

不同地点及性别的白鹭、池鹭羽毛的重金属含量分析

王翠榆, 陈 虎, 方 译, 王 进, 汪啟沙, 方文珍*

(厦门大学生命科学学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 测定了采自福建省 5 个地区和广东省汕头市的白鹭 (*Egretta garzetta*) 和池鹭 (*Ardeola bacchus*) 成鸟羽毛中铬 (Cr)、锰 (Mn)、镍 (Ni)、铜 (Cu)、锌 (Zn)、砷 (As)、镉 (Cd)、铅 (Pb) 7 种重金属元素的含量. 结果: 重金属在两种鹭鸟的羽毛中积累规律都为: $Zn > Cr > Cu > Pb > As > Cd$ 比较了武夷山、鸡屿、安海和汕头的白鹭羽毛样本的重金属的含量, 结果 Cr, Mn, Zn, As, Pb 的含量存在显著的地区性差异, 汕头地区的 Cr, As 含量最高而 Mn, Zn, Pb 含量最低; 比较了武夷山和建瓯池鹭羽毛样本的重金属的含量, 结果 Ni 和 As 的含量存在显著的地区性差异, 武夷山地区的 Ni 含量较高而 As 含量较低. 比较了武夷山地区池鹭、白鹭羽毛的重金属含量, Cr 和 As 在池鹭中较高, Zn 在白鹭中较高. 比较了汕头地区白鹭雌雄羽毛样本, 只有 Cd 的含量在雌性和雄性的羽毛中有显著差异.

关键词: 鹭鸟; 羽毛; 重金属污染; 生物监测

中图分类号: 958.15

文献标识码: A

文章编号: 0438-0479(2008)S2-0246-05

近年来随着工业的发展, 人类所排放的废水废气的增加, 使得湿地水域的重金属含量日益增高. 重金属污染是湿地生态系统的重要污染物, 被认为是影响鸟类生存和繁殖的影响因子之一. 鹭鸟作为水域生态系统中食物链的高级消费者, 其取食地水域的污染对其影响是非常大的. 反之, 鸟体组织中重金属浓度的高低也在一定程度反映了鸟类所处环境中重金属浓度的高低, 因此, 鹭鸟可以作为指示生物来监测水域的重金属污染.

国外对鸟类组织中重金属含量以及利用鸟类进行生态环境生物监测的研究较多而且较深入. 国内关于鹭鸟生态、繁殖等方面多有报道, 但有关鹭类重金属方面的研究相对不是很多, 许多研究都推荐将鹭科鸟类作为湿地生态系统及繁殖地周边环境重金属污染的指示生物^[1-9].

本研究利用近年来标本的积累, 测定了经济发展水平不同的福建省 5 个、广东省 1 个地点的白鹭、池鹭羽毛的重金属含量. 比较了不同地区同种鹭鸟、同一地区不同鹭鸟、同一地区同种鹭鸟雌雄的重金属含量. 以期阐明不同种类、不同性别鹭鸟在积累重金属元素方面的差异以及不同地区的重金属的污染状况.

1 材料与方法

1.1 研究样品采集和处理

白鹭 (*Egretta garzetta*): 汕头 8 只 (2007 年 5 月); 泉州安海 3 只 (2006 年 11 月); 厦门鸡屿 3 只 (2006 年, 2007 年 6 月); 武夷山 1 只 (2006 年 10 月).

池鹭 (*Ardeola bacchus*): 武夷山 3 只 (2006 年 10 月); 建瓯 3 只 (2006 年 11 月); 龙海浮宫 1 只 (2008 年 4 月).

所取得的白鹭及池鹭个体均为自然死亡的完整个体, 采集后经解剖确定雌雄. 样品保存于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰柜中. 解冻后取胸部覆羽, 用超纯水和丙酮交替清洗 4~8 次, 放入恒温干燥箱中烘干 12~24 h.

1.2 仪器和试剂

仪器: 马弗炉 (天津华北实验仪器公司), PE DRC-e 电感耦合等离子体质谱 (ICP-MS)、恒温干燥箱、超纯水设备 (Millipore).

试剂: 混合重金属元素标准溶液, 硝酸 (优级纯), 超纯水 (Millipore), 双蒸水和丙酮.

