

包头南海子湿地三种鹭鸟羽毛与环境中 重金属含量的关系

刘利^① 张乐^① 孙艳^① 司万童^② 门中华^① 张梦蝶^① 刘晓光^{①*}

① 包头师范学院生物科学与技术学院 包头 014030; ② 内蒙古科技大学, 内蒙古自治区生物质能源化利用重点实验室
包头 014010

摘要: 于 2016 年 7 至 10 月采用电感耦合等离子体发射光谱法 (ICP-OES), 测定了内蒙古包头南海子湿地繁殖期过后的白琵鹭 (*Platalea leucorodia*)、苍鹭 (*Ardea cinerea*) 和夜鹭 (*Nycticorax nycticorax*) 3 种鹭鸟初级飞羽及环境因子 (水、土壤、食物) 中 As、Cd、Cr、Cu、Ni、Pb、Zn、Fe、Mn、Hg 10 种重金属的含量, 采用单因素方差分析方法比较了不同鹭鸟种类羽毛重金属含量差异, 并通过生物富集系数及 Pearson 相关性检验分析了羽毛与环境因子间重金属含量之间的关系, 以揭示包头南海子湿地环境中重金属污染现状及生物富集特征。结果表明: (1) 被检测的 10 种重金属中, As、Cd、Cr、Cu、Pb、Zn、Hg 7 种元素在湿地环境中均已超标, 尤其土壤中 Fe、Zn、Cu 已达到重度污染的程度。(2) 不同重金属元素在鹭鸟羽毛中的含量存在差异, 其中 Fe 元素在白琵鹭羽毛中的含量水平最高 (388.77 mg/kg), Cd 元素在夜鹭羽毛中的含量最低 (0.12 mg/kg)。在鹭鸟羽毛中重金属含量由高至低的顺序分别为, 白琵鹭 Fe、Zn、Mn、Cu、Hg、Cr、Ni、Pb、As、Cd, 苍鹭 Zn、Fe、Cu、Cr、Ni、As、Mn、Hg、Pb、Cd, 夜鹭 Zn、Fe、Mn、Cu、Ni、Pb、Hg、Cr、As、Cd。除 Pb 和 Cd 元素外, 其他 8 种元素含量在 3 种鹭鸟羽毛中的含量间差异显著。(3) 相关分析表明, 鹭鸟羽毛中的重金属含量与环境因子中的重金属含量显著相关且呈现富集特征, 为此可作为监测当地环境污染的指示性材料。

关键词: 鹭鸟; 羽毛; 重金属; 生物监测

中图分类号: Q958 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2018) 04-628-13

Relationship of Heavy Metal Contents between the Feathers of Three Ardeidae Species and Environment at the Nanhaizi Wetland in Baotou City

LIU Li^① ZHANG Le^① SUN Yan^① SI Wan-Tong^② MEN Zhong-Hua^①
ZHANG Meng-Die^① LIU Xiao-Guang^{①*}

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 31560598), 教育部留学回国人员科研启动基金项目 (No. 2014-1685), 内蒙古自治区自然科学基金项目 (No. 2015MS0321), 内蒙古留学回国人员科研启动基金项目 (No. 2015-339);

* 通讯作者, E-mail: lxx63121@163.com;

第一作者介绍 刘利, 男, 副教授; 研究方向: 鸟类生态学; E-mail: liuli4304842@126.com.

收稿日期: 2017-12-01, 修回日期: 2018-03-09 DOI: 10.13859/j.cjz.201804014

① Faculty of Biological Science and Technology, Baotou Teachers' College, Baotou 014030; ② Inner Mongolia Key Laboratory of Biomass-Energy Conversion, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China

Abstract: The Baotou Nanhaizi wetland is an important part of the Yellow River wetland ecosystem, served as a stopover for many migratory birds and water source for living in Baotou City. However, in recent years, the quality of wetland ecological environment has been declining due to effluence of industrial wastewater. Bird feathers can serve as indicators for environmental monitoring and indirectly help to assess a wetland ecological environment. After the breeding season, primary feathers of three heron species, the Eurasian Spoonbill (*Platalea leucorodia*), the Grey Heron (*Ardea cinerea*) and the Black-crowned Night Heron (*Nycticorax nycticorax*), and environmental factors (e.g., water, soil and food) were collected from the Nanhaizi wetland in Baotou, Inner Mongolia. In November, 2016, the heavy metal content was measured using an inductively coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES) for 10 elements, namely, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, and Hg. Differences of heavy metal contents of the feathers were compared using one-way ANOVA, the relationship of heavy metal contents between the feathers of three Ardeidae species and environment were analyzed by bioconcentration factor and Pearson correlation test to examine the status of heavy metal pollution and its enrichment characteristics in the Nanhaizi wetland. We found that: (1) The levels of As, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, and Hg had exceeded the standard in wetland environment, especially in soil, Fe, Zn and Cu had reached the level of severe pollution. (2) The remnants of different heavy metal elements in heron feathers varied among different species, with the highest being Fe of the Eurasian Spoonbill (388.77 mg/kg), and the least being Cd of the Black-crowned Night Heron (0.12 mg/kg). The decreasing order of heavy metal contents in the feathers of Eurasian Spoonbill was as follows: Fe > Zn > Mn > Cu > Hg > Cr > Ni > Pb > As > Cd, with Zn > Fe > Cu > Cr > Ni > As > Mn > Hg > Pb > Cd for the Grey Heron and Zn > Fe > Mn > Cu > Ni > Pb > Hg > Cr > As > Cd for the Black-crowned Night Heron. The levels of all detected elements (except Pb and Cd) differed significantly among the three species. (3) Pearson correlation analysis showed that the heavy metal contents in heron feathers were significantly correlated with that in the environment, and some metal elements were enriched in the feathers. In conclusion, bird feathers can be used as an indicator to monitor the local environmental pollution with the aim of providing a scientific basis for local governments to carry out assessments of the environment.

Key words: Ardeidae species; Feathers; Heavy metals; Biological indicator

重金属因其毒性强、难降解、具有富集效应等特征，对生物体具有严重的毒害作用，受污染环境中的重金属通过食物链传递最终会威胁人类健康，为此关于重金属环境污染问题倍受科学界和社会关注 (Fu et al. 2014)。矿石开采和加工是重金属污染环境的主要原因之一 (Shahbaz et al. 2013)。内蒙古自治区包头市是我国重要的钢铁工业基地和全球轻稀土产业中心，有“稀土之都”的称号，然而随着工业的

发展，每年都有大量废水排放到黄河，对周边水体 (Si et al. 2015)、蔬菜 (栗利曼等 2016) 及土壤 (黄哲等 2017) 等造成了一定程度污染。

包头南海子湿地保护区位于包头市东河区南侧 1.5 km 处，毗邻黄河，同时该湿地位于东亚和中亚候鸟迁徙路线上的重要交汇地带 (Zhang et al. 2012)，为众多候鸟重要的迁徙驿站 (李淑红等 2017) 和栖息繁殖地 (刘利等 2015)。鸟类作为食物链中的高级消费者，由于

