

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学号: 21620071151951

UDC \_\_\_\_\_

# 厦 门 大 学

## 硕 士 学 位 论 文

### 黄嘴白鹭(*Egretta eulophotes*)对重金属元素富 集、排除机制的研究

### 及其集群繁殖对营巢地土壤的影响

Mechanisms of Heavy metals enriching and excreting in  
*Egretta eulophote*  
and Impact of Colonial Breeding on Heronry Soils

马菡静

指导教师姓名:

专 业 名 称:

论文提交日期:

论文答辩时间:

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2010 年 05 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。
2. 不保密，适用上述授权。

声明人（签名）：

年 月 日

# 目 录

摘 要	I
ABSTRACT	III
第一章 前言	1
1.1 重金属污染与湿地生态系统	1
1.2 重金属污染对鸟类的影响	2
1.3 重金属的生物富集	4
1.4 鹭科鸟类重金属污染的研究现状	5
1.5 黄嘴白鹭概况	8
1.6 本课题研究的内容、目的和意义	10
第二章 材料与方法	11
2.1 研究地点概况	11
2.2 仪器和试剂	11
2.2.1 仪器	11
2.2.2 试剂	12
2.3 研究方法	12
2.3.1 样品采集	12
2.3.2 实验原理	13
2.4 实验步骤	13
2.4.1 样品制备	13
2.4.2 样品消解	14
2.4.3 ICP-MS	15
2.4.4 数据处理	15
第三章 结果及分析	16
3.1 大屿人工养殖黄嘴白鹭各组织中重金属元素的含量分析	16
3.2 大屿人工养殖黄嘴白鹭食物链中重金属含量分析	31

3.2.1	大屿人工养殖黄嘴白鹭食物及环境中重金属等元素的含量.....	31
3.2.2	大屿人工养殖黄嘴白鹭食物链到各组织中的积累情况 .....	32
3.3	大屿人工养殖黄嘴白鹭 190 日龄内胸羽中重金属元素含量的变化.....	33
3.4	大屿人工养殖黄嘴白鹭 30 日龄自然死亡雏鸟与同龄雏鸟胸羽中重金属含量的 差异性分析.....	37
3.5	菜屿黄嘴白鹭食物链中重金属含量分析.....	38
3.5.1	菜屿周围环境与黄嘴白鹭各组织中的重金属等元素的含量分析 .....	38
3.5.2	菜屿食物链重金属等元素富集分析 .....	39
3.6	黄嘴白鹭集群繁殖对菜屿营巢地土壤重金属等元素积累分析 .....	41
3.6.1	土壤中重金属元素的含量及变化 .....	41
3.6.2	黄嘴白鹭排泄物中的重金属元素的含量 .....	42
<b>第四章</b>	<b>讨论.....</b>	<b>44</b>
4.1	各重金属元素在黄嘴白鹭组织中的富集及排出机制的分析 .....	44
4.2	黄嘴白鹭食物链中重金属元素的富集规律.....	54
4.3	黄嘴白鹭集群繁殖对菜屿营巢地土壤重金属元素积累效应的研究.....	56
<b>第五章</b>	<b>小结和展望 .....</b>	<b>59</b>
	<b>参考文献.....</b>	<b>61</b>
	<b>致谢 .....</b>	<b>70</b>

# Content

<b>Chinese Abstract</b> .....	<b>I</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>III</b>
<b>Chapter one Preface</b> .....	<b>1</b>
1.1 Heavy metal pollution and wetland ecosystem .....	1
1.2 The affect of heavy metal on birds .....	2
1.3 Bioaccumulation of heavy metals .....	4
1.4 Present research situation of heavy metal pollution of herons .....	5
1.5 Introduction of egretta eulophotes .....	8
1.6 The study of the subject content, purpose and meaning .....	10
<b>Chapter two Materials and methods</b> .....	<b>11</b>
2.1 Introduction of site .....	11
2.2 Instrument and reagent .....	11
2.2.1 Instrument .....	11
2.2.2 Reagents .....	12
2.3 Methods .....	12
2.3.1 Samples collection .....	12
2.3.2 Principle .....	13
2.4 Approach .....	13
2.4.1 Sample preparation .....	13
2.4.2 Digestion .....	14
2.4.3 ICP-MS .....	15
2.4.4 Data processing .....	15
<b>Chapter three Results and analysis</b> .....	<b>16</b>
3.1 Analysis of elements concentration in in the tissues of egretta eulophote in day .....	16
3.2 Analysis of elements concentration in food chain of artificial breeding egretta eulophotes in dayu .....	31
3.2.1 Concentration of elements in food and environment of artificial breeding	

