

DOI: 10.7524/AJE.1673-5897.20150908002

谢丽玲, 谢俊, 赵斌, 等. 重金属污染下龟壳攀鲈组织中 ACP 和 AKP 的活力比较[J]. 生态毒理学报, 2016, 11(3): 323-330

Xie L L, Xie J, Zhao B, et al. Activity comparison of ACP and AKP in the tissues of *Anabas testudineus* from heavy metal-polluted areas [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2016, 11(3): 323-330 (in Chinese)

重金属污染下龟壳攀鲈组织中 ACP 和 AKP 的活力比较

谢丽玲¹, 谢俊¹, 赵斌², 谢群慧², 查广才³, 郑玉忠^{3,*}

1. 汕头大学 理学院生物系, 汕头 515063

2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085

3. 韩山师范学院 生物系, 潮州 521041

收稿日期: 2015-09-08 录用日期: 2015-11-27

摘要: 龟壳攀鲈是一种在极端污染水域中具备生存优势的鱼类, 收集重污染区和轻污染区的龟壳攀鲈, 并通过比较其体内各组织中的酸性磷酸酶(ACP)及碱性磷酸酶(AKP)活性来揭示其耐污能力。贵屿作为重污染区有 4 个采样点: 大陇村、市上村、联堤村和北林村; 潮州作为轻污染区有 2 个采样点: 卧石村和洗马桥。水质结果表明, 贵屿采样地水中的 Pb、Cd、Cr、As、Hg 含量分别是潮州采样点的 27.6 倍、3.9 倍、5.8 倍、3.9 倍和 3.5 倍, 说明贵屿采样地的污染远高于潮州的。酶活结果表明, 在龟壳攀鲈所有组织中, 内脏组织(胃肠、性腺、肝脏、脾脏、肾脏)中的 ACP 和 AKP 活力均高于外周组织(肌肉、鳞片、鳃); 重金属污染均能提高攀鲈体内所有组织的 ACP 和 AKP 活力; AKP 活性更容易受到重金属的影响, 各组织的 AKP 活力增幅普遍超过 ACP 活力增幅; 其中, 受重金属影响最大的组织是脾脏, ACP 和 AKP 活力可增长到 2.37 倍和 6.21 倍。这些结果说明了龟壳攀鲈可以通过显著升高内脏组织(如肠胃、肝脏、肾脏等)中 ACP 和 AKP 活性, 以便更好地应对高污染环境; 其中 AKP 更容易受到重金属的影响, 适合用于作为评估污染的指标。

关键词: 重金属; 龟壳攀鲈; 酸性磷酸酶; 碱性磷酸酶; 活力

文章编号: 1673-5897(2016)3-323-08 中图分类号: X171.5 文献标识码: A

Activity Comparison of ACP and AKP in the Tissues of *Anabas testudineus* from Heavy Metal-polluted Areas

Xie Liling¹, Xie Jun¹, Zhao Bin², Xie Qunhui², Zha Guangcai³, Zheng Yuzhong^{3,*}

1. Department of Biology, College of Science, Shantou University, Shantou 515063, China

2. Research Center for Eco-environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

3. Department of Biology, Hanshan Normal University, Chaozhou 521041, China

Received 8 September 2015 accepted 27 November 2015

Abstract: *Anabas testudineus*, a species of fish, can become dominant species in the extremely polluted waters. In order to reveal the pollution resistance of *Anabas testudineus*, fish samples were collected from different polluted areas (Guiyu and Chaozhou), and the activities of acid phosphatase (ACP) and alkaline phosphatase (AKP) were analysed in different tissues. Four sampling points were chosen in Guiyu for polluted area, including Dalong village, Shishang village, Liandi village and BeiLin village. Control sampling points were chosen in Chaozhou, including

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(81202907); 广东省海洋生物技术重点实验室开放基金项目(GPKLMB201201)

作者简介: 谢丽玲(1964-), 女, 副教授, 研究方向为生物活性物质, E-mail: llxie@stu.edu.cn

* 通讯作者 (Corresponding author), E-mail: zhengyuzhong@gmail.com

Woshi village and Ximaqiao. Water was collected from all sampling points to determine heavy metal content. The levels of Pb, Cd, Cr, As, Hg of water sample in Guiyu were 27.6 times, 3.9 times, 5.8 times, 3.9 times and 3.5 times of those in Chaozhou. The results showed that, firstly, the activities of ACP and AKP in gastrointestinal organs, gonad, liver, spleen and kidney were higher than the peripheral tissues (such as muscle, squama and gill). Secondly, heavy metal pollution could induce the activities of ACP and AKP in almost all tissues of *Anabas testudineus*. Thirdly, the activities of AKP in all tissues were more susceptible than that of ACP to heavy metals. Finally, the activities of ACP and AKP in spleen were most susceptible to heavy metals, which could be increased to 2.37 times and 6.21 times, respectively. These results indicated that *Anabas testudineus* could significantly increase the activities of ACP and AKP in visceral tissues (such as gastrointestinal, liver, kidney, etc.) to well adapt to the heavy polluted environment, and the activity of AKP were more vulnerable to heavy metal and suitable to be a evaluation index of pollution.