生物富集作用, 其受环境中污染物的影响更加明显(李峰等 2007)。无损伤采样方法不会对鸟类造成伤害, 羽毛可作为理想的实验材料应用于生物监测(Padula et al. 2010), 通过测定羽毛中污染物可间接评价湿地的污染状况(Zhang et al. 2006)。近年来, 我国研究人员已经通过鹭科鸟类组织对安徽省(周立志等 2006)、福建省(王晓彦等 2009)、江苏省(Fu et al. 2014)等地进行了湿地污染物评价并为当地环境治理及生物多样性保护工作提供科学参考依据。但关于鹭科鸟类种间羽毛中重金属含量比较及生物富集的研究内容较少, 开展此方面研究将有利于生态环境监测和指示物的确立。包头南海子湿地是黄河湿地的重要组成部分, 但目前由于工业生产, 使湿地生态环境质量呈下降趋势, 进行环境污染对生物影响的评价, 对黄河湿地的生态系统的保护具有重要意义, 通过指示物进行生态监测也十分必要。

白琵鹭(*Platalea leucorodia*) 苍鹭(*Ardea cinerea*) 和夜鹭(*Nycticorax nycticorax*) 为包头南海子湿地优势种, 栖息范围遍及保护区。本研究选择这 3 种鹭鸟为研究对象, 探讨包头南海子湿地环境与鹭科鸟类羽毛中重金属含量特征及其相关性, 可以间接评价环境污染水平对鹭鸟健康的潜在威胁, 也可作为指示物来监测环境质量变化和污染程度, 以期为鸟类保护及环境质量监测和评价提供依据。

1 研究区域概况

包头南海子湿地保护区, 总面积 2 992 hm² (图 1), 其境内有 333 hm² 的湖泊南海子。该湿地是黄河变迁留下的故道, 是众多候鸟的迁徙驿站和繁殖栖息地, 2006 至 2007 年全年共记录湿地水鸟 128 种(王红霞等 2009)。保护区年平均气温 8.5 °C, 最低气温 -34.4 °C, 最高气温 38.4 °C, 年平均降水量 307.4 mm。南海子湿地被南绕城公路、景观路和浮桥路分隔成不同的功能区, 其中南海子湖泊南侧与南绕城公路北侧之间生长茂盛的芦苇(*Phragmites*

australis), 鹭鸟每年 3 月初飞临湿地, 4 月中上旬在压倒的芦苇上营巢。2015 至 2016 年的鸟类调查结果显示, 白琵鹭、苍鹭和夜鹭 3 种鹭鸟混群繁殖, 其中, 数量最多的为夜鹭, 50 巢左右, 其次为白琵鹭和苍鹭, 分别为 30 巢和 20 巢左右。保护区景观路北侧与南绕城公路南侧之间, 水域细长, 芦苇呈带状分布, 水深 1.5 ~ 2.0 m, 黄昏或清晨夜鹭经常隐蔽在芦苇下觅食。湿地核心区位于保护区最南侧, 水域面积较为宽阔, 水深 0.5 ~ 1.0 m, 岸边长有大量蒿草、灰菜(*Chenopodium album*) 等植物, 湿地核心区南侧有工业废水常年流经。

2 材料与方法

2.1 样本采集与处理

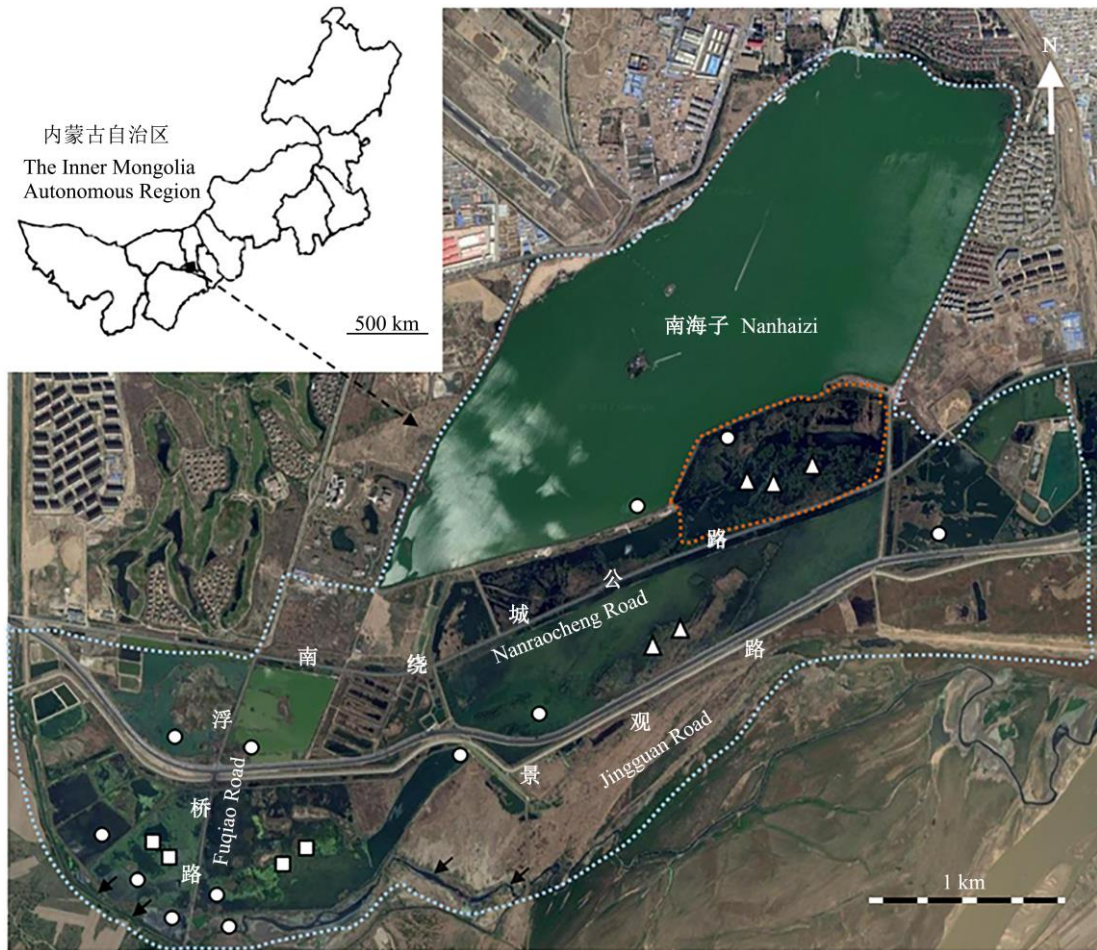
2016 年 7 月 28 日至 10 月 3 日, 采集繁殖期过后的 3 种鹭鸟自然脱落的初级飞羽及环境因子水样、土样及食物样本。