Egretta eulophotes in dayu.....	31
3.2.2 Accumulation of elements from food to tissues of artificial breeding Egretta eulophotes in dayu.....	32
<b>3.3 Concentration and difference of elements in chest feather of artificial breeding Egretta eulophotes in dayu.....</b>	<b>33</b>
<b>3.4 Concentration and difference of elements in chest feather of live and dead Egretta eulophotes in dayu.....</b>	<b>37</b>
<b>3.5 Analysis of elements concentration in food chain of caiyu.....</b>	<b>38</b>
3.5.1 Concentration of elements in the environment and tissues of Egretta eulophotes in caiyu islan.....	38
3.5.2 Analysis of Enrichment of elements of food chain in caiyu.....	39
<b>3.6 The impact of egret colonies on elements levels of heronry soils in caiyu ...</b>	<b>41</b>
3.6.1 Concentration of elements in the nest and non-nest soil of Egretta eulophote44	
3.6.2 Concentration of elements in the excretion of adult Egretta eulophote.....	41
<b>Chapter four Disscussion .....</b>	<b>44</b>
<b>4.1 Emission mechanismand accumulation of elements in tissues of Egretta eulophotes .....</b>	<b>44</b>
<b>4.2 Accumulation of elements in food chain of egretta eulophotes .....</b>	<b>54</b>
<b>4.3 Research of impact of egret colonies on elements levels of heronry soils in caiyu .....</b>	<b>56</b>
<b>Chapter five Conclusions and Prospect .....</b>	<b>59</b>
<b>References .....</b>	<b>61</b>
<b>Acknowledgements .....</b>	<b>70</b>

## 摘要

本研究采用电感耦合等离子质谱 (ICP-MS) 对取得的相关样品进行了钒 (V)、铬 (Cr)、锰 (Mn)、镍 (Ni)、铜 (Cu)、锌 (Zn)、砷 (As)、硒 (Se)、镉 (Cd) 和铅 (Pb) 等 10 种重金属元素含量的测定。

为了研究黄嘴白鹭体内各重金属富集的主要部位、重金属排除的机制及其在食物链中富集规律, 我们对厦门大屿岛白鹭自然保护区内人工养殖过程中自然死亡的 8 只黄嘴白鹭(*Egretta eulophotes*) (约 30 日龄) 的肝脏、肾脏、肌肉、心脏、骨骼、卵壳和羽毛等组织器官以及饲喂的水样、食物、鸟体排泄物样本进行了重金属检测, 结果显示, 10 种元素在厦门大屿人工养殖的黄嘴白鹭体内富集情况为: Se 元素主要富集在骨骼中, Ni 元素的积累不集中富集在某一器官中, As、Cd 元素不富集, 其余 6 种元素主要富集在肌肉中; 雏鸟体内多余的 V、Cr、Mn、Ni、Cu、Zn、As、Se 和 Pb 等 9 种元素主要通过排泄物排至体外。从水样、食物到鸟体各组织除 V、As、Cd 外的其他重金属元素都有明显的富集作用。

对在福建菜屿营巢的野生黄嘴白鹭卵、胸部腹羽、骨骼、吐食团、菜屿周围海水和泥样、排泄物样本进行了重金属检测, 结果显示: 菜屿食物链中营养级从最低级到最高级, 除 V 外, 其他重金属等元素含量均呈现富集作用。

