DOI: 10.12131/20210191 文章编号：2095－0780－（2022）03－0163－07

·研究简报·

黄鳍金枪鱼体质量与消化酶和免疫相关酶活性的关系研究

周胜杰[1,2,3]，杨 蕊[1,2,3]，于 刚[2,3]，马振华[1,2,3]

1. 中国水产科学研究院南海水产研究所热带水产研究开发中心，海南 三亚 572018
2. 农业农村部外海渔业可持续利用重点实验室，广东 广州 510300
3. 三亚热带水产研究院，海南 三亚 572018

摘要：为积累黄鳍金枪鱼（*Thunnus albacares*）幼鱼陆基循环水养殖基础数据，测定了不同体质量的黄鳍金枪鱼幼鱼血清、肌肉、肝脏、胃、肠道等组织的酸性磷酸酶（ACP）、碱性磷酸酶（AKP）、淀粉酶、脂肪酶、蛋白酶等活性。结果显示，ACP活性在各组织中由高至低为肠道>肌肉>肝脏>血清，AKP活性则为肠道>肝脏>肌肉>血清。随着体质量的增加，ACP活性在肌肉、肠道和肝脏组织中差异较小，而AKP活性在肝脏中呈逐渐上升的趋势，且相邻两组间差异显著（P<0.05），其在肠道、肌肉中呈波动性变化；黄鳍金枪鱼幼鱼消化酶活性整体稳定，组间差异不显著（P>0.05），仅在体质量达1 000 g时肠道胰蛋白酶活性显著下降（P<0.05），随后小范围浮动，组间差异不显著（P<0.05）。综上，ACP和AKP活性在黄鳍金枪鱼幼鱼组织中较高且稳定，这种稳定的高活性模式可保证机体对磷（P）高效分解、吸收、再利用，提供对外源物的持续免疫力；黄鳍金枪鱼在养殖期间营养需求稳定，且蛋白质需求旺盛。

关键词：黄鳍金枪鱼；酸性磷酸酶；碱性磷酸酶；消化酶；免疫相关酶

中图分类号：S 917.4 **文献标志码：**A **开放科学（资源服务）标识码（OSID）：**

Relationship between body mass and activities of digestive enzymes and immune-related enzymes of juvenile yellowfin tuna (*Thunnus albacares*)

ZHOU Shengjie[1,2,3], YANG Rui[1,2,3], YU Gang[2,3], MA Zhenhua[1,2,3]

1. *Tropical Fisheries Research and Development Center, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Sanya* 572018, *China*
2. *Key Laboratory for Sustainable Utilization of Open-sea Fishery, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou* 510300, *China*
3. *Sanya Tropical Fisheries Research Institute, Sanya* 572018, *China*

Abstract: In order to accumulate the land-based recirculating aquaculture basic data of juvenile yellowfin tuna (*Thunnus albacares*), we studied the activities of acid phosphatase (ACP), alkaline phosphatase (AKP), amylase, lipase and protease in the serum, muscle tissue, liver, stomach, intestine and other tissues of the juveniles of different body mass. The ACP activity showed a descending order of intestine>muscle>liver>serum, while the AKP activity showed a descending order of intestine>liver>muscle>serum. With the increase of body mass, there was little difference in the ACP activity in muscle, intestine and liver, while the AKP activity in liver increased gradually, and there was significant difference between the two adjacent groups (P<0.05). In general, the digestive enzyme activity of the larvae was stable, without significant difference between the groups (P>0.05). Only

收稿日期：2021-07-02；**修回日期：**2021-10-13

基金项目：海南省重大项目资助（ZDK2021011）；中国水产科学研究院基本科研业务费资助（2020XT0301, 2020TD55）；广西创新驱动发展专项资金项目（桂科 AA18242031）

作者简介：周胜杰（1990—），男，助理研究员，硕士，从事海水鱼类繁育与深远海养殖研究。E-mail: zhousj_1704@126.com

通信作者：马振华（1981—），男，研究员，博士，从事海水鱼类繁育与深远海养殖研究。E-mail: zhenhua.ma@hotmail.com

when the body mass reached 1 000 g, the intestinal trypsin activity decreased significantly ($P<0.05$), and then floated in a small range, without significant difference between the groups ($P<0.05$). In conclusion, the ACP and AKP activities are high and stable in the tissues of juvenile *T. albacares*, which ensures stable functions for the decomposition, absorption and reuse of phosphorus (P) and immunity to external substances; during the breeding period of *T. albacares*, the nutritional demand is stable and the protein demand is strong.