水样: 采集鹭鸟栖息地附近南海子湿地保护区表层水体共 12 个样本, 采样点见图 1, 采样后现场过滤, 加硝酸稀释至 pH 小于 2, 用稀硝酸浸泡过夜的聚乙烯瓶装水样带回实验室, 过 0.5 μm 孔径的滤膜, 冰冻保存, 解冻后直接上机测定。

土壤样品: 采集南海子湿地地表 0 ~ 20 cm 土壤样本 12 个, 采样点与水样相同, 采样后装入自封袋, 带回实验室自然风干, 用研钵碾碎, 称取 0.5 g 左右样品, 采用微波消解仪(CEM Mars6 美国)消解, 定容后待测。

生物样品: 乘皮划艇在鹭鸟采食区用网孔约为 0.5 cm 的网捞取食物, 其中动物性食物主要为鱼虾类, 包括小鲫鱼(*Carassius auratus*)、麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*) 和秀丽白虾(*Exopalaemon modestus*), 植物性食物主要为丝藻(*Ulothrix*), 将样品带回实验室洗净、烘干、碾磨。称取动、植物食物样本各 12 个, 每个样本 0.5 g 左右, 消解定容后待测。

羽毛样品: 为与鹭科其他鸟种区别, 选择繁殖群体较大, 羽色特征明显, 栖息活动范围



--- 南海子湿地保护区 Nahaizi Wetland Reserve; --- 鹭鸟繁殖区 Heron breeding area; △ 夜鹭羽毛采集区 Night Heron feather collection; □ 白琵鹭和苍鹭羽毛采集区 Eurasian Spoonbill and Grey Heron feather collection area; ○ 水和土壤样采集点 Water and soil-like collection points; → 污水渠 Foul sewer

图 1 包头南海子湿地保护区示意图

Fig. 1 The map of Nahaizi Wetland Reserve in Baotou City

相对固定的 3 种鹭鸟，白琵鹭、苍鹭和夜鹭为研究对象。通过长期监测发现，3 种鹭鸟繁殖期过后，在湿地的核心区及浮桥路北侧采食、栖息，夜鹭与另外 2 种鹭鸟不混群。采集白琵鹭和苍鹭的羽毛样本时，选择在 6 时左右到达湿地核心区，9 时左右鹭鸟觅食基本结束后，乘坐皮划艇在水面上寻找自然脱落的飞羽，每周进行 1 次，共计进行 5 次。采集夜鹭的飞羽时，主要选择在景观路北侧的区域进行，下午达到保护区，确定夜鹭的栖息采食范围，次日

清晨待大部分夜鹭采食结束后进行采样，样本的采集方法与另外 2 种鹭鸟的方法相同，每周进行 1 次，共计进行 6 次。采集羽毛后带回实验室辨认测量，辨认的方法参照《内蒙古动物志》(旭日干 2006) 及本学院动物实验室标本进行。白琵鹭飞羽特点为，羽片白色，羽根黑色，羽干白色且背侧有较细的黑色线条与黑褐色端斑相连，羽轴长 20.8 ~ 29.0 cm，羽片宽 3.3 ~ 4.8 cm；苍鹭的飞羽为黑色，外翮灰白色，羽根白色，羽干黑色，羽轴长 28.0 ~ 31.4 cm，羽

片宽 4.8 ~ 5.5 cm; 夜鹭的飞羽为灰白色略显棕色, 具白色端斑, 羽轴长 18.0 ~ 23.3 cm, 羽片宽 1.8 ~ 2.0 cm。采集后的初级飞羽每根作为一个独立样本, 每种鹭鸟选取 12 个样本进行检测。将选定的样本用蒸馏水、去离子水清洗后放入恒温烘箱内, 在 (80 ± 5) °C 下烘至恒重, 用陶瓷剪刀剪碎后, 称取待测样品, 消解定容后待测。

2.2 样品测定与分析

在内蒙古科技大学分析测试中心利用电感耦合等离子体原子发射光谱仪 (ICP-OES, PerkinElmer, Welleley, MA, USA) 对样本中 As、Cd、Cr、Cu、Ni、Pb、Zn、Fe、Mn、Hg 10 种重金属元素的含量进行测定。每个样本做 2 个平行样, 同时做 3 份试剂空白。

2.2.1 单因子污染指数法 单因子污染指数法是以土壤元素背景值为评价标准来评价单个重金属元素的污染程度 (郑国璋 2007), 表达式为 $P_i = C_i / S_i$, 式中, P_i 是 i 元素的污染指数, C_i 为 i 元素的实测浓度, S_i 为 i 元素的评价标准, 采用的标准为当地土壤元素背景值 (冷福荣等 1999)。根据 P_i 值的大小, 土壤污染程度可分 6 个水平, P_i 小于 1, 无污染; P_i 介于 1 ~ 2, 轻度污染; P_i 介于 2 ~ 3, 中度污染; P_i 介于 3 ~ 4, 污染较为严重; P_i 介于 4 ~ 5, 严重污染; P_i 介于 5 ~ 6, 严重污染到非常严重污染; P_i 大于 6, 非常严重污染 (Rashed 2010, Si et al. 2015)。

2.2.2 生物富集系数 (bioconcentration factor, BCF) 生物富集 (bioconcentration) 是指生物直接从环境或者食物中吸收摄取化学物质的过程。这个过程包括吸收和排除两方面, 吸收大于排除时, 毒物即在体内积累, 随暴露的时间延长积累越来越多, 当吸收等于排除时, 生物累积达到平衡 (黄玉瑶 2001)。生物富集系数 = 生物样本中化学物质含量 / 环境中化学物质含量。生物富集系数是化学物质积累特性的重要指标, 当其值大于 1, 表明富集 (夏秋焯等 2014, Plessl et al. 2017)。

数据用 SPSS 17.0 软件进行数据处理, 用

单因素方差分析及 LSD 多重比较法检验鹭鸟种间羽毛中金属元素含量差异性, 用 Pearson 相关性检验确定羽毛与环境因子中重金属含量的相关性。

3 结果

3.1 包头南海子湿地鹭鸟栖息地环境重金属污染状况

选择保护区内与鹭鸟生存密切相关的环境因子包括土壤、水、食物 (小鲫鱼、麦穗鱼、秀丽白虾和丝藻) 为检测对象, 检测其重金属含量 (表 1)。南海子湿地水样中的重金属含量与《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) (国家环境保护总局等 2002) 比较, 10 种被检测的金属元素中 As 和 Pb 在地表 I 类水范围内, Ni、Fe、Mn 没有国家标准, 另外 5 种元素 Cd、Cr、Cu、Zn、Hg 均已不同程度地超标, 其中 Hg、Cr 和 Zn 3 种元素分别超过国家 I 类水标准值约 500 倍、375 倍和 166 倍, Cd 和 Cu 分别超过国家 I 类水标准值约 38 倍和 15 倍。