1.3 重金属含量测定

样品称重后 (约 0.2~0.4 g) 放入 20 mL 坩埚中, 用不锈钢眼科剪剪碎, 加入 2 mL 硝酸 (包括空白样品), 置于马弗炉中 $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 加热 4 h 灰化, 加 2 mL 硝酸溶解, 用超纯水定容于 50 mL, 再通过微孔滤膜过滤至 PET 瓶中, 置于阴暗处保存. 每个消解样品做 3 份平行, 并做相应的空白实验.

收稿日期: 2008-10-05

基金项目: 国家基础科学人才培养基金 国家基金 (J0630649) 和国家自然科学基金 (30570254) 资助

* 通讯作者: wzfang@xmu.edu.cn

用 ICP-MS 测定消解液中重金属含量, (单位 $\mu\text{g/g}$). 用超纯水将混合标准溶液逐级稀释为 40×10^{-9} , 20×10^{-9} , 10×10^{-9} , 得到混合标准溶液系列. 在优化的仪器条件下, 采集空白及标准溶液系列, 仪器自动绘制标准曲线. 各元素标准曲线的线性相关系数 r 均在 0.999 以上. 电感耦合等离子质谱仪建立分析程序, 利用 PFA 微流量同心雾化器所产生的自吸现象, 使样品消解液进入雾化器雾化后, 进入等离子体中, 运行分析程序, 同时测量 Cr Mn Ni Cu Zn As Cd Pb 这 8 种元素的信号强度, 通过标准曲线测定相应浓度. 样品中元素含量计算公式如下:

样品中重金属含量 = $(\rho - \rho_0) \times V / 1000M$

$\rho (\times 10^{-9})$ 为测定的重金属浓度, $\rho_0 (\times 10^{-9})$ 为空白液浓度, $V(\text{mL})$ 为样品消解液体积, $M(\text{g})$ 样品的质量.

1.4 统计分析

将数据导入 SPSS 15.0 for Windows 进行分析. 用 One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test 检验数据是否符合正态分布; 用 Independent-Samples T Test 比较两地区白鹭的差异, 同一地区两个物种的差异, 以及同一地区同一物种的两性差异; 用 One-Way ANOVA 中的 Duncan 多重比较来比较白鹭在不同地区之间的差异.

2 结果

2.1 地区差异

结果显示 (表 1, 2), 白鹭羽毛中, 8 种重金属含量的积累规律是 $\text{Zn} > \text{Cr} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Mn} > \text{Pb} > \text{As} > \text{Cd}$. 池鹭羽毛中, 8 种重金属含量的积累规律是 $\text{Zn} > \text{Cr} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Mn} > \text{Ni} > \text{As} > \text{Cd}$.

在白鹭的羽毛中, As ($p = 0.022$) 的含量存在显著的地区性差异; Cr ($p = 0.001$)、Mn ($p = 0.000$)、Zn ($p = 0.002$) 和 Pb ($p = 0.000$) 的含量存在极显著的地区性差异. As 和 Cr 的含量在汕头最高 (其它地区无两两差异), Mn、Zn 和 Pb 的含量在汕头最低 (其它地区无两两差异), 其中:

Cr 的含量汕头分别高于安海 ($p = 0.030$)、鸡屿 ($p = 0.000$) 和武夷山 ($p = 0.030$); Mn 的含量汕头分别低于安海 ($p = 0.000$) 和鸡屿 ($p = 0.000$); Zn 的含量汕头分别低于安海 ($p = 0.024$)、鸡屿 ($p = 0.007$) 和武夷山 ($p = 0.003$); As 的含量汕头分别高于鸡屿 ($p = 0.012$) 和武夷山 ($p = 0.037$); Cd 的含量安海分别高于武夷山 ($p = 0.024$); Pb 的含量在汕头分别低于安海、鸡屿和武夷山.

池鹭的羽毛中, As 的含量在建瓯地区较高 ($p = 0.021$), 而 Ni 的含量在武夷山地区较高 ($p = 0.015$).

2.2 种间差异

武夷山地区两种鹭鸟的羽毛中, Cr ($p = 0.012$) 和 As ($p = 0.008$) 在池鹭中较高, Zn ($p = 0.009$) 在白鹭

表 1 不同地区白鹭羽毛中的重金属含量
Tab 1 Concentration of heavy metals in feathers of Little Egrets at different sites ($\mu\text{g/g}$)