Keywords: *Thunnus albacares*; Acid phosphatase; Alkaline phosphatase; Digestive enzyme; Immune related enzymes

黄鳍金枪鱼 (*Thunnus albacares*) 属硬骨鱼纲、辐鳍鱼亚纲、鲈形目、鲭亚目、鲭科、金枪鱼属，是名贵的海洋暖水性上层鱼类。因其背鳍和臀鳍呈黄色 (成年后尤为明显) 而得名，属于金枪鱼中产量最高的一种。黄鳍金枪鱼具有高度洄游的特性，广泛分布于世界三大洋的热带和温带水域，最大体长可达 3 m，体质量可达 225 kg。因营养价值丰富、味道鲜美可口而深受消费者喜爱[1]。目前，关于黄鳍金枪鱼的研究主要集中在营养成分、捕捞、鱼群分布、开发利用、保鲜运输等方面。澳大利亚、日本、墨西哥、巴拿马等国已开展黄鳍金枪鱼的网箱养殖作业并取得良好效果[2-9]。我国关于黄鳍金枪鱼养殖研究的公开报道较少。Ma 等[10] 研究了美济礁深水网箱养殖的黄鳍金枪鱼幼鱼驯化过程中摄食水深的变化；方伟等[11] 开展了 5 月龄黄鳍金枪鱼幼鱼形态性状对体质量的相关性及通径分析。目前黄鳍金枪鱼养殖方式主要为网箱养殖，养殖所需幼鱼主要来自于野生苗种诱捕。我国黄鳍金枪鱼网箱及陆基循环水驯化养殖技术仍处于起步阶段[12]。

高价值经济鱼类新品种的开发需要详细的基础研究数据，体质量能反映同批鱼苗的生长状况，通常用作优质品种选育的常规手段[13-16]。鱼类为低等变温脊椎动物，特异性免疫力较低，主要依靠非特异性免疫对外来入侵病原生物、异物或机体产生的有害物质进行清除[17]，因此非特异性免疫对其生存具有重要意义[18]。而免疫相关酶的活性变化能够有效反映黄鳍金枪鱼幼鱼免疫能力的变化。鱼体肠道在营养物质的消化和吸收中发挥着重要作用，消化酶活性与鱼类消化系统的功能相适应[19]，在一定程度上反映了鱼体消化道的生理状态，鱼体内消化酶活性及其肠道的形态结构受到多种因素影响[20]。有研究表明，投喂策略、投喂饵料种类、发育阶段等均会影响鱼体内的消化酶活性[20-21]。因此测定不同体质量黄鳍金枪鱼幼鱼的各种消化酶活性对研究其食性偏好有重要意义。目前关于黄鳍金枪鱼幼鱼陆基循环水养殖的基础数据较少，尚未见不同体质量黄鳍金枪鱼幼鱼酶活指标差异的研究。本研究测定了不同体质量黄鳍金枪鱼幼鱼的基础数据，为其陆基养殖积累基础数据，有利于构建设施化金枪鱼养殖技术体系，为我国后续开展金枪鱼深远海养殖和陆基循环水养殖推广奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料来源

黄鳍金枪鱼幼鱼共 60 尾，由中国水产科学研究院深远海养殖技术与品种开发创新团队于 2020 年 11 月—2021 年 2 月在海南陵水黎族自治县新村镇附近海域诱捕，并转运至基地后进行驯化养殖，驯养池规格为长 8.6 m×宽 5.6 m×高 2.8 m。各项水质指标为：水温 (22.5±0.5) ℃，溶解氧质量浓度>8.50 mg·L^{-1}，pH 7.93±0.12，盐度 33，氨氮<0.1 mg·L^{-1}，亚硝态氮质量浓度<0.1 mg·L^{-1}，实验用鱼体质量 410~2 580 g。驯化期间投喂新鲜杂鱼。

1.2 实验设计

经过 1 个月的驯养，野生黄鳍金枪鱼幼鱼能正常摄食人工投料视为驯化成功。驯化成功后，将其按照体质量分为 4组 [500 g (250~750 g)、1 000 g (750~1 250 g)、1 500 g (1 250~2 000 g)、2 500 g (2 000~3 000 g)]，每组 15 尾，每组随机抽取 5 尾进行麻醉。黄鳍金枪鱼幼鱼使用丁香酚 (10~30 μg·L^{-1}) 麻醉后，用一次性注射器 (注射器用抗凝剂肝素润洗) 从幼鱼尾部抽取血液样品 (每尾取血 4 mL) 并按照比例加入抗凝剂 [(每 mL 血液肝素用量为 (15±2.5) U]，于 4 ℃ 保存并静置 30 min，然后用台式高速冷冻离心机 (型号 EXPERT 18K-R) 4 ℃、3 000 r·min^{-1} 离心 10 min。提取上清液后测定血液样品酶活。采血完成后的黄鳍金枪鱼幼鱼解剖取肌肉、胃、前肠、肝脏等组织用于样品测定。测定酸性磷酸酶 (ACP)、碱性磷酸酶 (AKP)、淀粉酶、脂肪酶、蛋白酶等数据，数据精确到小数点后两位。

1.3 样品处理

称量各实验组样品后，与 0.2 mol·L^{-1} 生理盐水按指定比例进行研磨，研磨液 2 ℃，研磨后 4 ℃、15 000 r·min^{-1} 离心 10 min，取上清，置于−80 ℃ 备测，各消化酶及免疫酶活性分别采用相关试剂盒进行测定 (南京建成生物工程研究所)。本实验中酶活性以每毫克可溶解蛋白酶活性值 (U·mg^{-1})、每克可溶解蛋白酶活性值 (U·g^{-1})、每升可溶解