通过食物资源调查, 将湿地中鹭鸟潜在的动物性食物 (小鲫鱼、麦穗鱼和秀丽白虾) 的重金属含量与《食品安全国家标准》(GB2762-2017) (国家卫生和计划生育委员会等 2017) 比较, 10 种金属元素中, Cd 和 Hg 元素在国家标准范围内, Ni、Fe 和 Mn 没有国家标准, 另外 5 种元素 As、Cr、Cu、Pb 和 Zn 均已超过国家标准, 分别约为国家标准值的 21 倍、15 倍、5 倍、53 倍和 7 倍。

南海子湿地土壤样品与《土壤环境质量标准》(GB15618-1995) (国家环境保护局等 1995) 比较, As、Cd、Cr、Ni、Pb 5 种元素在土壤 I 类范围内, Fe 和 Mn 没有国家标准, 另外 3 种元素 Cu、Zn、Hg 均已超过国家 I 类土壤标准值, 分别约为国家 I 类土壤标准值的 9 倍、3 倍和 4 倍。对照土壤质量分级标准 (表 2), 南海子湿地土壤 Fe 和 Cu 非常严重污染, Zn 已经达到重度污染水平, Ni 和 Mn 轻度污染, 其他 5 种土壤元素尚处于安全水平。

表 1 包头南海子湿地环境样品和 3 种鹭鸟羽毛中重金属含量 (mg/kg)

Table 1 Heavy metal content in Nanhaizi Wetland environmental samples and the feathers of three heron species (mg/kg)

	水样 Water	土壤 Soil	食物 (鱼、虾类) Prey (Fish, Shrimp)	丝藻 Ulothrix	白琵鹭 Eurasian Spoonbill	苍鹭 Gray Heron	夜鹭 Black-crowned Night Heron
As	0.003 ± 0.001	3.263 ± 0.320	2.134 ± 0.476	6.094 ± 2.048	1.58 ± 0.98	4.05 ± 2.24	0.64 ± 0.24
Cd	0.038 ± 0.008	0.157 ± 0.041	0.031 ± 0.009	0.421 ± 0.062	0.18 ± 0.10	0.26 ± 0.05	0.12 ± 0.08
Cr	3.754 ± 0.489	35.608 ± 4.936	30.110 ± 5.826	28.386 ± 11.922	2.99 ± 2.74	9.07 ± 7.45	2.02 ± 1.04
Cu	0.154 ± 0.030	320.463 ± 49.626	272.190 ± 35.456	174.374 ± 19.175	17.08 ± 3.17	10.21 ± 1.92	6.85 ± 2.86
Ni	0.004 ± 0.001	21.388 ± 1.143	24.519 ± 5.532	28.208 ± 8.519	2.58 ± 1.67	5.55 ± 2.82	4.02 ± 1.67
Pb	0.004 ± 0.001	17.265 ± 1.672	26.718 ± 3.929	31.687 ± 8.377	1.98 ± 1.23	1.79 ± 1.30	2.93 ± 1.28
Zn	8.281 ± 0.652	252.639 ± 10.773	344.784 ± 53.256	924.687 ± 106.21	90.81 ± 10.75	170.14 ± 44.82	125.50 ± 16.91
Fe	1.709 ± 0.204	965.105 ± 272.41	1683.548 ± 209.77	1536.885 ± 199.190	388.77 ± 29.24	142.48 ± 21.77	64.88 ± 59.40
Mn	0.017 ± 0.004	527.807 ± 41.747	288.861 ± 18.989	802.274 ± 54.064	77.18 ± 72.32	4.00 ± 0.94	30.26 ± 24.11
Hg	0.025 ± 0.007	0.687 ± 0.107	0.517 ± 0.051	0.797 ± 0.069	7.21 ± 2.88	2.08 ± 1.51	2.23 ± 1.56

表 2 包头南海子湿地土壤重金属污染状况

Table 2 Soil heavy metal pollution in the Nanhaizi wetland

项目 Items	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn	Hg
土壤元素背景值 Background level (mg/kg)	4.386	0.171	62.720	19.200	20.240	22.670	56.470	3.719	413.000	24.450
单因子污染指数 (P_1) Single factor index	0.744	0.915	0.568	16.691	1.057	0.762	4.474	259.507	1.278	0.028
污染程度 Pollution degree	无污染 None	无污染 None	无污染 None	非常严重污染 Very strong	轻度污染 None to medium	无污染 None	严重污染 Strong	非常严重污染 Very strong	轻度污染 None to medium	无污染 None

土壤背景值源于文献 (冷福荣等 1999)。Soil background values from the literature (Leng F R et al. 1999).

3.2 3 种鹭鸟羽毛重金属含量比较

3 种鹭鸟羽毛中 10 种重金属全部检出 (表 1)。白琵鹭羽毛中含量最高的元素为 Fe, 最低的为 Cd, 而苍鹭和夜鹭羽毛中, 重金属含量最高的都为 Zn, 最低的都为 Cd。羽毛中元素含量由高到低的顺序白琵鹭为 Fe、Zn、Mn、Cu、Hg、Cr、Ni、Pb、As、Cd, 苍鹭为 Zn、Fe、Cu、Cr、Ni、As、Mn、Hg、Pb、Cd, 夜鹭为 Zn、Fe、Mn、Cu、Ni、Pb、Hg、Cr、As、Cd。

3.3 重金属在 3 种鹭鸟羽毛中的分布特征

不同鹭鸟间羽毛中重金属含量差异见表 3, Cu 和 Zn 元素在 3 种鹭鸟羽毛间存在种间差异, 而 Pb 和 Cd 元素不存在种间差异, 其他 6

种元素在鹭鸟羽毛中的含量存在不同程度的种间差异。其中, As 和 Cr 元素在苍鹭羽毛中的含量最高, 在夜鹭羽毛中的含量最低 (表 1), 苍鹭与夜鹭、苍鹭与白琵鹭均差异极显著 ($P < 0.01$), 而夜鹭和白琵鹭间差异不显著。Cu 和 Fe 元素在白琵鹭羽毛中含量最高, 在夜鹭羽毛中含量最低 (表 1), Cu 元素在 3 种鹭鸟羽毛中的含量两两比较, 种间差异均极显著 ($P < 0.01$), 白琵鹭羽毛中 Fe 元素含量极显著高于苍鹭和夜鹭 ($P < 0.01$), 苍鹭与夜鹭羽毛中 Fe 含量差异不显著。Mn 元素在白琵鹭羽毛中的含量显著高于苍鹭和夜鹭 ($P < 0.05$), 但夜鹭和苍鹭羽毛间该元素的含量差异不显著。苍鹭

表 3 重金属元素在 3 种鹭鸟羽毛中各含量两两比较差异显著性 (P 值)

Table 3 Heavy metal was differed significantly in the feathers of three Ardeidae species (P value)

