

文章编号: 1674-5566(2020)05-0675-10

DOI:10.12024/jsou.20190502660

## 长江安庆段一头死亡长江江豚元素含量分析

许萌原<sup>1</sup>, 方昕<sup>2</sup>, 宋卓<sup>1</sup>, 肖锦程<sup>1</sup>, 蔺丹清<sup>2</sup>, 张家路<sup>2</sup>, 尹登花<sup>2</sup>,  
徐跑<sup>2</sup>, 刘凯<sup>1,2</sup>

(1. 南京农业大学 无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081; 2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心 农业农村部长江下游渔业资源环境科学观测实验站, 江苏 无锡 214081)

**摘要:** 针对 2017 年 9 月 12 日发现于长江安庆段的 1 头野外死亡长江江豚样本(AQJT20170912), 采用电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES)测定其脑、心脏、肝脏、肺、肾、胃、肠、睾丸、肌肉、皮肤 10 种组织器官中钾(K)、钙(Ca)、钠(Na)、镁(Mg)、钴(Co)、铁(Fe)、铜(Cu)、锌(Zn)、铅(Pb)、镉(Cd)、汞(Hg)、砷(As)共 12 种元素的含量, 以期探究各元素在其组织器官中的累积特征。结果显示, 该样本 Fe、Cu、Zn、Pb、Cd、Hg 在不同组织器官中表现出差异性累积特征, 这与水生哺乳动物组织器官元素累积特征相似, 在一定程度上反映出各元素在不同组织器官中特有的生理功能。对比分析发现, 鲸类动物组织器官常量元素与微量元素的累积特征有一定规律, 并不因环境条件的改变而呈显著差别, 总体表现为 Na > K > Ca > Fe > Mg > Zn > Cu > Co。此外, AQJT20170912 各个组织器官中毒性元素 Pb、As 的含量均较高, 这应与其栖息环境的元素背景有关, 应予以关注。

**关键词:** 长江江豚; 组织器官; 常量元素; 微量元素; 毒性元素

**中图分类号:** Q 958.8      **文献标志码:** A

长江江豚 (*Neophocaena asiaorientalis asiaorientalis*) 是一种无背鳍的小型齿鲸, 隶属于鲸目 (Cetacea) 齿鲸亚目 (Odontoceti) 鼠海豚科 (Phocoenidae) 江豚属 (*Neophocaena*), 是鼠海豚科中唯一的淡水亚种<sup>[1]</sup>。其主要分布于长江中下游干流及洞庭湖和鄱阳湖<sup>[2]</sup>, 主要以鱼类为食, 处于食物链顶端, 是长江水生生态系统是否健康的重要指示物种。自 2007 年白鱀豚 (*Lipotes vexillifer*) 被宣告功能性灭绝以后, 长江江豚已成为长江中栖息的唯一鲸类动物<sup>[3]</sup>。自 20 世纪 80 年代至今, 长江江豚自然种群数量总体呈快速、持续下降的趋势, 且斑块化分布特征日趋显著<sup>[4,6]</sup>, 世界自然保护联盟物种生存委员会 (IUCN/SSC) 于 2013 年将长江江豚列为“极度濒危 (CR)”级, 农业农村部于 2014 年将长江江豚按照国家一级保护动物要求实施最严保护。尽管如此, 天然水域江豚死亡事件仍频频出现。因

2016 年在长江口和鄱阳湖松门山水域先后发现十余头死亡江豚, 农业农村部办公厅发布《关于加强长江江豚保护工作的紧急通知》, 提出了加强执法监管力度、开展江豚生存现状普查等一系列长江江豚保护措施。2018 年, 农业农村部长江流域渔政监督管理办公室发布《关于规范长江江豚死亡个体处理流程的通知》, 明确了长江江豚野外死亡个体处理单位, 进一步规范了处理流程。2018 年 7 月 24 日, 农业农村部正式发布了 2017 年长江江豚生态科学考察结果: 长江江豚种群数量约为 1 012 头, 其中长江干流 445 头, 洞庭湖 110 头, 鄱阳湖 457 头。长江江豚种群数量迅速下降的趋势得到遏制, 但种群数量极度濒危的现状没有改变, 保护形势依然严峻。2018 年杨光等从种群遗传结构、历史动态和适应性进化等方面系统地揭示了窄脊江豚 (*Neophocaena asiaorientalis*) 两个亚种——长江江豚与东亚江

收稿日期: 2019-05-15      修回日期: 2019-10-20

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务专项(2019JBFZ05)

作者简介: 许萌原(1997—), 女, 研究方向为水生生物学。E-mail: 2933131857@qq.com

通信作者: 刘凯, E-mail: liukai@ffrc.cn

豚(*Neophocaena asiaorientalis sunameri*)之间的显著差异与适应性分化,提出长江江豚具有独立的物种地位<sup>[7]</sup>,这一研究成果更加凸显了实施长江江豚抢救性保护工作的重要性和紧迫性。

钾(K)、钙(Ca)、钠(Na)、镁(Mg)是生物体的常量元素,具有维持体液酸碱平衡,调节渗透压,参与酶系统组成,维持组织器官正常生理活动等功能<sup>[8-11]</sup>。钴(Co)、铁(Fe)、铜(Cu)、锌(Zn)是生物体内的微量元素,参与生物体内大多数酶的组成和激活,同时参与维护神经系统正常功能与生物体的免疫调节<sup>[10,12-13]</sup>。常量元素和微量元素在生物体内参与维持渗透压和酸碱平衡,同时作为酶的辅基成分或酶的激活剂调节生命活动,对于维持神经和肌肉的正常敏感性有重要作用。生物体内微量元素含量过高会引起机体中毒,过低会引起缺乏症<sup>[14]</sup>。铅(Pb)、镉(Cd)、汞(Hg)、砷(As)属于毒性元素,它们通过多种渠道侵入生物体,危害生物体健康,在生物体内累积会对生物体生长和发育带来严重危害<sup>[15]</sup>。如Pb能够降低机体免疫力并缩短寿命,当Pb在体内累积达到一定的量将对生物体有强致毒作用<sup>[16]</sup>;As可与生物体中的酶结合抑制酶活性,导致代谢紊乱、神经衰弱、不良贫血等症状<sup>[17]</sup>,已成为全球最受关注的影响生物体健康的首要污染物之一<sup>[18]</sup>。