蛋白酶活性值 ($U·L^{-1}$) 表示。

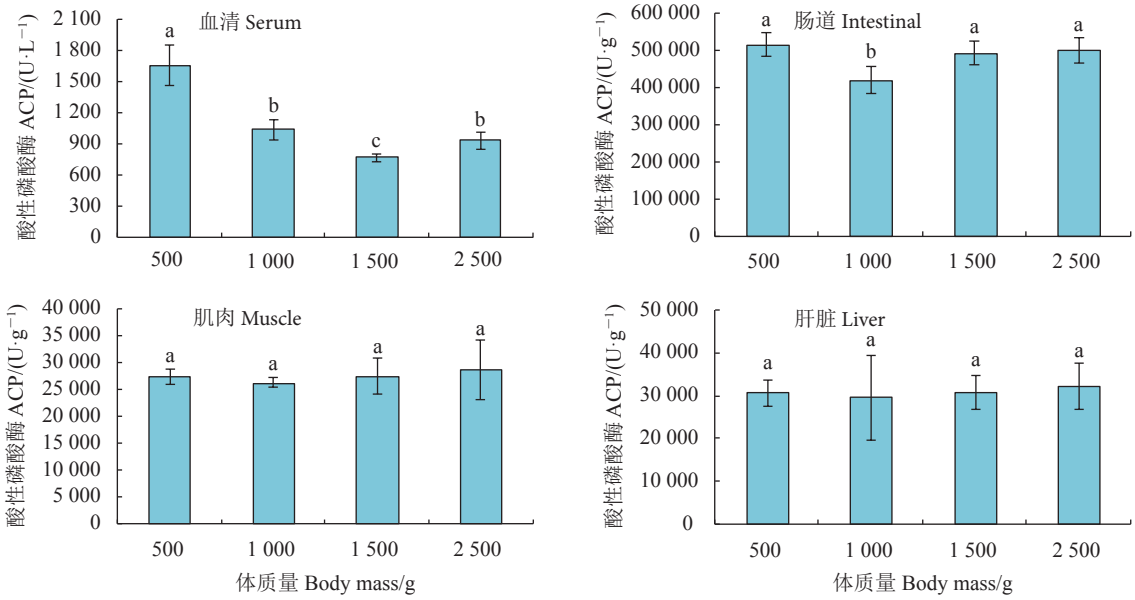
1.4　数据统计分析

采用 Excel 2010 软件整理数据并作图，利用 SPSS 19.0 软件进行显著性差异分析，$P<0.05$ 为差异显著。

2　结果

2.1　不同体质量黄鳍金枪鱼幼鱼 ACP 活性差异

不同体质量的黄鳍金枪鱼幼鱼不同组织中的 ACP 活性存在一定差异，均表现为肠道>肌肉>肝脏>血清 (图 1)。血清中的 ACP 活性在体质量 500 g 时达到最高 [(1 655.99±194.95) $U·L^{-1}$]，而后随着体质量的增加逐渐降低，而当体质量达 1 500 g 时降至最低 [(763.67±38.14) $U·L^{-1}$]，当体质量达 2 500 g 时又轻微回升 [(929.64±86.85) $U·L^{-1}$]，且相邻两组之间差异显著 ($P<0.05$) 。仅在体质量为 1 000 g 时，肠组织中 ACP 活性 [(420 382.21±37 313.08) $U·L^{-1}$]，显著低于其余体质量组 ($P<0.05$) ，其余组间差异不显著 ($P>0.05$)。肌肉组织和肝脏中 ACP 活性在不同体质量组间差异不显著 ($P>0.05$)，未见规律性变化。



不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)，反之差异不显著 ($P>0.05$)；后图同此。
Different letters indicate significant difference ($P<0.05$), otherwise the difference is not significant ($P>0.05$). The same case in the following figures.

图1　黄鳍金枪鱼幼鱼不同组织中酸性磷酸酶活性差异

Fig. 1　Difference of ACP activity in various tissues of juvenile *T. albacares*

2.2　不同体质量黄鳍金枪鱼幼鱼 AKP 活性差异

不同体质量黄鳍金枪鱼幼鱼各组织中 AKP 活性存在差异，均表现为肠道>肝脏>肌肉>血清 (图 2)。血清中 AKP 活性在体质量为 500、1 000、1 500 g 组中差异不显著，当体质量为 2 500 g 时血清中 AKP 活性骤降 [(29.97±3.56) $U·g^{-1}$]，与其他体质量组之间差异显著 ($P<0.05$)。肠组织中 AKP 活性在体质量为 1 000 g 时有所下降 [(29.97±3.56) $U·g^{-1}$]，与其他体质量组之间差异显著 ($P<0.05$)，其他各组间差异不显著 ($P>0.05$)。肌肉组织中 AKP 活性随着体质量的增加呈先下降后逐渐稳定的趋势，500 g 体质量组中 AKP 活性 [(411.62±49.32) $U·g^{-1}$] 显著高于 1 000 和 2 500 g 组 ($P<0.05$)，1 500 g 体质量组与其他各组间差异不显著 ($P<0.05$)。肝脏中 AKP 活性随着体质量的增加呈先轻微下降后缓慢增加的趋势，当体质量为 1 000 g 时，活性最低[(74 883.05±991.00) $U·g^{-1}$]，体质量为 2 500 g 时活性最高 [(116 359.06±1 295.10) $U·g^{-1}$]，相邻两组间差异显著 ($P<0.05$)。