	苍鹭 vs 夜鹭 Gray Heron vs Black-crowned Night Heron	苍鹭 vs 白琵鹭 Gray Heron vs Eurasian spoonbill	夜鹭 vs 白琵鹭 Black-crowned Night Heron vs Eurasian Spoonbill
As	0.000	0.000	0.143
Cd	0.150	0.387	0.593
Cr	0.001	0.001	0.568
Cu	0.009	0.000	0.000
Ni	0.092	0.001	0.070
Pb	0.021	0.187	0.023
Zn	0.000	0.000	0.001
Fe	0.396	0.005	0.000
Mn	0.249	0.001	0.022
Hg	0.913	0.000	0.000

羽毛中 Ni 元素的含量极显著高于白琵鹭 ($P < 0.01$), 但夜鹭与苍鹭及夜鹭与白琵鹭的羽毛中该元素的含量差异不显著。Zn 元素在苍鹭羽毛中的含量最高, 在白琵鹭羽毛中的含量最低(表 1), 且两两差异分析显示, 3 种鹭鸟均存在极显著差异 ($P < 0.01$)。Hg 元素在白琵鹭羽毛中的含量最高, 且与夜鹭和苍鹭差异极显著 ($P < 0.01$), 而夜鹭和苍鹭羽毛间该元素种间差异不显著。

3.4 鹭鸟羽毛重金属生物富集特征

3.4.1 羽毛对环境因子中的重金属富集 本研究中的 3 种鹭鸟羽毛中重金属的含量受环境影响较大, 依据各类环境样品中重金属含量, 计算羽毛对环境中的重金属的富集系数(表 4)。对于水样本, 3 种鹭鸟羽毛中, 白琵鹭和夜鹭羽毛对 Cr 元素的富集系数小于 1, 其他 9 种被测元素的富集系数均大于 1, 构成富集; 对于土壤样本, 3 种鹭鸟羽毛中的 Hg 元素富集系数

均大于 1, 白琵鹭羽毛中的 Cd 以及苍鹭羽毛中的 As 和 Cd 对土壤样品的富集系数也都大于 1, 构成富集; 对于鱼虾类食物样本, 3 种鹭鸟羽毛中的 Cd 和 Hg 元素以及苍鹭羽毛中 As 元素的富集系数均大于 1, 构成富集。对于丝藻样本, 3 种鹭鸟羽毛中也是对 Hg 元素的富集系数均大于 1, 构成富集, 对其他 9 种重金属元素均不构成富集。

3.4.2 羽毛与环境关键因子间重金属的相关性

鸟类体内的重金属主要源于其栖息的环境, 尤其是食物, 本研究结合与鹭鸟生活密切相关的环境因子水、土壤、食物(小鲫鱼、麦穗鱼、秀丽白虾及丝藻)分析羽毛中重金属含量与环境重金属含量之间的相关性(表 5)。

水样中与鸟羽中元素含量相比, Cu 元素与白琵鹭羽毛中的含量呈显著负相关 ($P < 0.05$), Cr 元素与苍鹭羽毛中的含量显著正相关 ($P < 0.05$), As 元素与苍鹭羽毛中的含量极显著正

表 4 3 种鹭鸟羽毛对环境因子中重金属的富集系数

Table 4 Enrichment coefficient of heavy metals in environmental factors

	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn	Hg
白琵鹭 Eurasian Spoonbill										
羽毛-水 Feather-Water	526.667	4.737	0.796	111.909	645.000	495.000	10.966	227.483	4 540.000	288.400
羽毛-土壤 Feather-Soil	0.484	1.146	0.084	0.053	0.121	0.115	0.359	0.403	0.146	10.495
羽毛-食物(鱼、虾类) Feather-Prey (Fish, shrimp)	0.740	5.806	0.099	0.063	0.105	0.074	0.263	0.231	0.267	13.946
羽毛-丝藻 Feather-Ulothrix	0.25	0.428	0.105	0.098	0.091	0.062	0.098	0.253	0.096	9.046
苍鹭 Gray Heron										
羽毛-水 Feather-Water	1 350.000	6.842	2.416	66.299	1 387.500	447.500	20.546	83.370	231.294	83.200
羽毛-土壤 Feather-Soil	1.241	1.656	0.255	0.032	0.259	0.104	0.673	0.148	0.008	3.027
羽毛-食物(鱼、虾类) Feather-Prey (Fish, shrimp)	1.898	8.387	0.301	0.038	0.226	0.067	0.493	0.085	0.014	4.020
羽毛-丝藻 Feather-Ulothrix	0.665	0.618	0.320	0.059	0.197	0.056	0.184	0.093	0.005	2.608
夜鹭 Black-crowned Night Heron										
羽毛-水 Feather-Water	213.333	3.158	0.538	44.481	1 005.000	732.500	15.155	37.964	1 780.000	89.200
羽毛-土壤 Feather-Soil	0.196	0.764	0.057	0.021	0.188	0.170	0.497	0.067	0.057	3.245
羽毛-食物(鱼、虾类) Feather-Prey (Fish, shrimp)	0.300	3.871	0.067	0.025	0.164	0.110	0.364	0.039	0.105	4.313
羽毛-丝藻 Feather-Ulothrix	0.105	0.285	0.071	0.039	0.143	0.092	0.136	0.042	0.038	2.798

表 5 3 种鹭鸟羽毛及环境因子中重金属含量之间的相关系数

Table 5 Correlation coefficient between heavy metals and environmental factors in the feathers of three Ardeidae species

	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Mn	Hg
白琵鹭 Eurasian Spoonbill										
羽毛-水 Feather-Water	-0.029	-0.176	-0.023	-0.714*	-0.342	0.512	-0.415	0.006	-0.380	-0.269
羽毛-土壤 Feather-Soil	0.298	-0.010	0.383	0.403	-0.083	0.013	-0.132	0.493	0.070	0.034
羽毛-食物(鱼、虾类) Feather-Prey (Fish, shrimp)	-0.287	-0.578	0.237	-0.175	0.666*	0.158	0.023	0.661*	-0.124	-0.273
羽毛-丝藻 Feather-Ulothrix	0.256	-0.580	0.084	0.859**	0.583	0.430	0.170	0.297	0.226	-0.371
苍鹭 Gray Heron										
羽毛-水 Feather-Water	0.918**	0.318	0.660*	0.416	-0.069	0.328	0.396	-0.409	-0.338	0.408
羽毛-土壤 Feather-Soil	0.047	0.012	0.522	-0.319	0.124	-0.114	0.316	-0.421	0.012	0.019
羽毛-食物(鱼、虾类) Feather-Prey (Fish, shrimp)	0.500	0.139	0.434	0.062	0.484	-0.200	0.863**	-0.396	0.044	0.051
羽毛-丝藻 Feather-Ulothrix	0.147	0.287	-0.363	-0.758*	0.493	0.355	0.456	0.015	0.042	0.279
夜鹭 Black-crowned Night Heron										
羽毛-水 Feather-Water	0.013	0.029	-0.184	0.462	-0.097	-0.328	0.334	0.411	-0.431	0.194
羽毛-土壤 Feather-Soil	0.397	0.152	-0.347	0.226	-0.139	0.114	-0.095	0.130	-0.255	0.442
羽毛-食物(鱼、虾类) Feather-Prey (Fish, shrimp)	-0.450	0.738*	-0.181	0.536	0.104	0.200	0.126	-0.076	-0.060	0.752*
羽毛-丝藻 Feather-Ulothrix	0.074	0.238	0.550	0.072	0.271	-0.355	0.237	-0.026	0.516	0.656
食物(鱼、虾类)-水 Prey (Fish, shrimp) - Water	0.557	0.478	-0.053	0.246	0.007	-0.319	0.313	0.215	0.033	0.280
食物(鱼、虾类)-土壤 Prey (Fish, shrimp) - Soil	-0.297	-0.023	0.475	0.595	0.326	-0.021	0.198	0.526	-0.048	-0.004
食物(鱼、虾类)-丝藻 Prey (Fish, shrimp) - Ulothrix	0.159	0.621	-0.432	-0.045	0.564	-0.100	0.355	0.185	-0.043	0.848**
丝藻-水 Ulothrix-Water	0.380	0.249	0.038	-0.637*	-0.138	0.104	-0.197	0.471	-0.136	0.385
丝藻-土壤 Ulothrix-Soil	-0.374	0.085	-0.290	0.412	-0.117	0.477	0.698*	0.445	0.405	0.039
土壤-水 Water-Soil	-0.044	-0.258	0.572	0.098	0.145	0.254	0.100	0.324	0.384	-0.406