鲸类动物通常位于水生生态系统“金字塔”顶端,其体内组织器官中元素的分布和累积受到自身代谢特征的影响<sup>[20]</sup>,同时也与栖息地环境特征密切相关。作为鲸类动物及其栖息地研究保护的工作内容之一,已有学者对相关物种的元素累积特征进行了研究报道。其中包括了对长江江豚重金属元素的摄入与累积研究<sup>[19]</sup>,也包括对东亚江豚<sup>[20]</sup>、白鬚豚<sup>[21]</sup>和长江江豚<sup>[22]</sup>等死亡个体组织器官累积特征的研究。由于我国鲸类动物均为国家重点保护野生动物<sup>[23]</sup>,自然种群数量均较为稀少,野外死亡个体也不易获得,因此相关的研究报道较少。长江江豚的相关研究主要针对重金属污染元素,关于长江江豚主要组织器官中元素含量的系统研究较少。因此,本研究针对在长江安庆段采集的长江江豚野外死亡个体进行系统解剖采样,以期掌握其主要组织器官各类元素的累积特征,为长江江豚这一极度濒危物种的保护及长江水域生态环境修复提供基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

实验样本于2017年9月12日被发现搁浅死亡于长江安庆段(雄性,体质量46.93 kg,体长142.2 cm,轻度腐烂)。解剖后采集脑、心脏(左心室)、肝脏(中部)、肺(左肺)、肾(左肾)、胃、肠、睾丸、肌肉、皮肤共10种组织器官样本,其中脑、心脏、肝、肺、肾各取2份平行样本,胃按照前胃、主胃、幽门胃分别取样,肠按照前部、中部、后部分别取样,皮肤和肌肉按照头部、背部、腹部和尾部分别取样,样本置于-80℃冰箱中保存。

### 1.2 测定方法

(1)样品预处理:准确称取冻存样品0.3 g置于微波消解罐中,分别加入王水、氢氟酸各3 mL,盖紧罐盖。按照仪器操作方法将消解罐装入消解仪中,启动消解仪,150℃微波消解24 h,直至溶液澄清,待溶液冷却至室温后转移至25 mL容量瓶,用蒸馏水定容。

(2)样本过膜(0.2 μm)后使用电感耦合等离子体发射光谱仪(赛默飞-ICPA 7400)测定,根据标准曲线算出各组织器官中元素的含量。

### 1.3 数据分析

数据结果均以平均数±标准差(Mean±SD)表示,实验数据采用SPSS 17.0统计软件处理,采用独立样本T检验比较两组数据,符合正态的数据单因素方差分析(One-Way ANOVA),显著性差异设定为0.05,采用Excel软件进行常规计算分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 常量元素

AQJT20170912组织器官钾(K)、钙(Ca)、钠(Na)、镁(Mg)4种常量元素总体变幅为94.5~4 525.5 mg/kg。各组织器官中钾(K)的平均含量变幅为216.5~3 985.5 mg/kg,肾最高,皮肤最低,除皮肤外,其余组织器官含量均超过1 700 mg/kg,浓度梯度见图1a。钙(Ca)的平均含量变幅为194.5~1 157.75 mg/kg,皮肤最高,脑最低,除皮肤外,其余组织器官含量均在200 mg/kg左右,浓度梯度见图1b。钠(Na)的平均含量变幅为1 746.25~4 525.5 mg/kg,心脏最高,皮肤最低,含量与K处同一等级,均为 $3 \times 10^3$  mg/kg左