Keywords: heavy metal; *Anabas testudineus*; acid phosphatase; alkaline phosphatase; activity

龟壳攀鲈(*Anabas testudineus*)属于攀鲈属(*Anabas*)鱼类,分布于中国东南部、印度、东南亚等地区^[1]。攀鲈属在全球仅有 2 个种,中国仅龟壳攀鲈 1 种,分布于我国东南部各省中的大小江河下游及邻近湿地、稻田,属中国原生鱼类^[2]。龟壳攀鲈具有陆地爬行的能力和顽强的生命力,能适应严重污染的水域,在污染区域会成为绝对优势种群,因此,它的存活密度可以间接反映水体的污染程度,可作指标物种。目前,关于攀鲈的研究主要集中于对驯化、繁育、病害及防治等方面^[1-5],而对于该鱼可在污染环境存活下存活的机理尚无报道。

鱼类在抵抗外界压力的过程中,主要依靠其非特异性免疫防御系统进行防御^[6]。免疫相关酶是指能通过非特异性防御机制来抵抗异物的侵入,从而提高自身免疫力的一些酶类物质,其中磷酸酶是第四道防线中非常重要的非特异性免疫酶,研究免疫相关酶类的活力水平,对研究不同区域龟壳攀鲈相关免疫水平有重要的意义。磷酸酶又称磷酸单酯水解酶,是可以催化各种含磷化合物水解的酶类,许多研究证明磷酸酶在动物机体的骨化及在某些营养物的消化、吸收和运转过程中起着非常重要的作用,也是动物体内重要的解毒体系^[6-7]。另一些研究表明

磷酸酶活力是细胞和体液免疫强弱的综合体现,也是衡量免疫功能和机体状态的指标,反映了机体对外源物质的防御能力^[8-10]。根据磷酸酶催化作用的最适 pH 特性,可分为酸性磷酸酶(acid phosphatase, ACP)和碱性磷酸酶(alkaline phosphatase, AKP),ACP 和 AKP 是 2 种重要的机体功能调节酶。Broeg 等^[11]就认为鱼类 ACP 活性可反应肝脏巨噬细胞吞噬活性的高低。磷酸酶不是通过抗氧化系统来清除由外源物质产生的自由基,而是直接溶解或消化外源物质已达到防御的目的(即非氧化防御系统),鱼类的非氧化防御系统是抵挡外源物质的第一道屏障^[12-14],当鱼体受到环境胁迫时,其 ACP 和 AKP 的活性会受到不同程度的影响。本文选择通过非氧化性防御系统来抵御外源物质的 ACP 和 AKP 作为龟壳攀鲈耐污机制研究的靶酶,以了解攀鲈耐污的原因。

1 材料与方法 (Materials and methods)

1.1 取样地概况

贵屿是主要的电子垃圾拆解地,环境污染非常严重,按主要水域选取 4 个地方,即大陇村、市上村、联堤村和北林村;潮州的选点为卧石村和洗马桥,属于轻度污染水域。具体情况见表 1。

表 1 采样地情况

Table 1 The circumstances of sampling point

采样地类型 Sampling type	地址 Sampling site	坐标 Coordinate	采样地概况 Sampling situation
重度污染区 Severe pollution area	贵屿大陇村 Dalong village in Guiyu	E116°27', N23°49'	生活污水, 污染十分严重, 水质脏臭
	贵屿市上村 Shishang village in Guiyu	E116°39', N23°28'	下水道水, 污染较严重, 水色发黑
	贵屿联堤村 Liandi village in Guiyu	E116°36', N23°34'	河水, 污染较严重, 水色黄白
	贵屿北林村 Beilin village in Guiyu	E116°34', N23°32'	水塘, 污染较严重, 水色发黑
轻度污染区 Light pollution area	潮州卧石村 Woshi village in Chaozhou	E116°68', N23°65'	水塘, 污染较轻, 水色浅灰
	潮州洗马桥 Ximaqiao in Chaozhou	E116°68', N23°67'	河水, 污染较轻, 水色浅灰

2014年7月,在每个采样点采集龟壳攀鲈及水样,样本鱼分为2组,分别为重度污染区组和轻度污染区组(见表2)。将采集到的活体龟壳攀鲈样本带回实验室后,立即统一解剖并测酶活。

1.2 仪器和试剂

水簇箱,冰箱,直尺,生物解剖器,高速分散器,离心管,离心机,移液枪,特弗隆坩埚,电热板,Agilent 7700x ORS-ICP-MS,96微孔板,酶标仪。

双蒸水,生理盐水,Milli-Q水,浓HNO₃,H₂O₂,Bradford蛋白质定量试剂盒,酸性磷酸酶测试盒,碱性磷酸酶测试盒。

1.3 实验方法

1.3.1 采样地水中重金属含量的测定

污染环境水样中的重金属含量测定采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)^[15-16]。

用湿消解法对污染环境水样进行前处理,即取一定量的样品于特弗隆坩埚中,加入5~10 mL的浓HNO₃,静置1夜,第2天加入2 mL的H₂O₂;将样品放于电热板上,180℃下消解4~6 h;完成后,冷却至室温,定容至50 mL;最后过滤,取滤液。前处理后上样于Agilent 7700x ORS-ICP-MS进行测定。