* $P < 0.05$, 相关显著, ** $P < 0.01$, 相关极其显著。* $P < 0.05$, significantly different, ** $P < 0.01$, extremely significantly different.

相关 ($P < 0.01$), 其他元素与鹭鸟羽毛中含量不相关。土壤样本中的 10 种重金属元素含量与鹭鸟羽毛中的含量均不相关。食物(鱼、虾类)中的 Ni、Fe 含量与白琵鹭羽毛中的含量显著正相关 ($P < 0.05$), 其他元素均不相关; 食物(鱼、虾类)中的 Zn 元素与苍鹭羽毛中呈极显著正相关 ($P < 0.01$); 食物(鱼、虾类)中的 Cd

和 Hg 元素与夜鹭羽毛中呈显著正相关 ($P < 0.05$)。丝藻中 Cu 元素含量与白琵鹭羽毛中含量呈极显著正相关 ($P < 0.01$), Cu 含量与苍鹭羽毛中含量呈显著负相关 ($P < 0.05$)。在环境因子中的元素相关性分析显示, Hg 元素含量在食物(鱼、虾类)与丝藻间极显著正相关 ($P < 0.01$), 而 Cu 元素含量是丝藻与水样呈显著

负相关 ($P < 0.05$)，Zn 元素丝藻与土壤极显著正相关 ($P < 0.05$)。

4 讨论

4.1 白琵鹭羽毛中重金属的富集特征

Hashmi 等 (2013) 在分析巴基斯坦的牛背鹭 (*Bubulcus ibis*) 和白鹭 (*Egretta garzetta*) 卵中重金属来源时指出，卵中的 Fe、Mn、Cu 含量较高，且与食物、巢区表层土壤中重金属的浓度相关。Ullah (2014) 在研究鹭鸟羽毛与环境中重金属含量之间的关系时指出，牛背鹭羽毛中含量较高的 Fe 元素主要源于巴基斯坦钢铁加工和工业废水排放。本研究白琵鹭羽毛中 Fe 和 Ni 元素的含量与鱼、虾类食物中的含量呈显著正相关，表明其来源于食物。本研究区域白琵鹭羽毛中的 Fe 和 Mn 元素的含量远高于韩国的夜鹭、苍鹭 (Kim et al. 2008) 和巴基斯坦牛背鹭 (Ullah et al. 2014) 的平均水平，另外，因子水和土壤中 Fe、Mn 元素的含量较高，尤其土壤中 Fe 元素远超过当地背景值，表明有外源加入，从调查中也能发现，保护区南侧，常年有工业废水流经，为此白琵鹭羽毛及其栖息环境中含量较高的 Fe、Mn 元素可能与本地工业废水排放有关。

Cu 是生物体内最基本的微量元素之一，但机体中含量较高的 Cu 会降低繁殖率 (Carpenter et al. 2004)。本研究白琵鹭羽毛中 Cu 的含量与江苏省大部分鹭鸟羽毛中的含量水平相当 (Fu et al. 2014)，但高于韩国 (Kim et al. 2008)、巴基斯坦 (Ullah et al. 2014) 的鹭鸟平均水平。环境因子分析显示，水体、鱼、虾类食物和土壤中的 Cu 元素已超标，尤其土壤样本中 Cu 已经达到重度污染水平。相关性分析表明，白琵鹭和苍鹭羽毛中 Cu 元素的含量与丝藻极显著相关，丝藻与水中的 Cu 元素含量呈显著相关，表明两种鹭鸟羽毛中的 Cu 可能来自水和丝藻，加之羽毛对水中的 Cu 表现明显的富集作用，所以可作为监测南海子湿地水环境中的 Cu 元素的指示性材料。

Hg 是一种能够引发生物机体不可逆损伤的重金属，其主要污染源为矿石开采、冶炼加工等行业排放的工业三废 (Burger et al. 1994)。白琵鹭羽毛中 Hg 的含量远高于江苏地区鹭科鸟类的平均水平，是该地区的 7 倍以上 (Zhang et al. 2006)，也远高于希腊 (Goutner et al. 1997)、纽约 (Padula et al. 2010)、突尼斯 (Abdennadher et al. 2011) 等地区鹭鸟羽毛的平均含量水平，环境因子分析也显示，南海子水样和土壤中的 Hg 元素超过国家 I 类标准，说明该湿地 Hg 的污染较为较重。3 种鹭鸟羽毛中的 Hg 对水样、土壤、食物均表现为富集，且丝藻、鱼虾类食物及夜鹭羽毛之间呈显著或极显著正相关，因此夜鹭鸟羽毛可作为环境中 Hg 元素监测指示性材料。

4.2 苍鹭羽毛中重金属的富集特征

王翠榆等 (2008) 在比较武夷山地区池鹭 (*Ardeola bacchus*) 和白鹭 (*E. garzetta*) 羽毛中的重金属含量时指出，对鱼类选择系数较大的白鹭羽毛中 Zn 的含量显著高于对昆虫选择系数较大的池鹭。林琳 (2007) 在分析鹭鸟食物中重金属含量时也指出，鹭鸟食物中鱼类含 Zn 量最高。本研究相关性分析表明，苍鹭羽毛中 Zn 元素与鱼虾类食物呈极显著正相关，这与上述结果类似，说明鱼虾类是苍鹭羽毛中 Zn 元素的主要来源。Zn 元素虽然是动物生长发育维持正常生理机能的必须微量元素，但摄入过量的锌会导致肾毒性，使鸟类的繁殖能力下降 (Carpenter et al. 2004)。本研究苍鹭羽毛中 Zn 的含量远高于目前国内外的报道水平 (Abdennadher et al. 2011, Fu et al. 2014, Ullah et al. 2014)，环境因子水样、土壤、鱼虾类食物中 Zn 的含量也超过国家标准，尤其土壤中 Zn 元素的含量已经达到重度污染程度，关于本地的 Zn 的污染问题应持续关注。