右,在各组织器官中的浓度梯度见图 1c。镁 (Mg) 的平均含量变幅为 94.5 ~ 160.5 mg/kg,心

脏最高,睾丸最低,其在各组织器官中累积较为均衡,与 Na 较为相似,浓度梯度见图 1d。

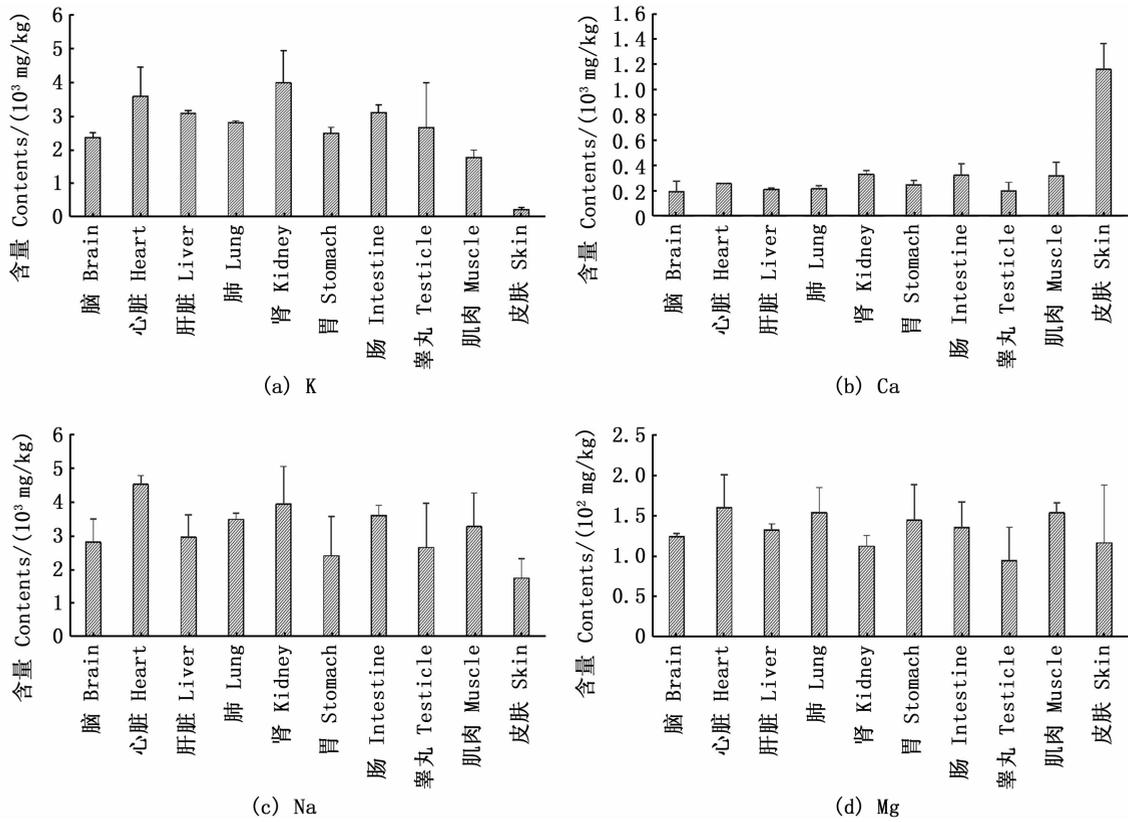


图 1 各组织器官常量元素含量均值  
Fig.1 The mean contents of constant elements in tissues and organs

### 2.2 微量元素

AQJT20170912 各组织器官中铁(Fe)的平均含量变幅为 77.5 ~ 269.5 mg/kg,肺和皮肤最高,分别为 269.5 和 264.75 mg/kg,睾丸最低为 77.5 mg/kg,其浓度梯度见图 2a。锌(Zn)的平均含量变幅为 15.65 ~ 216.18 mg/kg,皮肤中含量明显高于其他组织器官,为 216.18 mg/kg,其余组织器官含量均不超过 55 mg/kg,其浓度梯度见图 2b。而铜(Cu)和钴(Co)两种微量元素的总体变幅仅为 0.01 ~ 8.74 mg/kg,铜(Cu)在肝脏中含量最高,浓度为 8.74 mg/kg,其余各组织器官总体处于相对均衡状态,均不超过 4 mg/kg,其浓度梯度见图 2c。AQJT20170912 组织器官仅脑、肾、胃、肠中检测到钴(Co),平均含量为 0.047 mg/kg,其浓度梯度见图 2d。

### 2.3 毒性元素

AQJT20170912 组织器官铅(Pb)、镉(Cd)、汞(Hg)、砷(As)4种毒性元素的总体变幅为 0.07 ~ 7.15 mg/kg。各组织器官中铅(Pb)的平均含量变幅为 1.37 ~ 4.05 mg/kg,肌肉和皮肤最高分别为 3.3 mg/kg 和 4.05 mg/kg,肝脏最低为 1.37 mg/kg,其浓度梯度见图 3a。镉(Cd)的平均含量变幅为 0.11 ~ 2.16 mg/kg,肾最高,脑最低,除肾外,其余组织器官均不超过 0.6 mg/kg,其浓度梯度见图 3b。汞(Hg)的平均含量变幅为 0.07 ~ 0.64 mg/kg,肝脏和肾最高,分别为 0.64 mg/kg 和 0.56 mg/kg,皮肤最低为 0.07 mg/kg,其浓度梯度见图 3c。砷(As)的平均含量变幅为 5.13 ~ 7.15 mg/kg,肾最高,皮肤最低,砷(As)在各组织器官中含量较为均衡,其浓度梯度见图 3d。