1.3.2 样品制备

将随机抓取的龟壳攀鲈活体放入低温约15 min使之麻痹,取出用双蒸水清洗,纸巾吸干,测其体重和体长;分别取出肌肉、鳃、胃肠、肝脏、肾脏等组织器官。

准确称取待测组织的重量,按重量(g):体积(mL)=1:9的比例,加入9倍体积的预冷的生理盐水,冰水浴条件下机械匀浆,然后将匀浆液离心2 500 r·min⁻¹,离心10 min,取上清液放入-20℃冰箱中保存。

1.3.3 蛋白含量的测定

蛋白含量测定购自天根生化科技(北京)有限公司的试剂盒进行测定。采用考马斯亮兰法测定所有

组织蛋白浓度^[17]。取0、1、2、3、4、5 μL牛血清白蛋白(BSA)标准溶液(1 mg·mL⁻¹)分别加入到96微孔板中,加Milli-Q水补足到10 μL;将适当体积的样品加入到96微孔板中,并用Milli-Q水补足到10 μL;向各微孔板中加入200 μL考马斯亮蓝染液,混匀,室温放置5~10 min;用酶标仪测定595 nm处的吸光值,并记录读数,以不含BSA的样品的光吸收值作为空白对照;绘制标准曲线,计算样品中的蛋白浓度,如果所得到的蛋白浓度不在标准曲线范围内,需稀释样品后重新测定。

1.3.4 酶活性的测定

酶活性均采用购自南京建成生物有限公司的试剂盒进行测定。采用微量酶标法测定磷酸酶的活性^[18]。取1.3.2制备的样本,根据试剂盒中的操作表加入相应的试剂;室温放置3~5 min,用酶标仪测定520 nm处的吸光值,并记录读数;根据试剂盒中的计算公式求得组织中ACP和AKP的活力。

酸性磷酸酶(ACP)活力单位定义为:每克组织蛋白在37℃与基质作用30 min产生1 mg酚为1个活力单位。碱性磷酸酶(AKP)活力单位定义为:每克组织蛋白在37℃与基质作用15 min产生1 mg酚为1个活力单位。

1.4 数据统计与分析

采用SSPS 13.0软件(SPSS Inc.)对实验数据进行方差分析。采用ANOVA方法分析各实验组之间的差异, $P < 0.05$ 表示差异显著; $P < 0.01$ 表示差异极显著。

2 结果(Results)

2.1 龟壳攀鲈的样本状况

对采集的龟壳攀鲈实验样本进行体长和重量等方面的检测,详见表2。

表2 龟壳攀鲈体长和重量

Table 2 The length and weight of *Anabas testudineus*

采样地类型 Sampling type	地址 Sampling site	龟壳攀鲈数量/条 Quantity/ind.	平均体长/cm Average length /cm	平均重量/g Average weight/g
重度污染区 Severe pollution area	贵屿大陇村 Dalong village in Guiyu	26	12.25±0.44	31.41±3.27
	贵屿市上村 Shishang village in Guiyu	24	13.33±0.48	37.69±3.57
	贵屿联堤村 Liandi village in Guiyu	27	13.50±0.46	40.57±3.42
	贵屿北林村 Beilin village in Guiyu	25	12.49±0.44	32.16±2.95
轻度污染区 Light pollution area	潮州卧石村 Woshi village in Chaozhou	25	11.67±0.31	25.58±2.17
	潮州洗马桥 Ximaqiao in Chaozhou	25	12.57±0.41	32.85±2.97

注:不同采样地的龟壳攀鲈体长和重量均为平均值±标准误差。

Note: The length and weight of *Anabas testudineus* from different sampling sites are average ± standard error.

2.2 采样地水中污染物含量

水样采集后立即低温保存,然后利用 ICP-MS 检测了水样中重金属 Pb、Cd、Cr、As、Hg 的含量,结果详见表 3。

从表 3 的结果可以看出,贵屿采样地水中的重金属含量高于潮州采样点,其中贵屿采样地水中的 Pb、Cd、Cr、As、Hg 平均含量分别是潮州采样点的 27.6 倍、3.9 倍、5.8 倍、3.9 倍和 3.5 倍。说明贵屿地区水体受到了严重的重金属污染,相对而言,潮州地区水体的污染较轻。

2.3 采样地攀鲈组织中污染物含量

利用 ICP-MS 分别检测了贵屿和潮州 2 个采样地龟壳攀鲈肌肉、鳃、胃肠、肝脏和肾脏中重金属 Pb、Cd、Cr、As、Hg 的含量,结果详见表 4 和表 5。

