰,林利民,王志勇. 大黄鱼发育进程中消化酶的活力变化 [J]. 中国水产科学. 2003, 10: 301~304.
- [10] Glass H J, Macdonald N L, Moran R M, et al. Digestion of protein in different marine species [J]. Comp Biochem Physiol, 1989, 94B: 607~611.
- [11] Ash R. Hydrolytic capacity of the trout (*Salmo gairdneri*) intestinal mucosa with respect to three specific dipeptides [J]. Comp Biochem Physiol, 1980, 65B: 173~176.
- [12] Chiu S T, Pan B S. Digestive protease activities of juvenile and adult eel (*Anguilla japonica*) [J]. Aquaculture, 2002, 205: 141~156.
- [13] Sabapathy U, Teo L H. A quantitative study of some digestive enzyme in the rabbitfish, *Siganus canaliculatus* and the sea bass, *Lates calcarifer* [J]. J Fish Biol, 1993, 42: 595~602.
- [14] Fraissi M, Woo N Y S, Noailla-Depeyre J, et al. Distribution pattern of digestive enzyme activities in the intestine of the catfish (*Ameiurus nebulosus* L) and of the carp (*Cyprinus carpio* L) [J]. Comp Biochem Physiol, 1981, 70A: 443~446.
- [15] Erickson M C. Variation of lipid and tocopherol composition in three strains of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. J Sci Food Agric, 1992, 59: 529~536.