Cr 元素广泛存在于土壤、大气和水中，为机体必须微量元素，具有提高生长和免疫力的作用，但超过一定阈值的各种化合物的毒性也强弱不一。本研究中苍鹭羽毛中 Cr 的浓度普遍

高于江苏省 (Fu et al. 2014) 和纽约地区 (Padula et al. 2010) 鹭鸟的平均水平。另外也有报道指出, 牛背鹭羽毛中 Cr 元素含量超过 2.8 mg/kg 时会对其健康造成影响 (Ullah et al. 2014)。本研究苍鹭羽毛中的 Cr 平均含量是牛背鹭的 3 倍, 且与南海子湿地水样呈显著正相关, 南海子湿地的水样中 Cr 元素含量已远超过国家标准, 且苍鹭羽毛中 Cr 的含量对水样构成富集, 为此苍鹭羽毛可作为南海子湿地水环境 Cr 元素监测的指示性材料, 关于环境中 Cr 元素对及鹭鸟健康影响有待进一步研究。

另外, 苍鹭羽毛中 Ni 的含量显著高于白琵鹭, 与国内外的研究报道相比, 其含量水平与中国广东省安海、鸡屿地区白鹭和池鹭水平相当 (王翠榆等 2008), 高于江苏省 (Fu et al. 2014)、江西省 (夏秋焯等 2014) 及巴基斯坦 (Ullah et al. 2014) 的鹭鸟报道水平。苍鹭羽毛中 As 的含量高于目前国内外相关鹭鸟的报道水平 (Padula et al. 2010, Fu et al. 2014, 夏秋焯等 2014)。对湿地环境因子检测结果显示, 鱼虾类 As 元素的含量已经远超国家标准, 苍鹭羽毛中 As 元素与水样呈极显著正相关, 且构成富集, 为此苍鹭羽毛可作为评价湿地水环境 As 污染的指示性材料。

4.3 夜鹭羽毛中重金属的富集特征

Cd 元素是动物体非必须元素, 具有致癌、损伤睾丸组织等作用 (Burger et al. 2009)。羽毛中 Cd 的浓度高于 2 mg/kg 会使骨骼发育受损, 降低鸟的飞行能力 (Spahn et al. 1999), 本研究中夜鹭羽毛中 Cd 的含量水平低于此标准, 也低于江苏 (Fu et al. 2014) 和韩国 (Kim et al. 2008) 苍鹭的水平。但本研究地水样中 Cd 已超过国家地表水 I 类标准, 且羽毛与鱼、虾类食物间 Cd 元素的含量呈显著正相关, 说明夜鹭羽毛中的 Cd 主要来源于鱼虾类食物。关于环境中的 Cd 还有待于持续监测。

Pb 是机体非必须微量元素, 主要富集在鸟类骨骼和肾, 引起肾和血液中毒 (Mateo et al. 2003)。本研究夜鹭羽毛中 Pb 的含量高于白琵

鹭和苍鹭。高浓度的 Pb 会影响鸟类的行为、生理和营养代谢, 改变神经系统, 引起行为障碍和生长缓慢 (Dauwe et al. 2004)。本研究中夜鹭羽毛 Pb 的平均水平高于韩国 (Kim et al. 2008)、纽约 (Padula et al. 2010)、突尼斯 (Abdennadher et al. 2011) 等地区鹭鸟的平均含量。在环境因子检测过程中发现, 鱼虾类中 Pb 元素的含量已远超出国家标准, 相关性分析表明, 夜鹭羽毛中的 Pb 元素与鱼虾类食物不存在显著相关。关于 Pb 的污染和来源问题还有待于持续研究。

参 考 文 献

- Abdennadher A, Ram féz F, Romdhane M S. 2011. Little egret (*Egretta garzetta*) as a bioindicator of trace element pollution in Tunisian aquatic ecosystems. *Environmental Monitoring and Assessment*, 175(1/4): 677–684.
- Burger J, Gochfeld M. 1994. Behavioral impairments of lead-injected young herring gulls in nature. *Fundamental and Applied Toxicology*, 23(4): 553–561.
- Burger J, Gochfeld M. 2009. Mercury and other metals in feathers of common eider (*Somateria mollissima*) and tufted puffin (*Fratercula cirrhata*) from the Aleutian chain of Alaska. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 56(3): 596–606.
- Carpenter J W, Andrews G A, Beyer W N. 2004. Zinc toxicosis in a free-flying trumpeter swan (*Cygnus buccinator*). *Journal of Wildlife Diseases*, 40(4): 769–774.
- Dauwe T, Janssens E, Bervoets L. 2004. Relationships between metal concentrations in great tit nestlings and their environment and food. *Environ Pollution*, 131(3): 373–380.
- Fu J, Wang Q, Wang H, et al. 2014. Monitoring of non-destructive sampling strategies to assess the exposure of avian species in Jiangsu Province, China to heavy metals. *Environmental Science and Pollution Research International*, 21(4): 2898–2906.
- Goutner V, Furness R W. 1997. Mercury in feathers of Little Egret *Egretta garzetta* and Night Heron *Nycticorax nycticorax* chicks and in their prey in the Axios Delta, Greece. *Archives of*