从表 4 和表 5 的结果可以看出,贵屿和潮州的龟壳攀鲈体内重金属含量均远低于国家食品卫生标准。贵屿采样地攀鲈中的 Pb、Cd、Cr、As、Hg 平均含量分别是潮州采样点的 3.7 倍、2.7 倍、0.7 倍、0.8 倍和 1.4 倍。鱼体污染物的差异远低于两地水环境中污染物的差异;甚至潮州龟壳攀鲈体内 Cr 和 As 含

表 3 2 个采样地污水中重金属含量的比较(单位:ng·L⁻¹)

Table 3 Comparison of heavy metals contents in the sewage from two pollution areas (Unit: ng·L⁻¹)

采样地点 Sampling site	铅 Plumbum	镉 Cadmium	铬 Chromium	砷 Arsenic	汞 Mercury
贵屿 Guiyu	1 861.45±373.02	89.07±11.27	477.22±89.02	10 651.13±1 518.3	52.76±9.28
潮州 Chaozhou	67.50±6.57	22.88±6.22	82.05±17.26	2 709.31±857.17	15.00±2.33

注:贵屿为 4 个采样点的平均值±标准误差;潮州为 2 个采样点的平均值±标准误差。

Note:Guiyu is average ± standard error of four sampling points; Chaozhou is average ± standard error of two sampling points.

表 4 贵屿龟壳攀鲈组织中重金属含量(单位:ng·g⁻¹)

Table 4 The heavy metals contents in *Anabas testudineus* from Guiyu (Unit: ng·g⁻¹)

组织 Tissue	铅 Plumbum	镉 Cadmium	铬 Chromium	砷 Arsenic	汞 Mercury
肌肉 Muscle	11.05±1.98	0.38±0.07	39.70±4.96	7.19±1.34	2.42±0.56
鳃 Gill	80.44±17.23	1.63±0.28	296.13±37.19	8.95±1.39	4.65±1.12
胃肠 Gastrointestinal	531.16±90.31	68.81±6.63	282.97±36.87	22.96±3.76	5.22±1.14
肝脏 Liver	295.14±37.18	155.11±26.47	123.84±13.26	11.99±2.01	11.46±1.99
肾脏 Kidney	129.14±13.28	43.80±5.01	253.79±34.29	11.34±1.98	4.69±1.13
平均含量 Average	209.39±32.00	53.94±7.70	199.29±25.31	12.49±2.10	5.69±1.19
国家食品卫生标准 National food hygiene standards	≤500	≤100	≤2000	≤100	≤500

注:贵屿龟壳攀鲈组织中重金属含量为 4 个采样点的平均值±标准误差。

Note: Heavy metals contents in *Anabas testudineus* from Guiyu is average ± standard error of four sampling points.

表 5 潮州龟壳攀鲈组织中重金属含量(单位:ng·g⁻¹)

Table 5 The heavy metals contents in *Anabas testudineus* from Chaozhou (Unit: ng·g⁻¹)

组织 Tissue	铅 Plumbum	镉 Cadmium	铬 Chromium	砷 Arsenic	汞 Mercury
肌肉 Muscle	31.29±5.45	0.32±0.06	125.99±13.27	8.84±1.38	2.73±0.59
鳃 Gill	53.74±5.67	2.93±0.59	371.87±49.24	11.78±2.00	2.14±0.51
胃肠 Gastrointestinal	100.64±18.97	57.19±5.72	329.34±47.28	44.38±5.09	4.77±1.16
肝脏 Liver	41.17±5.01	24.61±3.81	175.34±30.67	10.65±1.85	6.39±1.28
肾脏 Kidney	51.16±5.61	13.94±2.31	366.23±48.29	7.25±1.35	4.04±1.09
平均含量 Average	55.60±8.14	19.80±2.50	273.75±37.75	16.58±2.33	4.02±0.93
国家食品卫生标准 National food hygiene standards	≤500	≤100	≤2000	≤100	≤500

注:潮州龟壳攀鲈组织中重金属含量为 2 个采样点的平均值±标准误差。

Note: Heavy metals contents in *Anabas testudineus* from Chaozhou is average ± standard error of two sampling points.

量还高于贵屿。这些现象表明外界污染程度与攀鲈体内污染物浓度并不成正比,预示着攀鲈存在某些机制可以防止污染物的富集。

2.4 攀鲈各组织不同地点的 ACP、AKP 活力比较

随机取每个样点的 5 尾龟壳攀鲈进行解剖,并测定其体内各组织的 ACP 和 AKP 活力。ACP、AKP 活性结果被平均分为贵屿和潮州两组,具体详

见表 6。

结果表明,在龟壳攀鲈所有组织中,内脏组织(胃肠、性腺、肝脏、脾脏、肾脏)中的 ACP 和 AKP 活力均高于外周组织(肌肉、鳞片、鳃)。重金属污染均能提高攀鲈体内所有组织的 ACP 和 AKP 活力;其中,肠胃是攀鲈体内 ACP 和 AKP 的主要分布区,重金属污染会大幅提高 ACP 和 AKP 的活力,分别增