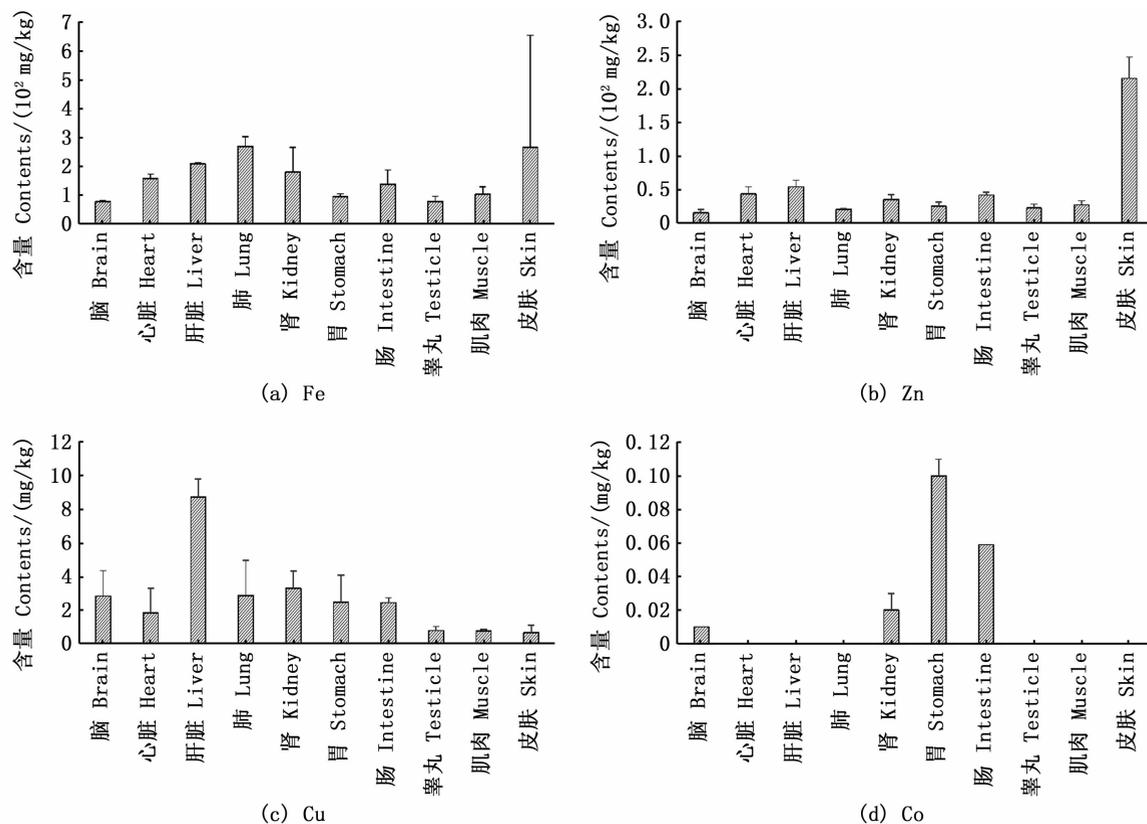


图2 各组织器官微量元素含量均值

Fig.2 The mean contents of trace elements in tissues and organs

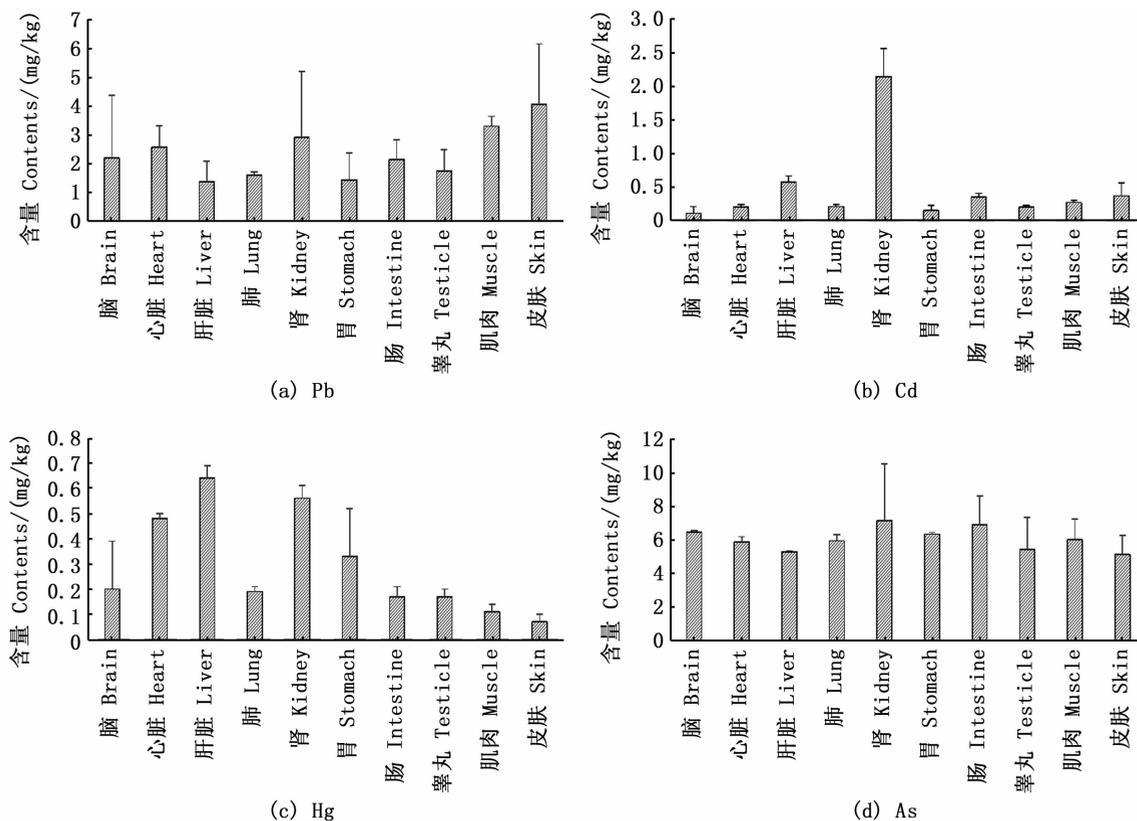


图3 各组织器官毒性元素含量均值

Fig.3 The mean contents of toxic elements in tissues and organs

表 1 AQJT20170912 各组织器官元素测定结果

Tab.1 The concentration of 12 metallic elements in tissues and organs of AQJT20170912 mg/kg