2.3　不同体质量黄鳍金枪鱼幼鱼消化酶活性差异

随着体质量的增加，黄鳍金枪鱼幼鱼消化器官中各消化酶活性出现一定波动，但整体较稳定 (图 3)。肠道中 3 种消化酶活性依次为胰蛋白酶>淀粉酶>脂肪酶；胃中 2 种消化酶活性为淀粉酶>胃蛋白酶。黄鳍金枪鱼幼鱼各体质量之间肠道淀粉酶、肠道脂肪酶、胃淀粉酶、胃蛋白酶活性差异均不显著 ($P>0.05$)。肠道胰蛋白酶活性呈波动性变化，体质量为 500 g 时活性最高 [(3 230.51±628.91) $U·mg^{-1}$]，显著高于体质量 1 000 和 2 500 g 组 ($P<0.05$)，其他 3 组间差异不显著 ($P>0.05$)。

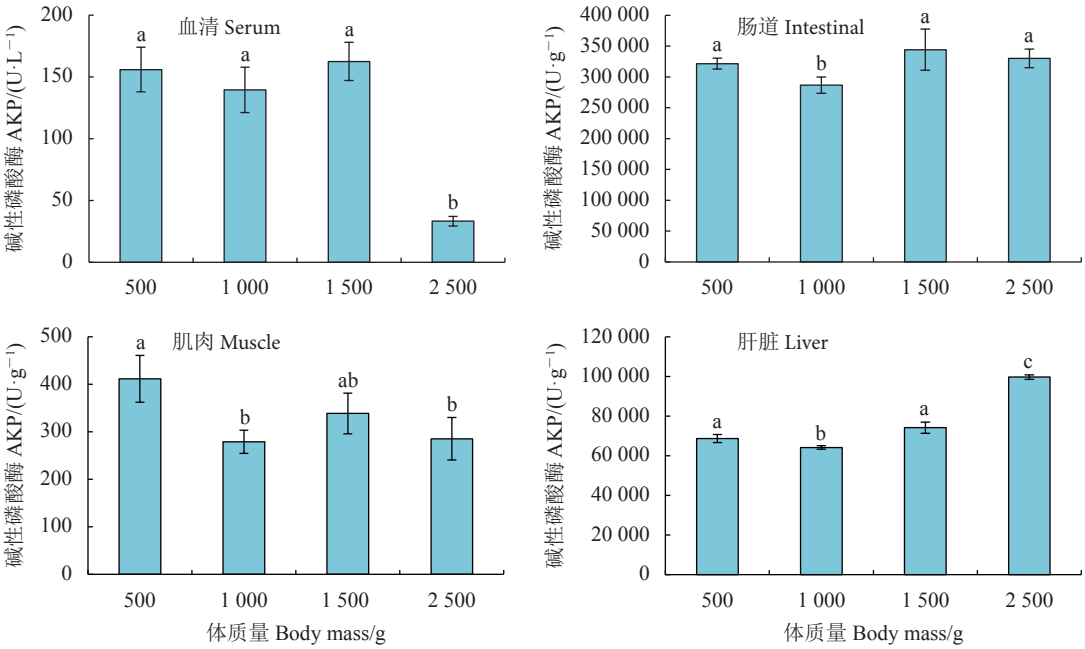


图2 黄鳍金枪鱼幼鱼不同组织中碱性磷酸酶活性差异

Fig. 2 Difference of AKP activity in various tissues of juvenile *T. albacares*

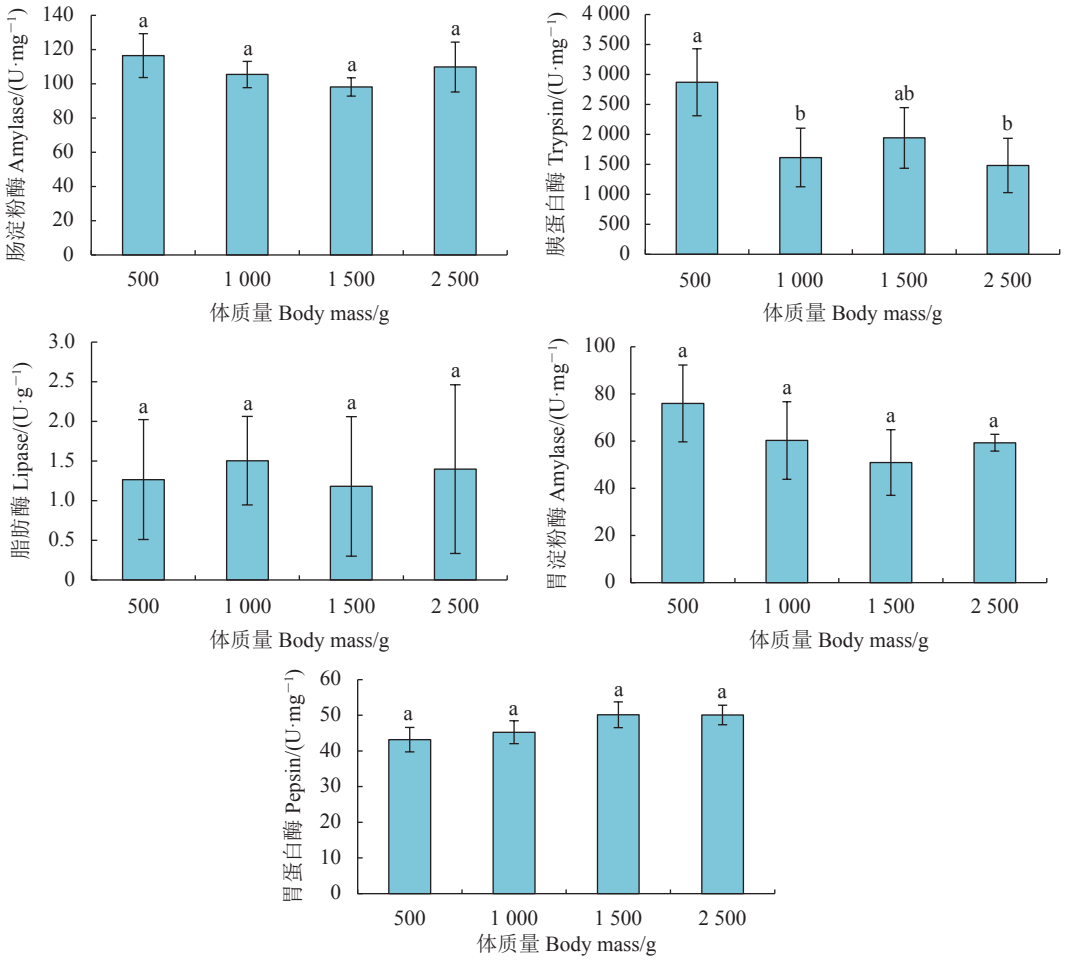


图3 黄鳍金枪鱼幼鱼不同器官中消化酶活性差异

Fig. 3 Difference of digestive enzyme activities in various tissues of juvenile *T. albacares*

3　讨论

3.1　不同体质量组之间黄鳍金枪鱼幼鱼 4 种组织中 ACP 和 AKP 活性差异