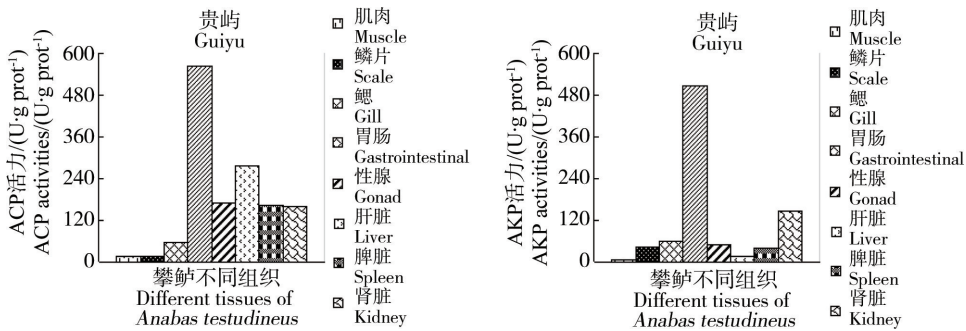


图 1 贵屿攀鲈 ACP 和 AKP 的组织分布

Fig. 1 The distribution of ACP and AKP in the tissues of *Anabas testudineus* from Guiyu

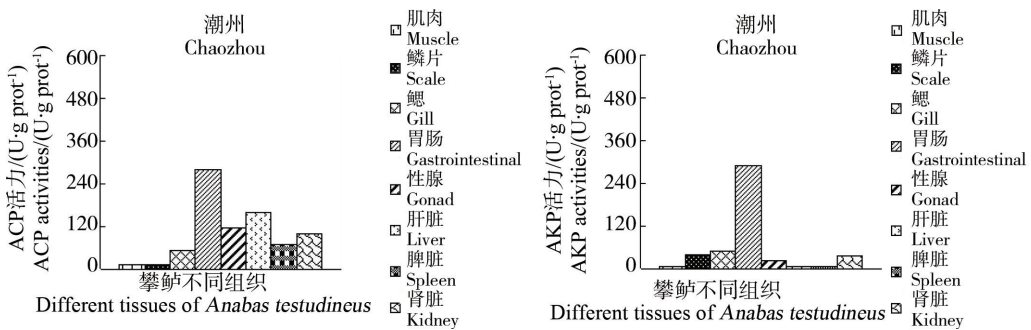


图 2 潮州攀鲈 ACP 和 AKP 的组织分布

Fig. 2 The distribution of ACP and AKP in the tissues of *Anabas testudineus* from Chaozhou

表 6 两区攀鲈各组织中 ACP、AKP 活力的差异 (n=5)

Table 6 Comparison of ACP and AKP in *Anabas testudineus* from two pollution areas (n=5)

组织 Tissue	ACP/(U·g prot ⁻¹)			AKP/(U·g prot ⁻¹)		
	贵屿 Guiyu	潮州 Chaozhou	贵屿/潮州 Guiyu/Chaozhou	贵屿 Guiyu	潮州 Chaozhou	贵屿/潮州 Guiyu/Chaozhou
肌肉 Muscle	16.41±2.86	13.20±0.81	1.24	2.80±0.71	1.02±0.21	2.75
鳞片 Scale	15.57±2.66	13.05±3.52	1.19	41.07±8.34	38.12±8.32	1.08
鳃 Gill	56.11±6.63	51.19±10.79	1.10	57.87±7.61	49.70±6.91	1.16
胃肠 Gastrointestinal	562.17±72.61	278.72±67.44	2.02	504.48±70.48	287.60±206.10	1.75
性腺 Gonad	167.87±36.81	116.63±30.83	1.44	49.03±13.33	22.51±19.72	2.18
肝脏 Liver	274.96±119.25	157.38±27.42	1.75	15.93±6.85	6.54±0.84	2.44
脾脏 Spleen	161.66±57.91	68.14±6.43	2.37	38.32±18.77	6.17±1.49	6.21
肾脏 Kidney	157.56±35.95	98.86±1.63	1.59	146.81±46.68	34.85±14.07	4.21

注:贵屿为 4 个采样点的平均值±标准误差;潮州为 2 个采样点的平均值±标准误差。

Note: Guiyu is average ± standard error of four sampling points; Chaozhou is average ± standard error of two sampling points.