组织器官 Tissues and organs		元素 Element					
		K	Ca	Na	Mg	Co	Fe
	脑 Brain	2 362.0 ± 140.01	194.5 ± 81.32	2 809.0 ± 687.31	124.5 ± 3.54	0.01	77.6 ± 2.26
	心脏(左心室)Heart(left ventricle)	3 586.5 ± 873.28	256.0 ± 5.66	4 525.5 ± 263.75	160.5 ± 40.31	ND	157.0 ± 15.56
	肝脏 Liver	3 079.5 ± 88.39	210.5 ± 10.61	2 968.0 ± 661.85	132.5 ± 7.78	ND	208.0 ± 4.24
	肺 Lung	2 797.5 ± 57.28	217.5 ± 24.75	3 491.5 ± 183.14	154.0 ± 31.11	ND	269.5 ± 33.23
	肾 Kidney	3 985.5 ± 952.47	329.5 ± 30.41	3 936.0 ± 1 121.47	112.5 ± 13.44	0.02 ± 0.01	180.0 ± 86.27
	睾丸 Testicle	2 653.5 ± 1 339.97	200.0 ± 66.47	2 656.0 ± 1 305.32	94.5 ± 41.72	ND	77.5 ± 17.68
胃 Stomach	前胃 Fore-stomach	2 611	272	3 230	176	0.087	101
	主胃 Primary-stomach	2 360	220	1 592	113	0.103	87
	幽门胃 Pyloric-stomach	腐烂严重,未采集到样本					
	平均值 Average	2 485.5 ± 177.48	246 ± 36.77	2 411 ± 1 158.24	144.5 ± 44.55	0.1 ± 0.01	94 ± 9.9
肠 Intestine	前部 Forepart	3 016	252	3 452	102	0.059	154
	中部 Middle part	2 933	292	3 953	164	ND	177
	后部 Posterior	3 360	423	3 391	141	ND	81
	平均值 Average	3 103 ± 226.4	322.33 ± 89.44	3 598.67 ± 308.37	135.67 ± 31.34	0.059	137.33 ± 50.12
肌肉 Muscle	头部 Head	1 913	240	4 732	165	ND	68
	背部 Back	1 933	447	3 099	145	ND	127
	腹部 Abdomen	1 751	215	2 593	164	ND	95
	尾部 Rump	1 453	364	2 667	141	ND	119
	平均值 Average	1 762.5 ± 221.84	316.5 ± 108.69	3 272.75 ± 998.1	153.75 ± 12.53	ND	102.25 ± 26.58
皮肤 Skin	头部 Head	279	994	1 664	68	ND	51
	背部 Back	248	1 439	2 579	92	ND	64
	腹部 Abdomen	173	1 181	1 462	84	ND	93
	尾部 Rump	166	1 017	1 280	223	ND	851
	平均值 Average	216.5 ± 55.8	1 157.75 ± 205.16	1 746.25 ± 576.9	116.75 ± 71.53	ND	264.75 ± 391.23
组织器官 Tissues and organs		元素 Element					
		Cu	Zn	Pb	Cd	Hg	As
	脑 Brain	2.82 ± 1.51	15.65 ± 4.88	2.19 ± 2.19	0.11 ± 0.1	0.20 ± 0.19	6.46 ± 0.09
	心脏(左心室)Heart(left ventricle)	1.80 ± 1.48	43.60 ± 10.89	2.57 ± 0.74	0.20 ± 0.04	0.48 ± 0.02	5.88 ± 0.31
	肝脏 Liver	8.74 ± 1.07	54.60 ± 9.76	1.37 ± 0.7	0.58 ± 0.09	0.64 ± 0.05	5.30 ± 0.05
	肺 Lung	2.85 ± 2.11	20.70 ± 1.27	1.60 ± 0.1	0.21 ± 0.03	0.19 ± 0.02	5.95 ± 0.35
	肾 Kidney	3.29 ± 1.01	35.85 ± 6.86	2.90 ± 2.31	2.16 ± 0.42	0.56 ± 0.05	7.15 ± 3.37
	睾丸 Testicle	0.75 ± 0.25	22.75 ± 6.01	1.74 ± 0.75	0.20 ± 0.03	0.17 ± 0.03	5.42 ± 1.94
胃 Stomach	前胃 Fore-stomach	3.60	29.7	2.09	0.202	0.461	6.27
	主胃 Primary-stomach	1.32	20.8	0.77	0.092	0.195	6.40
	幽门胃 Pyloric-stomach	腐烂严重,未采集到样本					
	平均值 Average	2.46 ± 1.61	25.25 ± 6.29	1.43 ± 0.93	0.15 ± 0.08	0.33 ± 0.19	6.34 ± 0.09
肠 Intestine	前部 Forepart	2.59	43.4	2.73	0.402	0.204	4.97
	中部 Middle part	2.07	45.5	2.3	0.353	0.180	7.53
	后部 Posterior	2.6	37.9	1.39	0.291	0.124	8.21
	平均值 Average	2.42 ± 0.3	42.27 ± 3.92	2.14 ± 0.68	0.35 ± 0.06	0.17 ± 0.04	6.90 ± 1.71
肌肉 Muscle	头部 Head	0.84	21.8	3.54	0.28	0.104	6.73
	背部 Back	0.76	23.2	2.84	0.29	0.117	4.37
	腹部 Abdomen	0.67	29.6	3.59	0.234	0.064	5.80
	尾部 Rump	0.64	35.3	3.24	0.295	0.137	7.12
	平均值 Average	0.73 ± 0.09	27.48 ± 6.22	3.30 ± 0.34	0.27 ± 0.03	0.11 ± 0.03	6.01 ± 1.22
皮肤 Skin	头部 Head	0.41	200.9	2.93	0.219	0.091	6.01
	背部 Back	0.46	216.7	3.60	0.403	0.063	6.21
	腹部 Abdomen	0.39	186.7	2.51	0.232	0.103	3.92
	尾部 Rump	1.30	260.4	7.14	0.623	0.042	4.37
	平均值 Average	0.64 ± 0.44	216.18 ± 31.93	4.05 ± 2.11	0.37 ± 0.19	0.07 ± 0.03	5.13 ± 1.15

注:数据以平均值 ± 标准差表示

Notes: Data are expressed as Mean ± SD

### 3 讨论

已有研究表明,水生哺乳动物元素累积的“靶组织或器官”可能反映出不同元素在不同组织器官中特有的生理功能,如 Fe 和 Cu 在肝脏中含量最高,因为肝脏是储存 Fe 的主要器官<sup>[24]</sup>,同时肝脏作为解毒器官拥有许多含有 Cu 的酶<sup>[18]</sup>; Zn 在皮肤中含量最高,可能由于鲸类动物皮肤中需要大量的 Zn 以防止紫外线的伤害<sup>[25]</sup>;有毒元素 Pb、Cd 和 As 集中分布在肾中,这可能与肾脏是主要毒物代谢、转运和清除器官有关<sup>[26]</sup>。AQJT20170912 体内相关元素在各组织器官中的累积特征与此相近:Fe 和 Cu 主要富集于肝脏,Zn 在皮肤中含量最高,Cd 和 As 在肾中含量最高,Pb 则主要富集于皮肤、肌肉和肾脏。与杨健等<sup>[19]</sup>、张淮城等<sup>[20]</sup>报道的 As 主要富集于肝脏和皮肤中有所不同,AQJT20170912 体内 As 主要富集于肾、肠、胃。

有关鲸类动物组织器官元素累积特征的系统研究总体较少,为了更直观地表达各元素的累积特征,本研究检索了白鬻豚<sup>[21]</sup>、东亚江豚<sup>[20,27-28]</sup>、中华白海豚<sup>[29]</sup>和长江江豚<sup>[19]</sup>的同类报道进行对比分析,其中中华白海豚和长江江豚因实验方法有所差异,仅用于定性比较(见附表)。结果显示:AQJT20170912 与白鬻豚和东亚江豚相比,K、Cu、Zn 等常量元素和微量元素的含量基本相近;但毒性元素差异较大,AQJT20170912 组织器官 Pb 的含量极显著高于白鬻豚( $P < 0.01$ ),Cd 的含量明显高于白鬻豚,其均值分别为白鬻豚的 17.3 倍和 3.8 倍;Pb 和 As 的含量极显著高于东亚江豚( $P < 0.01$ ),其均值分别为东亚江豚的 17.2 倍和 14.4 倍。此外,就常量元素和微量元素平均含量的递变规律而言,AQJT20170912 表现为  $Na > K > Ca > Fe > Mg > Zn > Cu > Co$ ,这与上述引用的各研究报道总体相近。上述结果表明:鲸类动物常量元素和微量元素累积特征更多地取决于自身的生理功能,环境变化对其影响并不显著。但需要注意的是,AQJT20170912 组织器官毒性元素 Pb、Cd、As 含量远远高于白鬻豚和东亚江豚,这种差异应与其栖息环境中相关元素具有较高的背景值相关。尽管有资料表明,安庆市区湖泊群受到轻度到中度的 Pb 污染以及中度的 Cd 污染<sup>[30]</sup>,但由于缺乏