磷酸酶包括 ACP 和 AKP 两种，是重要的磷代谢酶，具有促进含磷 (P) 物质消化吸收、代谢、转化、转运、再利用等的功能，同时是重要的免疫反应酶及重要的解毒酶类[22]。有研究表明，ACP 和 AKP 是细胞磷酸化和去磷酸化可逆性调节机制的重要参与者，也是细胞增殖启动的重要参与者[23-24]，因此其活性高低可有效反映鱼类对 P 或含 P 物质的分解、吸收、再利用、转运等功能的有效性，反映对外来入侵物的分解能力，起到免疫的效果[25]。

3.1.1　ACP 活性差异

ACP 是溶酶体的标志酶之一，其反应颗粒分布之处表明溶酶体和其他水解酶的存在，细胞内消化过程在此处进行[18]。4 个体质量组 4 种组织中 ACP 活性均表现为肠道>肌肉>肝脏>血清。研究结果与茴鱼 (*Thymdlus grube*) 相似 (肾脏>肌肉>肝脏)，且活性均高于茴鱼[18]。说明本实验中黄鳍金枪鱼幼鱼溶酶体和其他水解酶丰富，细胞内消化过程活跃，其中肠道、肌肉和肝脏代谢速率较高，对含 P 物质的分解、吸收和利用效率高，对外来入侵物质或入侵生物的清理能力强。外在表现为免疫力强、生长速度快和运动量大。其中肠道的 ACP 活性在所有质量组中均最高，表明本实验中肠道 ACP 更活跃，而其高活性代表对含 P 物质分解、消化和吸收能力更强。可能因为肠道是与食物直接接触的重要器官，需要更强的免疫力来分解细菌、病毒或有毒有害物质，保证自身的内环境稳态。而肌肉和肝脏中 ACP 活性较高可能是因为在本实验中黄鳍金枪鱼幼鱼处于快速生长阶段，需要大量的营养物质参与机体构建，因此通过提高 ACP 活性的方式提高细胞对含 P 物质的吸收利用能力。而血清中 ACP 活性最低，可能与血液的主要功能为转运有关。肠道、肌肉、肝脏 3 种组织中的 ACP 活性保持稳定，同时血清中 ACP 活性稳步地降低，表明无明显的外界刺激，黄鳍金枪鱼内环境稳定，养殖过程中生活环境及饵料供给较稳定，未发生突发性疾病印证了这一点。