长到2.02倍和1.75倍。就2种酶活而言, AKP活性更容易受到重金属的影响, 各组织的AKP活力增幅普遍超过ACP活力增幅; 其中, 受重金属影响最大的组织是脾脏, ACP和AKP活力可增长到2.37倍和6.21倍。这些结果说明了当机体受到重金属胁迫时, 内脏组织需要分泌更多的ACP和AKP, 以便适应外界压力; 而且AKP更容易受到重金属的影响, 适合用于作为评估污染的指标。

2.5 攀鲈不同组织磷酸酶活力比较

按重度污染区和轻度污染区划分, 比较ACP和AKP活力在各个组织中情况, 详见图1和图2。

结果表明, 首先, 同一组织不同采样地点的ACP和AKP活力有较大差异, 其中贵屿的要高于潮州的; 其次, 同一采样地点不同组织的ACP、AKP活力也具有差异性, ACP的活力在胃肠、肝脏、肾脏、性腺和脾脏中比较高, 高低顺序为: 胃肠 > 肝脏 > 性腺 > 肾脏 > 脾脏, 而AKP的活力在胃肠和肾脏也比较高。胃肠是与营养物质的消化、吸收和运转有密切关系的器官, 而肝脏和肾脏是鱼体内的解毒器官, 所以胃肠、肝脏和肾脏中磷酸酶活力都相对较高。

3 讨论 (Discussion)

贵屿由于电子垃圾拆解受到了严重的污染, 如重金属和多溴联苯醚(PBDEs)等。重金属污染可以从表3看出, 王晓春等^[19]则证明了贵屿地区的地表水受到较严重的PBDEs污染。然而, 实地调查发现龟壳攀鲈在贵屿成为了绝对优势的鱼种, 说明它具有非凡的抗污能力。一方面, 在重度污染区域会成为绝对优势种群的龟壳攀鲈, 检测到其体内的ACP和AKP活力较强, 推测龟壳攀鲈能通过长期的进化, 自身体内的解毒酶活性不断提高, 使得龟壳攀鲈有更高的免疫和防御能力。另一方面, 龟壳攀鲈各组织中的磷酸酶活力有明显差异, 而胃肠、肝脏、肾脏较高, 表明龟壳攀鲈会通过胃肠的代谢活动和肝脏、肾脏的解毒作用使自身体内的污染物减少。

ACP和AKP活力高低是鱼类自身免疫的重要指标, 卢彤岩等研究了不同年龄阶段的哲罗鱼肝脏、血液、鳃及肌肉等组织ACP和AKP活力, 发现AKP活性水平表现为鳃 > 肝脏 > 肌肉 > 血浆, 而ACP在各组织中的活性为鳃 > 肝脏 > 血浆 > 肌肉, 且年龄不同的哲罗鱼的ACP和AKP活力有明显差异^[18]。赵吉伟等^[20]研究了野生及养殖苗鱼体内肾脏、肝脏和肌肉中的ACP和AKP活力, 发现两群体三种组织中AKP活力均表现为: 肾脏 > 肝脏 > 肌肉, 而

ACP活力均表现为: 肾脏 > 肌肉 > 肝脏, 且野生群体与养殖群体的ACP和AKP活力有明显差异。与这些研究比较后说明, ACP和AKP的活力在鱼类组织中的分布与鱼的种类、年龄、生长环境等有较大的联系。

有研究还表明, ACP和AKP的活力还会受到污染物的影响, 詹付凤等^[21]研究了重金属镉对鲫鱼肠、肝胰脏和鳃中ACP和AKP活性的影响, 发现镉暴露后, 鲫鱼肠、鳃组织中ACP和AKP的活性降低, 而肝和胰脏的AKP活性没有明显变化, 其ACP活性则升高。贾秀英等^[22]研究了重金属镉对鲤鱼肾脏、肝胰脏、肠、血液等组织中ACP和AKP活性的影响, 发现镉能抑制鲤鱼肾脏、肝胰脏、血液中的ACP活性, 对肠中的ACP活性却无影响, 镉也能抑制鲤鱼肾脏、肠中的AKP活性。孔祥会等^[23]研究了汞暴露对草鱼血清、鳃、肝胰脏、脾、肾脏和肌肉等器官组织中碱性磷酸酶活性的影响, 研究发现在暴露周期21 d内, 血清中AKP活性先不变后下降, 鳃中AKP活性先上升后不变, 肝胰脏和脾脏中AKP活性一直下降, 肾脏中AKP活性先不变后上升, 肌肉中AKP活性一直不变。高举等^[24]则研究了重金属铅对鲫鱼鳃、肝、胰、肾、脑组织的ACP和AKP活性的影响, 结果发现鲫鱼鳃、肝、胰、肾、脑组织中ACP和AKP活性随着铅浓度的升高和染毒时间的延长均呈下降趋势。王卓等^[25]研究了碳酸盐碱度对青海湖裸鲤幼鱼肝、肾中ACP和AKP活性的影响, 发现了肝、肾中ACP和AKP活性均会显著升高, 以便更好地应对高碱环境。这些研究说明了鱼体内的ACP和AKP的活力会受到污染物的影响, 而且会因为污染物的种类、鱼的种类不同而有不同的变化。