长江中下游干流系统的水体重金属污染特征资料,加之该样本已轻度腐烂,死亡时间超过 1 周,不能排除其死亡后从上游顺水漂流至发现地点的可能,难以准确判断其实际生活水域,因此上述结果尚无法从环境元素背景数据中得到验证。

由于相关研究十分匮乏,缺少长江江豚各主要组织器官元素累积特征的系统资料,因此本研究结果仅能用于相关研究素材的积累。今后在探究元素在长江江豚组织器官中的生理功能方向取得进展的基础上,进一步深入开展长江江豚营养化学和生态毒理学研究,重点关注长江江豚主要栖息地水环境质量及污染物特征,以期为野外死亡长江江豚死因诊断提供参考依据,同时为长江江豚及其栖息地保护乃至长江大保护提供支撑。

### 参考文献:

- [1] 高安利,周开亚. 中国水域江豚外形的地理变异和江豚的三亚种[J]. 兽类学报, 1995, 15(2): 81-92.  
GAO A L, ZHOU K Y. Geographical variation of external measurements and three subspecies of *Neophocaena phocaenoides* in Chinese waters [J]. Acta Theriologica Sinica, 1995, 15(2): 81-92.
- [2] 王克雄. 鄱阳湖——长江江豚最后的避难所? [J]. 大自然, 2007(3): 21-23.  
WANG K X. Poyang Lake-the last refuge of the Yangtze finless porpoise? [J]. China Nature, 2007(3): 21-23.
- [3] TURVEY S T, PITMAN R L, TAYLOR B L, et al. First human-caused extinction of a cetacean species? [J]. Biology Letters, 2007, 3(5): 537-540.
- [4] ZHAO X J, BARLOW J, TAYLOR B L, et al. Abundance and conservation status of the Yangtze finless porpoise in the Yangtze River, China [J]. Biological Conservation, 2008, 141(12): 3006-3018.
- [5] WANG D. Population status, threats and conservation of the Yangtze finless porpoise [J]. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2013, 27(1): 46-55.
- [6] MEI Z G, ZHANG X Q, HUANG S L. The Yangtze finless porpoise: on an accelerating path to extinction? [J]. Biological Conservation, 2014, 172: 117-123.
- [7] ZHOU X M, GUANG X M, SUN D, et al. Population genomics of finless porpoises reveal an incipient cetacean species adapted to freshwater [J]. Nature Communications, 2018, 9: 1276.
- [8] 张旗荣. 镁与人体健康 [J]. 福建轻纺, 1998(2): 1-5.  
ZHANG Q R. Magnesium and human health [J]. The Light & Textile Industries of Fujian, 1998(2): 1-5.
- [9] 孟惠平, 李冬莉, 杨延哲. 钙与人体健康 [J]. 微量元素