3.1.2　AKP 活性差异

AKP 是一种重要的免疫反应酶，直接参与磷酸基团的转移，具有重要的调控功能，其活性在机体代谢中起着非常关键的作用，在临床医学中通常作为诊断外来病原入侵或环境毒素入侵等的重要指示[26-28]。在本研究中，AKP 活性在所有体质量组中均表现为肠道>肝脏>肌肉>血清，这与长丝鲈 (*Osphronemus goramy*)、茴鱼及草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*) 的研究结果类似，均为肝>肌肉[29-30]。且在本研究中，肠道及肝脏中 AKP 活性值远大于肌肉和血清 (相差 3 个数量级)，表明与外界食物直接接触的肠道和重要的免疫器官肝脏需要更高活性的 AKP 来提高免疫能力。同时肠道是含 P 物质重要的分解、吸收、转运起点，肝脏是磷酸基团重要的中间存储转化合成器官和免疫器官，对 AKP 活性均有较高的需求。随着体质量的增加，黄鳍金枪鱼幼鱼肠道和肝脏的 AKP 活性轻微上升，而血清和肌肉中的则逐渐下降。这可能是因为随着体质量的增加，黄鳍金枪鱼幼鱼器官组织发育程度逐渐完善，组织器官功能的定位及功能分化愈发清晰。同时，养殖条件下黄鳍金枪鱼幼鱼摄食难度低，运动量必然小于野生状态，这可能是导致肌肉 AKP 活性轻微下降的原因之一。在体质量为 2 500 g 时，血清中 AKP 活性骤降，且误差值较小，表明活性数值稳定，受突发性环境因素干扰的可能性较小，应与所处生长发育阶段有关，具体机理有待进一步研究。

AKP 和 ACP 活性在肠道和肝脏中均较高，表明黄鳍金枪鱼对 P 具有较强的分解和合成能力，对氨基酸、核苷酸等大分子物质具有较好的分解和再利用能力；对外源物质和自身废弃物有较强的分解和再利用能力；对外界环境因子变化和病原体入侵具有较强的免疫能力和抗逆性。血清中 AKP 和 ACP 活性的降低可能与免疫器官逐步发育完善有关。

3.2　不同体质量组间黄鳍金枪鱼幼鱼 3 种消化酶活性差异

蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶等是参与营养物质消化和吸收的主要酶类，是评估消化吸收能力及功能的重要指标[31]。淀粉酶可将淀粉催化分解成单糖以便吸收利用[32]；脂肪酶能够将食物中的脂肪分解为脂肪酸和甘油分子以便吸收利用[33]；蛋白酶可将食物中的蛋白质水解为可供机体吸收的氨基酸[34]。因此测定消化器官中各种消化酶的活性，有助于了解养殖鱼类对所摄食饵料的消化状态[35]。鱼类消化酶活性受多种因素影响，包括发育阶段、季节变化、饵料变化、投喂策略、环境变化等。有研究表明鱼类在不同的发育阶段，其口径有较大变化，导致其摄食饵料的种类也发生变化，为充分吸收利用足够的营养，各种消化酶活性随着摄入饵料种类的变化而改变，例如大弹涂鱼 (*Boleophthalmus pectinirostris*) 幼鱼、成鱼消化酶活性有显著差异[36]。本研究中，不同体质量的黄鳍金枪鱼幼鱼，口径和体型存在一定差异，测定消化酶活性可有效反映其不同体质量之间生理生化及所需营养的变化。本研究中，黄鳍金枪鱼幼鱼消化器官中各消化酶活性随体质量的增加出现一定波动，但整体较稳定。不同体质量之间肠道淀粉酶、肠道脂肪酶、胃淀粉酶、胃蛋白酶活性均无显著差异 ($P>0.05$)。肠道蛋白酶活性呈波动性变化，体质量为 500 g 时

活性最高 [(3 230.51±628.91) U·mg^{-1}]，显著高于体质量为 1 000 g 和 2 500 g 两组 (P<0.05)，其他体质量组之间差异不显著 (P>0.05)。有研究表明，脂肪酶活性在肉食性鱼类中较高，淀粉酶活性在草食性鱼类中较高[37]，如在青鱼 (*Mylopharyngodon piceus*) 肠道中发现类似的结果，即胰蛋白酶活性>脂肪酶活性>淀粉酶活性[38]。本研究结果与之不同，黄鳍金枪鱼幼鱼肠道中 3 种消化酶活性排序为胰蛋白酶>淀粉酶>脂肪酶。与青鱼相比，黄鳍金枪鱼的淀粉酶活性更高、胰蛋白酶活性相似、脂肪酶活性较低，表明黄鳍金枪鱼幼鱼对蛋白类营养物质和淀粉类营养物质有较好的吸收利用能力，而对脂肪的需求量相对较少；与大弹涂鱼对比发现，本研究中黄鳍金枪鱼胃蛋白酶、淀粉酶活性更高，而脂肪酶活性差异较小[36]，表明黄鳍金枪鱼对蛋白类和淀粉类食物有更好的消化吸收能力。有研究指出黄鳍金枪鱼肌肉脂肪含量较低[4]，对脂肪的消化吸收能力相对较差，可能是导致肌肉的脂肪含量较低的原因。而降低对脂肪类食物的消化吸收速率，保持较高的蛋白酶、淀粉酶消化吸收速率，有利于降低体脂率，保持更好的运动能力。