Wong等^[26]研究了贵屿大气、土壤和沉积物中的持久性有机污染物(PBDEs、PCDD/Fs、PAHs、PCBs)和重金属(Cd、Cr、Cu、Ni、Pb、Zn、Mn、As)含量, 发现其含量要比其他城市地区高好几倍, 甚至十几倍; Song等^[27]发现中国3个传统的电子垃圾拆解地(贵屿、台州、清远)中的持久性有机污染物(PBBs、PBDEs、PCDD/Fs、PCBs)和重金属(Cd、Cr、Cu、Ni、Pb、Zn、Mn、As、Fe、Hg)含量比其他非电子垃圾拆解地要高很多, 而且有逐年上升的趋势。这说明电子垃圾拆解过程中同时产生了大量的有机污染物和有害重金属, 两类物质有一定的相关性, 而且它们非常难于分解, 容易在土壤和水中积累。因此, 生活在贵屿等地的生物会受到有机污染物和重金属的双重毒

害,可以推测龟壳攀鲈体内 ACP、AKP 活性不仅与重金属污染有关,还与其他有机污染源相关,这有待于进一步探讨和研究。

通讯作者简介:郑玉忠(1977—),男,生物学博士,副研究员,主要研究方向为中药药理学,发表学术论文 80 余篇。

参考文献 (References):

- [1] 梁松. 攀鲈的人工繁殖与种苗培育[J]. 科学养鱼, 2004, 1(11): 6-7
Liang S. Induced breeding and seed raising of *Anabas testudineus* [J]. Scientific Fish Farming, 2004, 1(11): 6-7 (in Chinese)
- [2] 张平香, 王玉群. 攀鲈的危害和防治[J]. 内陆水产, 2008, 33(2): 31-32
Zhang P X, Wang Y Q. The harm and prevention of *Anabas testudineus* [J]. Current Fisheries, 2008, 33(2): 31-32 (in Chinese)
- [3] 梁松, 杨大伟, 杜永宁. 攀鲈池塘高产养殖试验[J]. 科学养鱼, 2002, 1(3): 25
Liang S, Yang D W, Du Y N. The high yield breeding experiment of *Anabas testudineus* in pond [J]. Scientific Fish Farming, 2002, 1(3): 25 (in Chinese)
- [4] 陈祈辉, 陈一通, 王好镇. 攀鲈人工繁殖及育苗技术初探[J]. 福建水产, 2003, 1(2): 36-38
Chen Q H, Chen Y T, Wang H Z. Preliminary study on artificial breeding and cultivation technology of *Anabas testudineus* [J]. Journal of Fujian Fisheries, 2003, 1(2): 36-38 (in Chinese)
- [5] 梁松, 杨大伟, 马海馥. 攀鲈鱼养殖技术[J]. 中国水产, 2002, 1(9): 42-43
Liang S, Yang D W, Ma H Q. Technique of culture *Anabas scandens Linnaeus* [J]. China Fisheries, 2002, 1(9): 42-43 (in Chinese)
- [6] 唐林, 林珠, 李永明, 等. 不同大小机械牵张力对成骨细胞增殖及碱性磷酸酶的影响[J]. 解放军医学杂志, 2006, 31(6): 580-581
Tang L, Lin Z, Li Y M, et al. Effects of different magnitudes of mechanical strain on proliferation and alkaline phosphatase activity in osteoblast *in vitro* [J]. Medical Journal of Chinese People's Liberation Army, 2006, 31(6): 580-581 (in Chinese)
- [7] He H Q, Sun F. Studies on the characteristics of acid and alkaline phosphatase in Chinese shrimp [J]. *Penaeus Chinensis*, 1992, 23(5): 555-560
- [8] Im E, Kim Y S, Pothoulakis C, et al. Mo1755 myeloid differentiation factor 88 (MYD88) is the linchpin of anti-tumor immunity against phosphatase and tensin homologue (PTEN)-associated intestinal tumor development and metastasis [J]. *Gastroenterology*, 2015, 148 (4): S703
- [9] Xia Y, Dean P, Judge A J, et al. Acid phosphatases in the haemolymph of the desert locust, *Schistocerca gregaria*, infected with the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* [J]. *Journal of Insect Physiology*, 2000, 46(9): 1249-1257
- [10] Wan X. SUN-PP226: Partial enteral nutrition preserves gut barrier functions, including innate immunity, intestinal alkaline phosphatase level, and intestinal microbiota in mice [J]. *Clinical Nutrition*, 2015, 34(1): S107
- [11] Broeg K. The activity of macrophage aggregates in the liver of flounder (*Platichthys flesus*) and wrasse (*Symphodus melops*) is associated with tissue damage [J]. *Marine Environmental Research*, 2010, 69: S14-S16
- [12] 张婷, 史晋绒, 宋柯, 等. 鱼类体表粘液分泌机制、组分与功能研究进展[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(22): 7445-7448, 7458
Zhang T, Shi J R, Song K, et al. Research progress of secretion mechanisms, components and function of fishes mucus [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2014, 42(22): 7445-7448, 7458 (in Chinese)
- [13] 姚一彬, 刘臻, 鲁双庆, 等. 鱼类免疫因子作用机制及其应用[J]. 湖南饲料, 2011, 3: 32-35
Yao Y B, Liu Z, Lu S Q, et al. Mechanism and application of immune factors in fish [J]. *Hunan Feed*, 2011, 3: 32-35 (in Chinese)
- [14] 王俊相, 李玉萍, 孔令富, 等. 鱼类免疫系统的研究进展[J]. 四川畜牧兽医, 2010, 7: 29-31
Wang J X, Li Y P, Kong L F, et al. Progress of the immune system in fish [J]. *Sichuan Animal & Veterinary Sciences*, 2010, 7: 29-31 (in Chinese)
- [15] 陈雪云, 刘丽萍. ICP-MS 测定水中 16 种元素[J]. 世界科技研究与发展, 2008, 30(2): 143-146
Chen X Y, Liu L P. Determination of 16 elements in water by inductively coupled plasma-mass spectrometry [J]. *World Sci-Tech R & D*, 2008, 30(2): 143-146 (in Chinese)
- [16] 刘丽萍, 张妮娜, 张岚, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定矿泉水中 23 种元素[J]. 质谱学报, 2005, 26(1): 27-31
Liu L P, Zhang N N, Zhang L, et al. Determination of 23 elements in drinking natural mineral water by inductively coupled plasma-mass spectrometry [J]. *Journal of Chinese Mass Spectrometry Society*, 2005, 26(1): 27-31 (in Chinese)
- [17] 李娟, 张耀庭, 曾伟, 等. 应用考马斯亮蓝法测定总蛋