地点		Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
安海	平均值	42.038	4.719	5.008	29.977	78.867	0.269	0.034	2.717
	最小值	35.474	2.633	1.6273	21.4221	44.480	0.183	0.006	1.146
	最大值	53.545	8.387	15.51	40.48	184.083	0.397	0.057	4.981
汕头	平均值	54.949	2.396	4.820	27.331	54.628	0.456	0.022	0.891
	最小值	26.281	1.326	1.025	13.042	31.224	0.046	ND	0.020
	最大值	99.881	3.375	12.595	44.752	128.330	1.336	0.034	2.189
鸡屿	平均值	30.978	5.166	3.010	25.327	85.191	0.186	0.023	2.658
	最小值	10.627	3.051	1.461	18.109	62.949	0.075	0.011	1.783
	最大值	47.673	7.274	4.264	33.478	107.155	0.355	0.041	4.882
武夷山	平均值	33.797	3.709	4.247	26.916	107.644	0.107	0.009	2.204
	最小值	31.681	2.759	3.198	24.152	84.514	0.043	0.006	1.638
	最大值	36.382	4.341	5.421	30.917	127.189	1.336	0.011	2.534
地区间 (p)		0.001	0.000	NS	NS	0.002	0.022	NS	0.000

注: ND 表示 not detected 未检测到, NS 表示 nonsignificant 不显著, 括号中的百分数表示检出率, 下同.

表 2 不同地区池鹭羽毛中的重金属含量

Tab 2 Concentration of heavy metals in feathers of Chinese Pond-Herons at different sites		(μg/g)							
地点		Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
武夷山	平均值	54.565	6.991	5.456	35.682	72.771	0.265	0.022	3.128
	最小值	34.472	2.456	2.198	19.371	55.752	0.148	0.002	1.585
	最大值	67.171	13.424	9.304	51.915	92.749	0.378	0.049	4.496
建瓯	平均值	48.603	5.115	3.005	32.415	57.464	0.496	0.028	13.417
	最小值	39.197	2.527	1.318	25.846	34.402	0.277	0.002	2.719
	最大值	57.524	6.716	7.274	42.048	82.316	0.947	0.062	47.479
地区间 (p)		NS	NS	0.015	NS	NS	0.021	NS	NS

表 3 武夷山地区白鹭和池鹭羽毛中的重金属含量

Tab 3 Concentration of heavy metals in feathers of Little Egrets and Chinese Pond-Herons at Wuyi Mountain (dry weight)		(μg/g)							
地点		Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
白鹭	平均值	33.797	3.709	4.247	26.916	107.644	0.107	0.009	2.204
	最小值	31.681	2.759	3.198	24.152	84.514	0.043	0.006	1.638
	最大值	36.382	4.341	5.421	30.917	127.189	1.336	0.011	2.534
池鹭	平均值	54.565	6.991	5.456	35.682	72.771	0.265	0.022	3.128
	最小值	34.472	2.456	2.198	19.371	55.752	0.148	0.002	1.585
	最大值	67.171	13.424	9.304	51.915	92.749	0.378	0.049	4.496
地区间 (p)		0.012	NS	NS	NS	0.009	0.008	NS	NS

表 4 汕头地区白鹭两性个体的羽毛重金属含量

Tab 4 Concentration of heavy metals in feathers of male and female Little Egrets at Shantou (dry weight)		(μg/g)							
性别		Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
雄性	平均值	53.262	2.251	4.886	25.881	51.827	0.334	0.014	0.939
	最小值	26.281	1.548	1.025	17.447	31.224	0.113	ND	0.020
	最大值	82.862	3.030	12.354	44.752	107.058	0.590	0.022	1.987
雌性	平均值	55.842	2.473	4.789	28.098	56.111	0.529	0.030	0.865
	最小值	32.068	1.326	2.209	13.042	36.656	0.046	ND	0.061
	最大值	99.881	3.375	12.595	42.753	128.330	1.336	0.034	2.189
地区间 (p)		NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.037	NS

中较高. 对于 Mn、Ni、Cu、Cd 和 Pb 这些元素, 都没有发现显著差异 ($p>0.05$) (表 3).

2.3 性别差异

在汕头地区, 雌性白鹭的羽毛中 Cd 含量高于雄性 ($p=0.037$), 其它元素都无显著性差异 (表 4).

3 讨论

3.1 重金属积累规律

各地区的池鹭和白鹭羽毛中重金属含量的测定分析显示, 部分元素含量的积累规律为 $Zn>Cr>Cu>Pb>As>Cd$ 在其它组织和物种中也发现了与此相一致

的规律: $Zn > Cu > Pb > Cd$ ^[8-9, 12]. Zn 和 Cu 是生物体进行生理生化反应所必需的微量元素, 含量相对较高; 而 Pb 和 Cd 是对生物体有害的微量元素, 且 Pb 和 As 在生物体内不积累^[10], 因此含量相对较低.