为了深入研究重金属在黄嘴白鹭羽毛中富集的规律, 我们对大屿人工养殖的黄嘴白鹭的胸羽样本 (半年时间逐月取样) 进行了检测, 结果显示: Mn、Zn 和 Cu 元素在胸羽中的含量在半年时间内没有显著变化, As、Se 两种元素在胸羽中的含量在半年时间内有一个逐渐下降的趋势。V、Cr、Ni、Pb 四种元素在胸羽中的含量在半年时间内有一个逐渐上升的趋势, V、Cr 两种元素的含量在雏鸟与亚成鸟之间差异十分显著; 同时测定了人工养殖过程中死亡的黄嘴白鹭胸羽样本中各元素的含量, 通过与生活的同龄黄嘴白鹭胸羽样本中各元素的含量进行差异性分析, 结果显示: Cu 和 Cd 元素在死鸟中的含量极显著大于活鸟中的含量 ( $P < 0.01$ ), Pb 元素在死鸟中的含量显著大于活鸟中的含量 ( $P < 0.05$ ); Se 元素在活鸟中的含量极显著大于死鸟中的含量 ( $P < 0.01$ )。



为了研究黄嘴白鹭集群繁殖对营巢地生境的影响，我们对黄嘴白鹭繁殖前后营巢地和非营巢地的表层土壤样品中的重金属等元素含量进行检测。结果显示：菜屿营巢地与非营巢地繁殖前后土壤样品中均未检出元素 Se 和 Cd。非营巢地土壤中各元素的含量在繁殖前后都没有显著差异，营巢地土壤中的 Zn 和 Pb 元素的含量在繁殖前后有极显著差异 ( $p < 0.01$ )；繁殖前，营巢地与非营巢地土壤中 Zn 的含量之间有极显著差异 ( $P < 0.01$ )。繁殖后，营巢地与非营巢地土壤中 Cu、Zn、As、Pb 有极显著差异 ( $P < 0.01$ )，V、Ni 有显著差异 ( $P < 0.05$ )。说明黄嘴白鹭的集群繁殖活动对重金属在湿地和海岛生态系统之间的转移中起到了重要的作用，长期积累有可能造成海岛土壤重金属的污染。

**关键词：** 重金属 富集 黄嘴白鹭 营巢地

## Abstract

The concentrations of ten elements [vanadium (V), chromium (Cr), manganese (Mn), nickel(Ni), copper (Cu), zinc (Zn), arsenic (As), selenium (Se), cadmium (Cd), lead (Pb)] in the collected samples were measured with ICP-MS.

In order to study the mechanisms of elements enriching and excreting as well as accumulation of elements in the food chain of *Egretta eulophotes*, we measured the element concentration of liver, kidney, muscle, heart, bone, eggshell, feather, nestling food and excretion of eight *Egretta eulophotes* (died at age of 30 days) in the artificial breeding on Dayu island in Xiamen Egret Nature Reserve. The elements of the waters and mud around Dayu also were measured. The results of the residua of the ten elements in the tissues of *Egretta eulophotes* showed as follow: Se was mainly enriched in bone, Ni was not concentrated in single tissue, As and Cd were not enriched, and other six elements were mainly enriched in muscle. The excess elements of V, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Se and Pb in the nestlings of *Egretta eulophotes* were mainly excreted through the excretion. In the trophic level of water, food and bird tissues of the food chain all elements except V, As and Cd were significantly enriched.

We detected the element concentrations of egg, chest feather, bone, regurgitated food and excretion of *Egretta eulophotes* on the Caiyu island during the breeding season, and also detected the element concentration of seawater and mud around the Caiyu. The results indicated that all elements except V were significantly enriched in each trophic level from the lowest to the highest of the food chain.