- Environmental Contamination and Toxicology, 32(2): 211–216.
- Hashmi M Z, Malik R N, Shahbaz M. 2013. Heavy metals in eggshells of cattle egret (*Bubulcus ibis*) and little egret (*Egretta garzetta*) from the Punjab province, Pakistan. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 89: 158–165.
- Kim J, Koo T H. 2008. Heavy metal distribution in chicks of two heron species from Korea. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 54(4): 740–747.
- Mateo R, Beyer W N, Spann J W. 2003. Relationship between oxidative stress, pathology, and behavioral signs of lead poisoning in mallards. *Journal of Toxicology and Environmental Health: Part A*, 66(14): 1371–1389.
- Padula V, Burger J, Newman S H, et al. 2010. Metals in feathers of black crowned night heron (*Nycticorax nycticorax*) chicks from the New York Harbor Estuary. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 59(1): 157–165.
- Plessl C, Jandrisits P, Krachler R, et al. 2017. Heavy metals in the mallard *Anas platyrhynchos* from eastern Austria. *The Science of the Total Environment*, 580: 670–676.
- Rashed M N. 2010. Monitoring of contaminated toxic and heavy metals, from mine tailings through age accumulation, in soil and some wild plants at Southeast Egypt. *Journal of Hazardous Materials*, 178(1/3): 739–746.
- Shahbaz M, Hashmi M Z, Malik R N, et al. 2013. Relationship between heavy metals concentrations in egret species, their environment and food chain differences from two Headworks of Pakistan. *Chemosphere*, 93(2): 274–282.
- Si W T, Liu J M, Cai L, et al. 2015. Health risks of metals in contaminated farmland soils and spring wheat irrigated with Yellow River Water in Baotou, China. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 94(2): 214–219.
- Spahn S A, Sherry T W. 1999. Cadmium and lead exposure associated with reduced growth rates, poorer fledging success of little blue heron chicks (*Egretta caerulea*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 37(3): 377–384.
- Ullah K, Hashmi M Z, Malik R N. 2014. Heavy metal levels in feathers of cattle egret and their surrounding environment: a case of the Punjab Province, Pakistan. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 66(1): 139–153.
- Zhang Y M, Jia Y F, Jiao S W, et al. 2012. Wuliangshai wetlands: a critical habitat for migratory waterbirds. *Journal of resources and ecology*, 3(4): 316–323.
- Zhang Y, Ruan L, Fasola M. 2006. Little Egrets (*Egretta garzetta*) and trace metal contamination in wetlands of China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 118(1/3): 355–368.
- 国家环境保护局, 国家技术监督局. 1995. 中华人民共和国土壤环境质量标准. [EB/OL]. [1995-07-13]. http://kjs.mep.gov.cn/hjbhbz/bzwb/trhj/trhjzlbz/199603/t19960301_82028.shtml.
- 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. 2002. 中华人民共和国地表水环境质量标准. [EB/OL]. [2002-04-28]. http://kjs.mep.gov.cn/hjbhbz/bzwb/shjhb/shjzlbz/200206/t20020601_66497.htm.
- 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 2017. 中华人民共和国国家标准, 食品安全国家标准, 食品中污染物限量. [EB/OL]. [2017-03-17]. <http://bz.cfsa.net.cn/db>.
- 黄玉瑶. 2001. 内陆水域污染生态学. 北京: 科学出版社, 75–97.
- 黄哲, 曲世华, 白岚, 等. 2017. 包头城区土壤重金属空间分布特征及污染评价. *环境工程*, 35(5): 149–153.
- 冷福荣, 曹金虎, 丁天才. 1999. 包头地区土壤环境质量地球化学初步评价. *内蒙古地质*, 91(2): 27–39.
- 李峰, 丁长青. 2007. 重金属污染对鸟类的影响. *生态学报*, 27(1): 296–303.
- 李淑红, 孟维悦, 陈丽霞, 等. 2017. 黄河中上游春季迁徙期水鸟群落及大天鹅活动特征. *生态学杂志*, 36(7): 1910–1916.
- 栗利曼, 刘菊梅, 沈渭寿, 等. 2016. 包头工业区蔬菜重金属富集及人群健康评价. *中国蔬菜*, 1(1): 54–59.
- 林琳. 2007. 鹭类食物的重金属含量及其对鹭卵的影响. 厦门: 厦门大学硕士学位论文.
- 刘利, 张乐, 司万童, 等. 2015. 包头南海子湿地普通燕鸥巢址选择研究. *湿地科学*, 13(4): 472–477.
- 王翠榆, 陈虎, 方译, 等. 2008. 不同地点及性别的白鹭、池鹭羽毛的重金属含量分析. *厦门大学学报: 自然科学版*, 47(增刊 2): 246–250.
- 王红霞, 杨贵生, 徐英, 等. 2009. 内蒙古包头南海子湿地鸟类群落组成及多样性. *动物学杂志*, 44(2): 71–77.
- 王晓彦, 陈小麟, 林清贤, 等. 2009. 黄嘴白鹭卵的重金属含量与

- 分布分析. 厦门大学学报: 自然科学版, 48(4): 606–609. 大学出版社, 74–121.
- 夏秋焯, 倪才英, 赵中华, 等. 2014. 鄱阳湖夏候鸟小白鹭对环境 郑国璋. 2007. 农业土壤重金属污染研究的理论与实践. 北京: 中
样品中重金属的富集研究. 长江流域资源与环境, 23(11): 国环境科学出版社, 101–104.
- 1540–1544. 周立志, 李进华, 张磊, 等. 2006. 颍上八里河自然保护区鹭卵 3
旭日干. 2006. 内蒙古动物志: 鸟纲 非雀形目. 呼和浩特: 内蒙古 种重金属残留分析. 动物学杂志, 41(2): 48–52.

湖南壶瓶山发现刘氏链蛇

白林壮^① 王凯^② 康祖杰^① 廖庆义^① 刘美斯^①

① 湖南壶瓶山国家级自然保护区管理局 常德 415319;

② Sam Noble Museum of Natural History, University of Oklahoma, Oklahoma USA 73072

Lycodon liuchengchaoi Found in Hupingshan, Hunan, China

自原始描述发表以来, 刘氏链蛇 (*Lycodon liuchengchaoi* Zhang, Jiang, Vogal, Rao, 2011) 仅已知分布于四川 (中部、西北部) (Zhang et al. 2011)、陕西 (南部) (彭丽芳等 2014)、安徽 (Zhang et al. 2015) 及浙江 (彭丽芳等 2017) 四省。2016 年 7 月 21 日, 作者于湖南壶瓶山国家级自然保护区的落叶阔叶林 (110°47'23.45"E, 30°03'42.27"N, 海拔 1 421 m) 采集到雄性成体蛇类标本 1 号 (标本号: 20160721303, 图 1), 标本保存在湖南壶瓶山国家级自然保护区标本馆。经形态鉴定比较, 该标本与刘氏链蛇原始描述及后补充描述最为接近, 故鉴定为刘氏链蛇, 且为湖南省蛇类物种分布新记录种。

标本头体长 431 mm, 尾长 99 mm; 头长 8.65 mm, 头宽 5.98 mm。吻鳞近梯形; 前、后鼻鳞各 1 枚; 颊鳞 1 枚, 入眶, 不与鼻间鳞相接; 鼻间鳞 1 对; 前额鳞 1 枚, 眶后鳞 2 枚; 上唇鳞 8 枚, 3~5 枚入眶; 下唇鳞 8 枚, 前 5 枚切颌片; 颌片 2 对。背鳞 17-17-15, 起棱极其微弱; 腹鳞 202 枚; 肛鳞二分, 尾下鳞成双, 90 对。生活时背面黑色, 自头至尾伴有浅橘黄色环纹; 环纹向腹部延伸连续至腹面。

相比较原始描述, 湖南标本吻合刘氏链蛇鉴别特征, 但亦表现出一定的形态差异, 包括尾下鳞数较多及身体环纹数量相对较少。新增标本形态数据和扩大的分布范围为今后刘氏链蛇的分类及种群研究提供了新的材料。

(下转第 659 页)

第一作者简介 白林壮, 男, 工程师; 研究方向: 野生动植物保护与自然保护区管理; E-mail: 766321406@qq.com。

收稿日期: 2017-09-09, 修回日期: 2018-02-13 DOI: 10.13859/j.cjz.201804024