3.2 地区性差异

白鹭羽毛样本我们比较了武夷山、鸡屿、安海和汕头的样本重金属的含量, 结果有 5 种重金属元素存在着显著的地区性差异. 汕头属于工业型发展城市, 当地的重金属污染较严重, 可能导致白鹭羽毛中的 Cr 和 As 这种对生物体有害元素的含量较高, 而 Mn 和 Zn 这种生物体必需元素的含量较低. 然而, Pb 的含量在汕头较低, 可能是武夷山、鸡屿和安海地区的铅污染较严重. 有待于对当地本底及工农业排污状况进行调查.

池鹭羽毛样本我们比较了武夷山和建瓯的样本重金属的含量, 只有 As 和 Ni 的含量存在显著的地区性差异, 而其它元素都无差异. 原因可能是武夷山和建瓯两地相距较近, 只有大约 1~2 h 的车程, 而鸟类的活动范围又比较广, 两地鹭鸟的觅食范围会有很大的重叠. 因此导致两地鸟类重金属含量差异不大.

3.3 种间差异

比较了武夷山地区池鹭、白鹭羽毛的重金属含量, Cr 和 As 在池鹭中较高, Zn 在白鹭中较高. 对于 Mn 、 Ni 、 Cu 、 Cd 和 Pb 这些元素, 则没有发现显著差异. 差异的产生可能主要是由于它们的食性差异造成的. 白鹭主要捕食小鱼虾、泥鳅、黄鳝、螺. 池鹭的食物以鱼类、蛙、昆虫为主. 据报道^[11], 白鹭雏鸟对鱼类的选择系数较大, 池鹭雏鸟对昆虫的选择系数较大. 所以, 白鹭主要反映湿地生态系统的重金属污染状况, 池鹭主要反映土壤生态系统的环境重金属污染状况. Zn 在水生生物中含量较高, 所以导致白鹭体内其含量高于池鹭的体内含量. 同时也反映了武夷山地区土壤环境中 Cr 和 As 的污染要大于其水域的污染, 是否是农药的过量使用, 有待进一步的调查.

3.4 性别差异

学者一般认为, 雌鸟可以通过产卵排除体内的一部分重金属元素, 以减轻身体负担, 所以雌鸟体内的重金属元素含量应该小于雄鸟. 但本次研究结果显示, Cd 在雌性白鹭中偏高, 其它元素都无显著性差异. 分析原因有两点: 首先, 有研究显示, 在鹭科鸟类体内 Cd 的含量偏低, 甚至检测不到, 本次研究也只有 1 只雌性和 1 只雄性检测到 Cd 的水平, 所以雌雄差异显著的原因可能是个体的差异造成. 其次, 本研究的样本采集于 2007 年 5 月, 白鹭群体刚进入繁殖期, 经解剖发现本次样本雌性个体还未产过卵, 应该是当年刚性成熟的

个体, 所以雌雄体内的重金属含量应该没有区别. 是否雌鸟通过产卵排除有害重金属则应该在鹭鸟繁殖期结束后, 采集亲鸟样本进行研究验证.

参考文献:

- [1] Fasola M, Movalli P A, Gandini C. Heavy metal organo-chlorine pesticide and PCB residue in eggs and feathers of herons breeding in northern Italy [J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 1998, 34: 87-93.
- [2] Spahn S A, Sherry T W. Cadmium and lead exposure associated with reduced growth rates, poorer fledging success of Little Blue Heron Chicks (*Egretta caerulea*) in South Louisiana Wetlands [J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 1999, 37: 377-384.
- [3] Connell D W, Wong B S F, Lam P K S, et al. Risk to breeding success of ardeidae by contaminants in Hong Kong: evidence from trace metals in feathers [J]. Ecotoxicology 2002, 11: 49-59.
- [4] Boncompagni E, Muhammad A, Jabeen R, et al. Egrets as monitors of trace metal contamination in wetland of Pakistan [J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 2003, 45: 399-406.
- [5] Kim J, Koo T H. Heavy metal concentrations in diet and livers of black-crowned night heron *Nycticorax nycticorax* and grey heron *Ardea cinerea* chicks from Pyeongtaek, Korea [J]. Ecotoxicology 2007, 16: 411-416.
- [6] Kim J, Koo T H. The use of feathers to monitor heavy metal contamination in herons, Korea [J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 2007, 53: 435-441.
- [7] Zhang Y, Ruan L, Fasola M, et al. Little Egrets (*Egretta Garzetta*) and trace-metal contamination in wetlands of China [J]. Environmental Monitoring and Assessment 2006, 118: 355-368.
- [8] 阮禄章, 张迎梅, 赵东芹, 等. 白鹭作为无锡太湖地区环境污染指示生物的研究 [J]. 应用生态学报, 2003, 14 (2): 263-268.
- [9] 王化可, 刘奇, 徐苗青, 等. 合肥地区重金属污染生物监测的初步研究—以大蜀山铅镉的白鹭监测为例 [J]. 江苏环境科技, 2005, 18 (4): 7-8.
- [10] Dauwe T, Bervoets L, Pinxten R, et al. Variation of heavy metals within and among feathers of birds of prey: effects of molt and external contamination [J]. Environmental Pollution 2003, 124: 429-436.
- [11] 周立志, 宋榆钧, 马勇. 紫蓬山区三种鹭雏鸟的食物多样性比较 [J]. 生态学杂志, 2000, 19 (2): 66-68.
- [12] 周晓平, 陈小麟, 方文珍, 等. 厦门白鹭保护区白鹭体内重金属含量的分析 [J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2004, 43 (3): 412-415.

(下转第 258 页)

- nuclear DNA sequence data[J]. BMC Evol Biol 2003, 3: 16–31.
- [25] Zhou X P, Wang Y Q, Chen X L, et al. A set of primer pairs for amplifying the complete mitochondrial DNA of endangered Chinese egret (Aves: Ardeidae: Egretta euphotes) [J]. Molecular Ecology Resources, 2008, 8: 412–414.
- [26] 王义权, 许群山, 彭宣宪, 等. 通过 Cyt b 基因同源序列比较评估厦门文昌鱼的分类学地位 [J]. 动物学报, 2004, 50 (2): 202–208.
- [27] 刘广贤, 孔繁华. 在 PCR 中引物退火的“末端效应” [J]. 军事医学科学院院刊, 1996, 20(2): 158.

The Taxonomic Status of Greater Painted-snipe (Aves: Rostratulidae) Inferred from Cytochrome b Gene

ZHANG Wei-cai ZHOU Xiao-ping CHEN Xiao-lin*

(School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract In this article we sequenced the complete mitochondrial cytochrome b (Cyt b) gene of greater painted-snipe (*Rostratula benghalensis*) and investigated the taxonomic status of it from the viewpoint of molecular biology. Integrating the complete sequences of Cyt b of other 22 species of Charadriiformes and white stork (*Ciconia ciconia*, Aves: Ciconiiformes) obtained from Genbank, we reconstructed the molecular phylogenetic trees of 23 species of Charadriiformes of which the outgroup was white stork by the methods of maximum parsimony, maximum likelihood and Bayesian inference. The results indicated that the painted-snipes formed a special clade of Scolopaci and their conventional family level in taxonomy should be retained.

Key words Rostratulidae; greater painted-snipe; cytochrome b; systematic classification

(上接第 249 页)

Analysis of Heavy Metal Concentrations in Feathers of *Egretta garzetta* and *Ardeola bacchus* of Different Sex from Six Sites

WANG Cui-yu CHEN Hu FANG Yi WANG Jin

WANG Qi-sha FANG Wen-zhen*

(School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract Concentrations of chromium, manganese, nickel, copper, zinc, arsenic, cadmium, and lead were determined in the feathers of adult Little Egrets (*Egretta garzetta*) and Chinese Pond Herons (*Ardeola bacchus*) from five sites in Fujian Province and one site in Guangdong Province. Generally, in both species, the heavy metal content was Zn > Cr > Cu > Pb > As > Cd. Significant between-area differences in Cr, Mn, Zn, As and Pb concentrations were found in the Little Egrets and Ni and As in the Chinese Pond Herons. For the Little Egrets, Shantou had the higher levels of As and the lower levels of Mn, Zn and Pb. For the Chinese Pond Herons, Wuyi Mountain had the higher level of Ni but the lower level of As. Interspecies differences were found in Cr, As and Zn levels. Chinese Pond Herons had higher levels of Cr and As while Little Egrets had higher level of Zn. Only Cd level differed significantly between male and female Little Egrets.

Key words ardeidae birds; feathers; heavy metal pollution; biomonitor