In order to further study the enrichment of elements in the feathers, we measured the element concentration of *Egretta eulophotes* which was artificially bred in Dayu (sampled monthly in six months). The results indicated that the heavy metal Mn, Zn and Cu in chest feathers had no significant changes in these six months, both As and Se decreased gradually, V, Cr, Ni, Pb increased during the time, and V or Cr had a significant change from the fledglings to the sub-adult. Moreover, we detected the element concentration of chest feathers of *Egretta eulophotes* died at the process of artificial breeding in Dayu. The results indicated that Cu, Cd and Pb in dead birds were higher than live birds, and Se in live birds was higher than that in dead birds ( $P < 0.01$ ).

In order to study the impact of the colonial breeding of *Egretta eulophotes* on the elements levels of heronry soils, the soil samples collected from the top soil layer of heronries and non-heronries of Caiyu before and after the breeding of *Egretta eulophotes* were measured. The results indicated that both Se and Cd were not detectable in the heronries and non-heronries, In non-heronries, all elements had no significant difference between the pre-breeding and post-breeding. In heronries, Zn and Pb had a significant difference between the pre-breeding and post-breeding ( $P < 0.01$ ). Before breeding, Zn had very significant difference between heronries and non-heronries ( $P < 0.01$ ). After breeding, V, Ni, Cu, Zn, As or Pb had the significant difference between heronries and non-heronries ( $P < 0.01$ ), and also V or Ni had the significant difference ( $P < 0.05$ ). These results indicated that the colonial breeding of *Egretta eulophotes* played an important role on the heavy metals transferring between wetlands and islands And that long-term accumulation of heavy metal resulting from the colonial breeding might cause the soil pollution of the island.

**Key words:** heavy mental; enrichment; *Egretta eulophotes*; heronry

## 第一章 前言

### 1.1 重金属污染与湿地生态系统

重金属污染是指由重金属或其化合物造成的环境污染，对生物生存有潜在危害的污染物，主要由采矿、废气排放、污水灌溉和使用重金属制品等人为因素所致。如日本的水俣病和骨痛病分别是由汞污染和镉污染引起的。其危害程度取决于重金属在环境、食品和生物体中存在的浓度和化学形态。重金属污染主要表现在水污染中，还有一部分是在大气和固体废物中。重金属污染物在环境中存在的形式很稳定，和其它污染物不同，重金属的特殊威胁在于它不能被微生物分解，通过食物链转递，生物体可以富集重金属，并把它转化为毒性更大的金属有机化合物。

重金属指原子密度大于  $5 \text{ g/cm}^3$  的一类金属元素<sup>[1]</sup>，约有 45 种，如铜 (Cu)、铅 (Pb)、锌 (Zn)、铁 (Fe)、钴 (Co)、镍 (Ni)、锰 (Mn)、镉 (Cd)、汞 (Hg)、钨 (W)、钼 (Mo)、金 (Au)、银 (Ag) 等。在环境污染等方面，重金属主要指汞、镉、铅、铜、铬 (Cr) 和类金属砷 (As) 等生物毒性显著的元素，以及具有一定毒性的锌、钴、镍、锡 (Sn) 等元素。尽管锰、铜、锌等重金属是生命活动所需要的微量元素，但是大部分重金属如汞、铅、镉等并非生命活动所必须，而且所有重金属超过一定的浓度都对生物体有毒。

重金属一般以天然浓度广泛存在于自然界中，但由于人类对重金属的开采、冶炼、加工及商业制造活动日益增多，造成不少重金属如铅、汞、镉、钴等进入大气、水、土壤中，引起严重的环境污染。以各种化学状态或者化学形态存在的重金属，进入环境或者生态系统后就会存留、积累和迁移，造成危害。如随废水排出的重金属，即使浓度很小，也可以在藻类和底泥中积累，被鱼和贝类的体表吸附，产生食物链浓缩，从而造成公害。如日本的水俣病，就是因为烧碱制造工业和镉电镀工业所排放的废水中含有汞，经生物作用变成有机汞后造成的；又如骨痛病，是炼锌工业和镉电镀工业所排放的镉所致。汽车尾气排放的铅经过大气扩散等过程进入环境中，造成目前地表铅浓度已显著提高，致使近代人体内铅的吸收量比原始人增加了约 100 倍，损害了人体健康。