- 白含量[J]. 中国生物制品学杂志, 2000, 13(2): 118-120
- Li J, Zhang Y T, Zeng W, et al. The determination of total protein content by coomassie brilliant blue method [J]. Chinese Journal of Biologicals, 2000, 13(2): 118-120 (in Chinese)
- [18] 卢彤岩, 郭德文, 赵吉伟, 等. 哲罗鱼不同组织 SOD、CAT、ACP 和 AKP 活力的比较研究[J]. 水产学杂志, 2010, 23(4): 10-13
- Lu T Y, Guo D W, Zhao J W, et al. Activity comparison of SOD, CAT, ACP and AKP in the tissues of *Hucho taimen* [J]. Chinese Journal of Fisheries, 2010, 23(4): 10-13 (in Chinese)
- [19] 王晓春, 焦杏春, 朱晓华, 等. 电子废弃物拆解地水体多溴联苯醚分布特征[J]. 生态环境学报, 2014, 23(6): 1027-1033
- Wang X C, Jiao X C, Zhu X H, et al. Distribution characteristics of PBDEs in surface and ground waters of electronic waste dismantling sites and surrounding area [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2014, 23(6): 1027-1033 (in Chinese)
- [20] 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
- Zhao J W, Li X L. Comparison of ACP, AKP and CAT activities in different tissues between wild and farmed *Thymallus* [J]. Chinese Journal of Fisheries, 2011, 24(4): 12-15, 36 (in Chinese)
- [21] 詹付凤, 赵欣平. 重金属镉对鲫鱼碱性磷酸酶和酸性磷酸酶活性的影响[J]. 四川动物, 2007, 26(3): 641-643
- Zhan F F, Zhao X P. Effects of cadmium on ACP and AKP in *Carassias auratus* [J]. Sichuan Journal of Zoology, 2007, 26(3): 641-643 (in Chinese)
- [22] 贾秀英, 陈志伟. 镉对鲤鱼磷酸酶活性的影响[J]. 上海环境科学, 1998, 17(6): 40-41
- Jia X Y, Chen Z W. Effects of cadmium on activity of common carp phosphatases [J]. Shanghai Environmental Sciences, 1998, 17(6): 40-41 (in Chinese)
- [23] 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
- Kong X H, Liu Z C, Guo Y L, et al. Effects of Hg^{2+} on alkaline phosphatase activity in different organs and tissues of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14(2): 270-274 (in Chinese)
- [24] 高举, 赵欣平, 詹付凤, 等. 铅对鲫鱼碱性磷酸酶和酸性磷酸酶活性的影响[J]. 四川动物, 2008, 27(2): 201-204
- Gao J, Zhao X P, Zhan F F, et al. Effects of lead on acid phosphatase and alkaline phosphatase in *Carassias auratus* [J]. Sichuan Journal of Zoology, 2008, 27(2): 201-204 (in Chinese)
- [25] 王卓, 么宗利, 林听听, 等. 碳酸盐碱度对青海湖裸鲤幼鱼肝和肾 SOD、ACP 和 AKP 酶活性的影响[J]. 中国水产科学, 2013, 20(6): 1212-1218
- Wang Z, Yao Z L, Lin T T, et al. Effects of carbonate alkalinity stress on SOD, ACP, and AKP activities in the liver and kidney of juvenile *Gymnocypris przewalskii* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(6): 1212-1218 (in Chinese)
- [26] Wong M H, Wu S C, Deng W J, et al. Export of toxic chemicals - A review of the case of uncontrolled electronic-waste recycling [J]. Environmental Pollution, 2007, 149(2): 131-140
- [27] Song Q, Li J. A systematic review of the human body burden of e-waste exposure in China [J]. Environment International, 2014, 68(4): 82-93