4 结论

本研究表明，黄鳍金枪鱼幼鱼在陆基循环水养殖条件下不同体质量之间存在免疫酶和消化酶活性差异。AKP 和 ACP 活性在肠道和肝脏中均较高，黄鳍金枪鱼在重要的外源物质接触器官和重要的免疫器官对 P 或含 P 类营养物质具有较强的分解、吸收和合成利用的能力，对外源入侵物具有较高的免疫能力。肌肉 ACP 活性高于 AKP，表明肌肉对 P 的利用功能大于转运。ACP 和 AKP 活性随着体质量的增加在黄鳍金枪鱼幼鱼不同组织中的表达量有所变化。黄鳍金枪鱼幼鱼消化酶活性整体稳定，随着体质量的变化小范围地增加或降低，差异较小。蛋白酶活性最高表明其摄食偏好肉类。黄鳍金枪鱼 2 种免疫相关酶活性及其相关指标随体质量增加的变化规律有所差异，这可能与免疫器官的逐步发育完善有关，具体机理有待进一步研究。黄鳍金枪鱼幼鱼对蛋白类营养物质和淀粉类营养物质有较好的吸收利用能力，而对脂肪的需求量相对较少，内在原因及机理有待进一步探索。

参考文献：

[1] NAKAMURA Y N, ANDO M, SEOKA M, et al. Changes of proximate and fatty acid compositions of the dorsal and ventral ordinary muscles of the full-cycle cultured Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* with the growth[J]. Food Chem, 2007, 103(1): 234-241.

[2] 党莹超, 戴小杰, 吴峰. 北太平洋金枪鱼延绳钓钓钩垂直分布及浸泡时间对渔获物的影响 [J]. 南方水产科学, 2020, 16(3): 86-93.

[3] 徐国强, 许柳雄, 周成, 等. 金枪鱼围网下纲提升特性的研究 [J]. 南方水产科学, 2015, 11(3): 22-28.

[4] 周胜杰, 杨蕊, 于刚, 等. 美济礁附近海域三种金枪鱼肌肉成分检测与营养评价 [J]. 南方水产科学, 2021, 17(2): 51-59.

[5] 孟晓梦, 叶振江, 王英俊, 等. 世界黄鳍金枪鱼渔业现状和生物学研究进展 [J]. 南方水产, 2007, 3(4): 74-80.

[6] 张鹏, 陈森, 李杰, 等. 灯光罩网渔船兼作金枪鱼延绳钓捕捞试验 [J]. 南方水产科学, 2016, 12(4): 110-116.

[7] 洪鹏志, 杨萍, 章超桦, 等. 金枪鱼头的营养成分及其蛋白酶解物的应用 [J]. 食品研究与开发, 2007, 19(5): 140-143.

[8] 刘书成, 章超桦, 洪鹏志, 等. 酶解法从黄鳍金枪鱼鱼头中提取鱼油的研究 [J]. 福建水产, 2007, 28(1): 46-50.

[9] 于刚, 张洪杰, 杨少玲, 等. 金枪鱼保鲜方法及其贮藏期品质变化研究进展 [J]. 食品工业科技, 2013, 34(21): 381-384,389.

[10] MA Z, WU S, MENG X, et al. Feeding depths of wild caught yellowfin tuna *Thunnus albacares* juveniles and skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* in sea cages[J]. IJA, 2017, 69: 1379-1383.

[11] 方伟, 周胜杰, 赵旺, 等. 黄鳍金枪鱼 5 月龄幼鱼形态性状对体质量的相关性及通径分析 [J]. 南方水产科学, 2021, 17(1): 52-58.

[12] 马振华, 周胜杰, 杨蕊, 等. 青干金枪鱼野生幼鱼陆基驯养技术 [J]. 科学养鱼, 2020, 37(2): 57-58.

[13] 李培伦, 刘伟, 王继隆, 等. 马苏大麻哈鱼形态性状对体质量的影响分析 [J]. 大连海洋大学学报, 2018, 33(5): 600-606.

[14] 赵旺, 杨蕊, 胡静, 等. 斜带石斑鱼形态性状与体质量的相关性和通径分析 [J]. 水产科学, 2017, 36(5): 591-595.