湿地生态系统是介于陆地生态系统和水生生态系统之间的一种过渡生态系统，因而兼具水生和陆生生态的特点。湿地覆盖地球表面仅有 6%，却为地球上 20% 的已知物种提供了生存环境，具有不可替代的生态功能，因此享有“地球之肾”的美誉。湿地具有多种功能，是自然界中最富有生物多样性的景观和人类最重要的自然环境，有很高的生产力和潜在的功能。它复杂的食物网和丰富的动植物多样性，能够降解、去除水中沉积物、化学物质和其他污染物，提供控制洪水、保护海岸免受侵蚀和风暴破坏的有效体系。湿地不仅向人类提供了大量的食物、原料和水资源，而且在维持生态平衡、保持生物多样性和珍稀物种资源，以及在涵养水源、蓄洪防旱、降解污染物、净化水质和提供旅游资源等方面均起了重要的作用。然而湿地生态系统由于受到陆地生态系统和水生生态系统的双重边缘效应，湿地生态系统的结构和功能更复杂和多样，易受自然和人为活动的干扰，生态平衡极易受到破坏。受破坏的湿地生态系统很难得到恢复<sup>[2]</sup>。根据《湿地公约》的定义，湿地包括了所有的陆地淡水生态系统，如河流、湖泊、沼泽，以及陆地和海洋过渡地带的滨海湿地生态系统，同时还包括了海洋边缘部分咸水、半咸水水域。湿地同陆地、海洋相比面积相对小，但湿地生态系统支持了全部淡水生物群落和部分盐生生物群落，具有极其特殊的生态功能，是地球上最重要的生命支持系统。湿地类型大约有 35 种，主要包括沼泽、湖泊、河流、河口湾、海岸滩涂、珊瑚礁、红树林、浅海水域、水库、池塘、稻田等自然和人工湿地。对于湿地生态系统来说，湿地鸟类是其重要的组成部分，并且在湿地生态系统的能量流动和维持生态系统的稳定性方面起着举足轻重的作用，同时也是监测湿地水环境质量极其敏感的生物指标。

湿地孕育了丰富的生物多样性，尤其是珍稀濒危鸟类的“生命转运站”。但是近年来我国湿地遭受到了前所未有的污染和破坏，随着工业的发展，当中人类所排放的废水废气，以及由于湿地开放旅游而带来的过多的人源对湿地造成的人工污染，使得湿地水域的重金属含量越来越高，从而导致身为食物链中高级消费者的鹭科鸟类体内重金属含量也越来越高，甚至对其生存造成威胁。

## 1.2 重金属污染对鸟类的影响

鸟类属于高等脊椎动物，是食物链中的高级消费者，由于生物富集作用，鸟类

容易受到环境中污染物质的影响，其体温高，新陈代谢旺盛，因此从环境中获取物质相对更多、“速率”更快，受到环境中污染物质的影响更为明显。鸟类生活在污染的环境中，取食受到污染的食物，不仅损害健康，而且某些物质还会在体内不断积累，因为营养级别越高的种类，有害物质积累的剂量越大，从而会导致中毒甚至死亡。