- 与健康研究, 2010, 27(5): 65-67.
- MENG H P, LI D L, YANG Y Z. Calcium and human health[J]. Studies of Trace Elements and Health, 2010, 27(5): 65-67.
- [10] 吴茂江. 钾与人体健康[J]. 微量元素与健康研究, 2011, 28(6): 61-62.
- WU M J. Potassium and human health[J]. Studies of Trace Elements and Health, 2011, 28(6): 61-62.
- [11] 陈霞飞. “盐”多必失——常量元素钠篇[J]. 质量与标准化, 2014(9): 24-25.
- CHEN X F. Much salt is lost——constant element Sodium [J]. Quality and Standardization, 2014(9): 24-25.
- [12] 路慧哲, 杜凤沛, 李向东. 保护人体健康的金属元素-铁、锌、钒[J]. 大学化学, 2010, 25(s1): 85-89.
- LU H Z, DU F P, LI X D. Metal elements that protect human health-iron, zinc, vanadium [J]. University Chemistry, 2010, 25(s1): 85-89.
- [13] 张万起. 必需微量元素与人体健康[J]. 中国社区医师, 2012, 28(40): 5.
- ZHANG W Q. Essential trace elements and human health [J]. Chinese Community Doctors, 2012, 28(40): 5.
- [14] 夏敏. 必需微量元素的生理功能[J]. 微量元素与健康研究, 2003, 20(3): 41-44.
- XIA M. The biochemical and physiological action of trace elements[J]. Studies of Trace Elements and Health, 2003, 20(3): 41-44.
- [15] 刘静, 李树先, 朱江, 等. 浅谈几种重金属元素对人体的危害及其预防措施[J]. 中国资源综合利用, 2018, 36(3): 182-184.
- LIU J, LI S X, ZHU J, et al. Discussion on the harm to human body by several kinds of heavy metal elements and preventive measures [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2018, 36(3): 182-184.
- [16] 李琼芳, 莫海洪, 张穗娟. 微量元素在生命体中的最适浓度[J]. 广东微量元素科学, 2003, 10(10): 14-17.
- LI Q F, MO H H, ZHANG S J. The best concentration of trace element in human body [J]. Guangdong Weiliang Yuansu Kexue, 2003, 10(10): 14-17.
- [17] 陈强. 砷的危害及其污染治理技术[J]. 福建农业科技, 2017(6): 67-69.
- CHEN Q. Arsenic hazards and its pollution control technology [J]. Fujian Agricultural Science and Technology, 2017(6): 67-69.
- [18] OREMLAND R S, STOLZ J F. The ecology of arsenic[J]. Science, 2003, 300(5621): 939-944.
- [19] 杨健, 尹君, 许海伦, 等. 长江江豚锌、铜、铅、镉和砷的摄入与累积[J]. 水生生物学报, 2005, 29(5): 557-563.
- YANG J, YIN J, XU H L, et al. The ingestion and accumulation of zinc, copper, lead, cadmium and arsenic in the Yangtze finless Porpoise, *Neophocaena phocaenoides asiaorientalis* [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2005, 29(5): 557-563.
- [20] 张淮城, 周荣, 周开亚, 等. 渤海江豚体内重金属的分布特征[J]. 中国环境科学, 1996, 16(2): 107-112.
- ZHANG H C, ZHOU R, ZHOU K Y, et al. The research of heavy metals in *Neophocaena phocaenoides* from Bohai Sea [J]. China Environmental Science, 1996, 16(2): 107-112.
- [21] 杨利寿, 余多慰, 陆佩洪. 白鱀豚和江豚体内几种金属元素和有机氯的研究[J]. 兽类学报, 1988, 8(2): 122-127.
- YANG L S, YU D W, LU P H. Studies on the levels of some metals and organochlorine compounds in *Lipotes vexillifer* and *Neophocaena phocaenoides* [J]. Acta Theriologica Sinica, 1988, 8(2): 122-127.
- [22] 陆佩洪, 夏娉娉, 黄斌. 白鱀豚和江豚肌肉中某些有毒物质和重金属元素的初步分析[J]. 南京师大学报(自然科学版), 1983(1): 77-79, 6.
- LU P H, XIA P P, HUANG B. Preliminary analysis of some toxic substances and heavy metal elements in muscle of lipotes vexillifer and finless porpoise[J]. Journal of Nanjing normal University (Natural Science Edition), 1983(1): 77-79, 6.
- [23] 国家重点保护野生水产动物名录[J]. 淡水渔业, 2004(1): 52.
- National list of key protected wild aquatic animals [J]. Freshwater Fisheries, 2004(1): 52.
- [24] CARNEIRO A A O, FERNANDES J P, ZAGO M A, et al. An alternating current superconductor susceptometric system to evaluate liver iron overload [J]. Review of Scientific Instruments, 2003, 74(6): 3098-3103.
- [25] YAN J, KUNITO T, TANABE S, et al. Trace elements in skin of Dall's porpoises (*Phocoenoides dalli*) from the northern waters of Japan: an evaluation for utilization as non-lethal tracers[J]. Marine Pollution Bulletin, 2002, 45(1/12): 230-236.
- [26] 胡樱凡, 向丽, 王平, 等. 大黄肝肾毒性及其减毒方法现代研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志, 2019, 25(11): 34-41.
- HU Y F, XIANG L, WANG P, et al. Hepatotoxicity and nephrotoxicity of Rhei radix et Rhizoma and its attenuation methods[J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2019, 25(11): 34-41.
- [27] 周荣, 吴文军, 周开亚. 渤海江豚组织中钠、钙、锶、镁、磷、钾的研究[J]. 海洋环境科学, 1996, 15(1): 28-34.
- ZHOU R, WU W J, ZHOU K Y. Study on Na, Ca, Sr, Mg, P and K in the finless Porpoise tissues in Bohai Sea [J]. Marine Environmental Science, 1996, 15(1): 28-34.
- [28] 周开亚, 侯亚义, 高安利, 等. 东海产江豚组织中的重金属研究[C]//中国动物学会成立纪念陈祯教授诞辰 100 周年论文集. 北京: 中国科学技术出版社, 1994: 201-211.
- ZHOU K Y, HOU Y Y, GAO A L, et al. Heavy metals in tissues of finless porpoise in East China Sea [C]// Proceedings of Ceremony for Professor Chen Zhen's 100 th

- Birthday. Beijing: Science and Technology of China Press, 1994; 201-211.
- [29] 陈炳耀, 顾舒荣, 翟飞飞, 等. 厦门中华白海豚体内微量元素初步分析[J]. 动物学杂志, 2007, 42(3): 102-105.
- CHEN B Y, GU S R, ZHAI F F, et al. A preliminary analysis on heavy metal concentrations in the Chinese White Dolphins in Xiamen[J]. Chinese Journal of Zoology, 2007, 42(3): 102-105.
- [30] 李法松, 韩铖, 林大松, 等. 安庆沿江湖泊及长江安庆段沉积物重金属污染特征及生态风险评价[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(3): 574-582.
- LI F S, HAN C, LIN D S, et al. Pollution characteristics and ecological risk assessment of heavy metals in the sediments from lakes of Anqing City and Anqing section of Yangtze River[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2017, 36(3): 574-582.

## Analysis of elements of a dead Yangtze finless porpoise (*Neophocaena asiaeorientalis asiaeorientalis*) in Anqing section of Yangtze River

XU Mengyuan<sup>1</sup>, FANG Xin<sup>2</sup>, SONG Zhuo<sup>1</sup>, XIAO Jincheng<sup>1</sup>, LIN Danqing<sup>2</sup>, ZHANG Jialu<sup>2</sup>, YIN Denghua<sup>2</sup>, XU Pao<sup>2</sup>, LIU Kai<sup>1,2</sup>

(1. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, Jiangsu, China; 2. Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources and Environment in the Lower Reaches of the Changjiang River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Freshwater Fisheries Research Center, CAFS, Wuxi 214081, Jiangsu, China)

**Abstract:** In order to explore the accumulation characteristics of elements in tissues and organs including brain, heart, liver, lung, kidney, stomach, intestine, testicle, muscle and skin of a dead Yangtze finless porpoise (*Neophocaena asiaeorientalis asiaeorientalis*), which was found in Anqing section of Yangtze River on September 12, 2017, we investigated the concentration of 12 elements (K, Ca, Na, Mg, Co, Fe, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, As) by inductively coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES). The results show that elements exhibit differential accumulation characteristics in different tissues and organs, which are similar to the accumulation characteristics in aquatic mammals. These cumulative features may be related to the specific functions of tissues and organs. The accumulation rule of the constant elements and trace elements in the cetacean is the same: Na > K > Ca > Fe > Mg > Zn > Cu > Co, and there is no significant difference due to the change of environmental conditions. Additionally, the content of toxic elements Pb and As in various tissues and organs of AQJT20170912 is relatively high, which may be related to the element background of the habitat environment and should be paid attention to.