[15] 薛宝贵, 辛俭, 楼宝, 等. 黄姑鱼一龄幼鱼形态性状对体重的影响分析 [J]. 浙江海洋学院学报 (自然科学版), 2011, 30(6): 492-498.

[16] 董义超, 盛伟博, 于会国, 等. 花鲈幼鱼形态性状与体质量影响关系的通径分析 [J]. 水产学杂志, 2021, 34(1): 29-34,39.

[17] 韩英, 张澜澜. 养殖价值极高的冷水性经济鱼类——黑龙江茴鱼 [J]. 农村百事通, 2008, 26(7): 45,85.

[18] 赵吉伟, 李小龙. 野生及养殖茴鱼体内 ACP、AKP 和 CAT 活力的比较研究 [J]. 水产学杂志, 2011, 24(4): 12-15,36.

[19] 刘峰, 吕小康, 刘阳阳, 等. 禁食对大黄鱼幼鱼消化酶活性的影响研究 [J]. 中国海洋大学学报 (自然科学版), 2018, 48(S1): 16-22.

[20] SILVA E C D, STERZELECKI F C, MUSIALAK L A, et al. Effect of feeding frequency on growth performance, blood metabolites, proximate composition and digestive enzymes of Lebranche mullet (*Mugil liza*) juveniles[J]. Aquac Res, 2020, 51(3): 1162-1169.

[21] 曲焕韬, 陈磊, 廖建新, 等. 投喂策略对厚颌鲂幼鱼的生长、肠道消化酶活性和形态学的影响 [J]. 海南大学学报 (自然科学版), 2021, 39(1): 29-35.

[22] 田海军, 陈建国, 龙勇, 等. 复方中草药对鲤肝脏转氨酶的影响 [J]. 水产科学, 2007, 26(11): 625-627.

[23] 封青川, 卢爱灵, 李庚午, 等. 连续 4 次 (每次间隔 36 h) 部分肝

切除对大鼠肝 ACP、AKP、HSC70/HSP68 和 PCNA 的影响 [J]. 动物学报, 2001, 47(S1): 190-198.

[24] MILLAR J B A, RUSSELL P, DIXON J E, et al. Negative regulation of mitosis by two functionally overlapping PTPases in fission yeast[J]. EMBO, 1992, 11: 4943-4952.

[25] 张辉, 张海莲. 碱性磷酸酶在水产动物中的作用 [J]. 河北渔业, 2003(5): 12-13,32.

[26] 艾春香, 陈立侨, 高露姣, 等. V_C 对河蟹血清和组织中超氧化物歧化酶及磷酸酶活性的影响 [J]. 台湾海峡, 2002, 21(4): 431-438.

[27] 廖金花, 陈巧, 林丽蓉, 等. 鲍鱼碱性磷酸酶的分离纯化和性质研究 [J]. 厦门大学学报 (自然科学版), 2005, 44(2): 272-275.

[28] 王吉桥, 徐锟. 对虾的主要疾病及其诊断方法 [J]. 水产科学, 2002, 46(5): 23-28.

[29] 孔祥会, 刘占才, 郭彦玲, 等. 汞暴露对草鱼器官组织中碱性磷酸酶活性的影响 [J]. 中国水产科学, 2007, 14(2): 270-274.

[30] 魏东, 董少杰, 孙向军, 等. 长丝鲈 5 种组织中相关酶的测定 [J]. 安徽农业科学, 2009, 37(18): 8535-8537, 8540.

[31] 梅景良, 马燕梅, 张红星, 等. 夏、冬两季黑鲷消化酶活力的比较及反应温度和 pH 对酶活力的影响 [J]. 海洋学报 (中文版), 2006, 28(4): 167-171.

[32] 叶元土, 林仕梅, 罗莉, 等. 温度、pH 值对南方大口鲶、长吻鮠蛋白酶和淀粉酶活力的影响 [J]. 大连水产学院学报, 1998, 19(2): 19-25.

[33] 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, 12(21): 18-20.

[34] 黄耀桐, 刘永坚. 草鱼肠道肝胰脏蛋白酶活性初步研究 [J]. 水生生物学报, 1988, 12(4): 328-334.

[35] THONGPRAJUKAEW K, KOVITVADHI S, KOVITVADHI U, et al. Effects of feeding frequency on growth performance and digestive enzyme activity of sex-reversed Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758)[J]. Agri Nat Res, 2017, 51(4): .292-298.

[36] 李伟峰, 林杰, 陈涛. 大弹涂鱼幼鱼、成鱼消化酶活性及肌肉营养价值分析 [J]. 江苏农业科学, 2021, 49(1): 152-155.

[37] AGRAWAL V P, SASTRY K V, KAUSHAB S K. Digestive enzymes of three teleost fishes[J]. Acta Physiol Acad Sci Hung, 1975, 46(2): 93-101.

[38] 周丰林, 陶丽竹, 王安琪, 等. 养殖青鱼组织状态评估及肠道消化酶和抗氧化酶分布特征 [J]. 上海海洋大学学报, 2021, 30(2): 205-213.