环境中的重金属通过捕食，由消化道和呼吸道进入鸟体内，少量可通过皮肤和粘膜吸收。而重金属在环境中又具有一些更易造成污染的特性：(1)水体中的某些重金属可在微生物作用下转化为毒性更强的金属化合物，如汞的甲基化作用；(2)重金属的价态不同，其活性与毒性不同，其形态可随pH值和氧化还原条件而转化；(3)在天然水体中只要有微量重金属（一般为1~10 mg/L）即可产生毒性效应，汞和镉的毒性更强，致毒浓度为0.01~0.001 mg/L；(4)食物链中的低等级生物从环境中摄取的重金属，可通过生物富集和放大作用，在较高等级生物体内成千万倍地富集起来，造成慢性中毒<sup>[3]</sup>。过量的重金属积累在鸟体中，可导致鸟类体形或羽色发生改变，繁殖行为异常，卵壳变薄、受精率降低，胚胎死亡率升高等不良现象<sup>[4]</sup>，还能导致雏鸟异性，出现不正常的繁殖行为等症状<sup>[5,6]</sup>，有的重金属污染还会影响到鸟类的行为方式，如使鸟类的社会行为紊乱等<sup>[11,12]</sup>，甚至导致其死亡。有研究表明：环颈雉（*Phasianus colchicus*）肝脏中的汞达到3~13 mg/kg时孵化率显著降低<sup>[7]</sup>。甲基汞还会导致绿头鸭（*Anas platyrhynchos*）的雏鸟警戒反应减少<sup>[8]</sup>；镉能显著降低禽类的生殖和生长性能，造成贫血、生长受阻、产卵量下降、卵壳品质降低、孵化率下降和死亡率增加等<sup>[17]</sup>，氯化镉中毒，可造成鸭严重贫血，抑制生长，引起肝、胆、胃、甲状腺病变<sup>[18]</sup>，Spahn<sup>[16]</sup>对美国野生小蓝鹭（*Egretta caerulea*）研究显示，生长率和出飞率的降低与体内Cd、Pb的积累相关。禽类砷中毒后出现下肢麻痹、瘫痪、最后进入嗜睡状态直至死亡<sup>[9]</sup>；砷可导致成鸭体重及肝脏重量减轻并使孵蛋时间延长、蛋重量减轻、卵壳变薄、雏鸭生长缓慢。砒霜（As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>）对肉鸡口服的LD50（半数致死量）为24.493 mg/kg<sup>[10]</sup>。并且砷作为一种类金属，其化合物对生物机体也有很大的毒害作用。还有研究报道：1989年日本鸟取县8只疣鼻天鹅因摄入过量外源性铜而中毒死亡<sup>[19]</sup>，日粮铜添加850 mg/kg可造成雏鸭慢性中毒，出现生长发育缓慢，血红蛋白含量和红细胞数量显著降低，红细胞变形和变性，红细胞数量和血红蛋白含量

显著降低，血清谷丙转氨酶、谷草转氨酶活性显著升高，血清铜蓝蛋白活性下降等血液指标的变化等症状，并导致雏鸭淋巴细胞线粒体受损明显，诱导细胞凋亡<sup>[19,20,21]</sup>；鸚鵡因啃咬镀锌铁丝制成的鸟笼而普遍出现神经症状。高锌还可明显抑制红细胞的免疫功能，造成雏鸡肝、脾的结构和功能受损<sup>[22]</sup>，并且日粮锌（ZnSO<sub>4</sub>）添加为1300 mg/kg时，会导致雏鸭患白肌病，肌胃、小肠平滑肌、骨骼肌和心肌受损<sup>[23]</sup>。铅可以对免疫系统细胞产生损伤，引起免疫功能的损害<sup>[13]</sup>，铅中毒还可直接作用于鸡红细胞，引起细胞核浓缩<sup>[14]</sup>，并有报道表明：在日本北海道的宫岛沼泽，1989年和1990年有100只以上的小天鹅（*Cygnus colum bianus*）和白额雁（*Anser albifrons*）因铅中毒死亡，在英国因误食钓鱼铅坠所致铅中毒的疣鼻天鹅（*Cygnus olor*）每年达3000只以上<sup>[3]</sup>。在北美地区，约有2%~3%的水禽死于铅弹进入体内后引起的铅中毒。每年在加拿大，死于铅弹中毒的鸟有25万只。为了减少野生动物铅中毒，加拿大政府现在已禁止使用铅弹打猎<sup>[15]</sup>。