**Key words:** Yangtze finless porpoise; tissues and organs; constant elements; trace elements; toxic elements

## 附录 AQJT20170912 与其他鲸类动物元素含量比较

## Appendix The comparison of element content between AQJT20170912 and other cetaceans

组织器官 Tissues and organs	种类 Kinds	元素 Element										备注 Note
		K	Na	Mg	Fe	Cu	Zn	Pb	Cd	Hg	As	
心脏 Heart	AQJT20170912	3 586.50	4 525.50	160.50	157.00	1.80	43.60	2.57	0.20	0.48	5.88	湿重浓度
	白鱀豚 <i>Lipotes vexillifer</i> <sup>[22]</sup>	-	-	-	48.18	3.05	12.61	0.12	0.01	-	-	湿重浓度
	东亚江豚 Narrow-ridge finless porpoise <sup>[21,28-29]</sup>	3 295.00	1 186.00	-	49.49	3.89	21.99	0.17	0.02	-	0.59	湿重浓度
	中华白海豚 <i>Sousa chinensis</i> <sup>[30]</sup>	-	-	802.10	-	52.72	144.00	4.11	0.83	12.38	0.78	干重浓度
	长江江豚 Yangtze finless porpoise <sup>[20]</sup>	-	-	-	33.17	9.93	58.63	0.23	0.08	-	0.51	干重浓度
肝脏 Liver	AQJT20170912	3 079.50	2 968.00	132.50	208.00	8.74	54.60	1.37	0.58	0.64	5.30	湿重浓度
	白鱀豚 <i>Lipotes vexillifer</i>	-	-	-	100.90	23.06	15.00	0.15	0.50	-	-	湿重浓度
	东亚江豚 Narrow-ridge finless porpoise	2 625.00	1 185.00	-	191.50	14.24	40.61	0.17	0.57	-	0.20	湿重浓度
	中华白海豚 <i>Sousa chinensis</i>	-	-	1 023.08	-	11.28	135.13	2.26	2.08	93.55	0.55	干重浓度
	长江江豚 Yangtze finless porpoise	-	-	-	170.37	26.08	98.52	0.18	1.12	-	0.08	干重浓度
肺 Lung	AQJT20170912	2 797.50	3 491.50	154.00	269.50	2.85	20.70	1.60	0.21	0.19	5.95	湿重浓度
	东亚江豚 Narrow-ridge finless porpoise	2 023.00	1 735.00	-	-	1.64	17.30	0.26	0.14	-	0.42	湿重浓度
	中华白海豚 <i>Sousa chinensis</i>	-	-	312.02	-	3.71	125.42	16.85	0.3	10.91	0.17	干重浓度
	长江江豚 Yangtze finless porpoise	-	-	-	-	4.56	80.70	-	0.36	-	-	干重浓度
	肾 Kidney	AQJT20170912	3 985.50	3 936.00	112.50	180.00	3.29	35.85	2.90	2.16	0.56	7.15
白鱀豚 <i>Lipotes vexillifer</i>		-	-	-	48.50	7.22	10.46	0.18	0.32	-	-	湿重浓度
东亚江豚 Narrow-ridge finless porpoise		2 617.00	1 590.00	-	58.92	4.26	18.92	0.07	3.23	-	0.50	湿重浓度
中华白海豚 <i>Sousa chinensis</i>		-	-	654.56	-	14.63	91.76	1.52	5.84	38.73	0.32	干重浓度
长江江豚 Yangtze finless porpoise		-	-	-	105.81	8.51	40.26	0.16	5.47	-	0.16	干重浓度
胃 Stomach	AQJT20170912	2 485.50	2 411.00	144.50	94.00	2.46	25.25	1.43	0.15	0.33	6.34	湿重浓度
	东亚江豚 Narrow-ridge finless porpoise	2 810.00	1 145.00	-	-	4.13	33.30	0.08	0.30	-	0.06	湿重浓度
	中华白海豚 <i>Sousa chinensis</i>	-	-	658.61	-	8.78	93.77	1.51	2.45	12.24	0.64	干重浓度
	长江江豚 Yangtze finless porpoise	-	-	-	-	14.50	106.00	-	0.64	-	0.05	干重浓度

· 续表 ·

组织器官 Tissues and organs	种类 Kinds	元素 Element										备注 Note
		K	Na	Mg	Fe	Cu	Zn	Pb	Cd	Hg	As	
肠 Intestine	AQJT20170912 东亚江豚 Narrow-ridge finless porpoise	3 103.00	3 598.67	135.67	137.33	2.42	42.27	2.14	0.35	0.17	6.90	湿重浓度
	中华白海豚 <i>Sousa chinensis</i>	-	-	783.47	-	5.94	121.46	1.07	0.55	20.19	0.99	干重浓度
	长江江豚 Yangtze finless porpoise	-	-	-	-	4.80	134.00	0.47	0.27	-	0.07	干重浓度
	AQJT20170912 白髯豚 <i>Lipotes vexillifer</i>	1 762.50	3 272.75	153.75	102.25	0.73	27.48	3.30	0.27	0.11	6.01	湿重浓度
肌肉 Muscle	东亚江豚 Narrow-ridge finless porpoise	3 640.00	600.00	-	103.49	1.50	13.90	0.07	0.01	-	0.59	湿重浓度
	中华白海豚 <i>Sousa chinensis</i>	-	-	860.25	-	4.48	68.91	1.03	0.11	14.18	0.85	干重浓度
	长江江豚 Yangtze finless porpoise	-	-	-	48.62	3.14	42.81	0.45	0.02	-	0.04	干重浓度
	AQJT20170912 东亚江豚 Narrow-ridge finless porpoise	216.50	1 746.25	116.75	264.75	0.64	216.18	4.05	0.37	0.07	5.13	湿重浓度
皮肤 Skin	长江江豚 Yangtze finless porpoise	-	-	-	-	1.53	579.00	-	0.03	-	0.22	干重浓度

### 来函照登

本人在贵刊2007年16卷第(4)期发表的题为“ $\text{Fe}^{2+}$ 、醋酸盐和双氧水对雨生红球藻积累虾青素的影响”的文章,由于我的疏忽造成作者简介错误,正确的作者简介应该改为“高政权(1972—):男,湖南安乡人,博士,讲师,从事蛋白质工程与藻类发育调控研究。E-mail: zq7723@126.com”。其他内容不变,特此声明。

声明人:高政权