### 1.3 重金属的生物富集

生物富集（bio-concentration），又称生物浓缩，是生物有机体或处于同一营养级上的许多生物种群，从周围环境中蓄积某种元素或难分解化合物，使生物有机体内该物质的浓度超过环境中的浓度的现象。生物富集与食物链相联系，各种生物通过一系列吃与被吃的关系，把生物与生物紧密地联系起来，水中的重金属等元素被水草和海藻类吸收，虽然浓度很低，但是鱼、虾等海中小型动物吃着这种水草和海藻，而这种有害物质很难排出体外，便逐渐在它体内积累。而海鸟如本研究中的黄嘴白鹭主要以鱼和虾等水生生物为主食，于是有害的化学物质便会在海鸟体内进一步积累。这样食物链对有害的重金属等元素有累积和放大的效应，这是生物富集直观表达。污染物是否沿着食物链积累，决定于以下三个条件：即污染物在环境中必须是比较稳定的，污染物必须是生物能够吸收的，污染物是不易被生物代谢过程中所分解的。

影响重金属等元素在生物体内富集的因素很多。重金属元素的性质、生物的种类、生物的发育的不同阶段以及食物链等对生物浓缩均有不同程度的影响。重金属在动物体内能与生物大分子相结合，这种结合能力越强，重金属在动物体内的代谢

能力就越弱，被富集的程度就会越高。生物积累 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Cd}^{2+}$ 的容量与其产生金属结合蛋白质的能力成正比<sup>[34]</sup>。在同等条件下，重金属元素的性质对生物影响往往十分明显，有些重金属对某些组织或器官有较高的亲和性，或与某些内源性物质（如蛋白质多肽）结合，可以较长时间存留机体内，并在一定时间内不断积累增多。这就导致生物蓄积现象出现。例如牡蛎游走的白血球对Cu具有很强的富集力，所以牡蛎中Cu的含量较高<sup>[24]</sup>；重金属含量会随着生物年龄的增长而增加，甚至可以达到毒性甚至致死的水平，如张淮城、黄宗国等分别对渤海江豚

（*Neophocaena phocaenoides*）、中华白海豚（*Sousa chinensis*）多个组织进行多元素的测定，并分析了重金属含量和年龄的相关性，得出的结论是组织中重金属的含量随着年龄的增长而增加<sup>[72, 73]</sup>。Burger.J对银鸥刚孵化出的雏鸟和成鸟的研究也表明，羽毛中重金属Pb的含量随着年龄的增长呈现显著的增大<sup>[111]</sup>。重金属含量也随着食物链的传递而增加，李枫等对扎龙湿地食物链的研究表明，重金属从水到到鱼体的富集倍数达到2~4个数量级，到苍鹭组织重金属的富集倍数达到3~4个数量级<sup>[48]</sup>。

Ramirez（2002）研究美国怀俄明洲一个草原上水、表层土壤、昆虫以及红翅鸨（*Agelaius phoeniceus*）卵和肝脏中的重金属含量。该草原的灌溉水来源于一个铀矿。结果表明，其重金属含量远高于对照地区相应物质的重金属含量，并且随着食物链等级的递加，重金属含量上升，说明重金属能通过食物链生物富集<sup>[102]</sup>。

一般认为重金属会沿食物链积累和放大，但也有例外。在海洋生态系统中，例如沿浮游植物 - 浮游动物 - 鱼类这一浮游生物食物的传递过程中，Cd的浓度通常会随着营养级的升高而降低<sup>[96]</sup>。Goutner（2001）等人对希腊多种处于食物链不同等级的湿地鸟类组织中重金属含量的研究结果说明不同食性的鸟类，组织中重金属的含量有显著差异<sup>[96]</sup>。一般而言，重金属沿着底栖或浮游生物食物链的传递过程中，经过不同的营养级浓度会被生物放大还是被稀释取决于食物链或金属的种类。食物链之间错综复杂的关系如何影响重金属向高营养级的输送至今仍不十分清楚。

#### 1.4 鹭科鸟类重金属污染的研究现状

湿地鸟类是湿地生态系统的重要组成部分。大量的水鸟以及部分的陆地鸟类构成湿地鸟类多样性。鹭科鸟类是湿地重要鸟类之一，全世界共有 62 种，国内有 20



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库