

荣成天鹅湖越冬大天鹅粪便的重金属水平

王峰^{1,2}, 周毅¹, 杨红生¹

(1. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 为对大天鹅(*Cygnus cygnus*)保护及湖区管理提供基础数据, 作者于2011年11月~2012年3月研究了山东荣成天鹅湖越冬大天鹅食物来源及其粪便的重金属水平。结果表明: 所选择的食物来源中, Zn、As 和 Cr 在硬毛藻(*Chaetomorpha linum*)中含量最高, Cd 在大叶藻(*Zostera marina* L.)叶片中含量最高, Pb 在大叶藻根茎中含量最高, Cu 在石莼(*Ulva pertusa*)中含量最高, Hg 在小麦(*Triticum aestivum*)中含量最高; 水生植物来源的粪便中 Cd 含量极显著高于陆地植物来源的粪便, 陆地植物来源的粪便中 Cr、Pb 和 Hg 含量显著高于水生植物来源的粪便; 摄食小麦苗可能造成大天鹅对 Cd 和 Hg 的积累。

关键词: 荣成天鹅湖; 大天鹅(*Cygnus cygnus*); 食物来源; 重金属

中图分类号: X826 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2014)06-0001-04

doi: 10.11759/hyxx20131124001

近年来, 伴随着经济和社会的发展, 滨海湿地污染问题日趋严重。据统计, 2005 年全国废水排放总量达 524.5 亿 t^[1], 这些废水大部分经过地表径流和地下径流注入海洋, 对滨海生态系统造成了严重影响。湿地中的鸟类, 通常处于较高的营养级, 由于生物富集作用, 容易受到环境中污染物的影响。国内外已有大量关于湿地鸟类因重金属中毒而死亡的报道。在美国, 每年有上百万只水禽因铅中毒而丧生。在英国每年也有上千只疣鼻天鹅(*Cygnus olor*)因误食钓鱼铅坠而中毒。日本、韩国也发生了水禽因铅中毒而死亡的事件^[2]。

大天鹅为国家二级保护动物, 荣成大天鹅(*Cygnus cygnus*)自然保护区是现今世界上最大的大天鹅越冬栖息地之一。近几年, 种群数量一直保持在万只以上^[3]。数以万计的大天鹅对天鹅湖湿地生态系统的能量流动和物质循环具有重要影响, 并促进了海草床空间异质性的形成, 是天鹅湖的“生态系统工程师”。有关天鹅湖越冬大天鹅候栖规律、生活习性^[3-4]、食物组成^[5]及湖区重金属污染状况^[6-7]等方面已有报道, 但尚未见大天鹅越冬期间重金属暴露状况的研究。由于无法通过检测大天鹅组织中的重金属含量的形式来研究其重金属暴露水平, 且组织中的重金属含量往往反映的是长期的重金属暴露状况, 粪便则能够反映短期(如越冬期间)的重金属水平, 因此作者通过比较大天鹅食物来源及其粪便的重金属含量来初探大天鹅越冬期间的重金属暴露状况。作者调查了天鹅湖越冬大天鹅的主要食物来源大叶藻

(*Zostera marina* L)、小麦(*Triticum aestivum*)幼苗、石莼(*Ulva pertusa*)和硬毛藻(*Chaetomorpha linum*)以及大天鹅粪便的重金属水平, 探讨了大天鹅越冬期间的重金属暴露状况, 以期为大天鹅保护及湖区管理提供基础数据。

1 研究区域概况

荣成天鹅湖(月湖)位于山东省荣成市成山镇, 一条沙坝将其与大海相隔, 仅有 86 m 宽的流口与大海相通, 为典型的泻湖地貌。天鹅湖潮间带面积宽广, 大潮满潮时为 4.9 km², 低潮时为 3.4 km²。湖区平均水深约 0.9 m, 平均潮差约 1 m。湖内大叶藻资源丰富, 湖区东北沿岸区域也生长着大量的石莼、硬毛藻等污损植物^[8-9]。独特的地理位置和气候环境, 使得这片水域成为大天鹅等众多湿地鸟类理想的越冬栖息地^[3-4, 10]。

2 材料与方法

2.1 样品采集及处理

所有植物(大叶藻、石莼、硬毛藻、小麦苗)及粪

收稿日期: 2013-11-24; 修回日期: 2014-03-28

基金项目: 海洋公益性行业科研专项重点项目(201305043/201005009); 国家科技支撑计划项目(2011BAD13B06); 国家自然科学基金项目(41121064/30972268)

作者简介: 王峰(1989-), 男, 山东德州人, 硕士研究生, 主要从事海洋环境与生态研究, E-mail: wangfeng0506@163.com; 周毅, 通信作者, 电话: 0532-82898646, E-mail: yizhou@qdio.ac.cn

便样品于 2011 年 11 月~2012 年 3 月间获得, 样品采集后加冰冷藏运回实验室。用研钵研磨, 过 80 目筛, 混匀后置于聚乙烯袋中并封口, 放入干燥器中保存, 备用。通过粪便显微分析方法确定粪便的主要成分, 分析步骤参见董翠玲等^[5]的研究。

2.2 重金属含量的测定

样品的分析测定方法参照 GB17378.6-1998 《海洋监测规范》第六部分生物体分析。

2.2.1 样品的消化

每个样品取 0.2 g 左右, 分别加入 HNO₃ 和 H₂O₂, 试剂均为优级纯, 于微波消化仪中进行微波消化, 同时做空白对照, 所得消化液进行后续分析。

2.2.2 重金属测定

选择 Cd, Cr, Pb, As, Hg, Cu, Zn 等 7 种重金属指标进行分析测定。样品测定的主要仪器为电感耦合等离子体质谱仪(Elan DRCII ICP/MS)。本研究中标准样品的重金属恢复率为 97%~105%, 平行样品的相对标准偏差<5%。

3 结果与讨论

3.1 食物来源的重金属含量

大天鹅不同食物来源的重金属含量见表 1。所有植物样品中 Zn 含量最高, 这与天鹅湖表层沉积物中的重金属状况相同^[7]; 通常 Pb 含量最低(大叶藻根茎除外), 其他重金属在不同植物中的含量则存在一定差异。大叶藻地上部分与地下部分的重金属含量不同, 其中 As, Pb, Hg 在根茎中含量高, 分别为叶片的 7.97 倍, 46 倍和 1.67 倍, 表明根成为这些重金属

在植物中转运的障碍, 以保护叶片不受重金属毒害。Cd, Cr, Cu, Zn 在叶片中含量高, 分别为根茎的 1.73 倍、2 倍、1.70 倍和 1.35 倍。大叶藻根茎中重金属含量为: Zn>Cu>As>Pb>Cd>Cr>Hg, 大叶藻叶片为: Zn>Cu>Cd>Cr>As>Hg>Pb, 石莼为: Zn>Cu>Cr>As>Cd>Hg>Pb, 硬毛藻为: Zn>As>Cr>Cu>Cd>Hg>Pb, 小麦苗中为: Zn>Cu>Cr>Hg>Cd>As>Pb。单一重金属方面, Zn、As 和 Cr 在硬毛藻中含量最高, Cd 在大叶藻叶片中含量最高, Pb 在大叶藻根茎中含量最高, Cu 在石莼中含量最高, Hg 在小麦中含量最高。

3.2 粪便中的重金属含量

粪便显微分析方法结果表明: 所采集的 20 个粪便样品中 12 个样品的主要成分为水生植物, 且大叶藻的比例往往占 70%以上; 8 个样品的主要成分为陆地植物小麦苗, 其比例往往占 90%以上。

不同食物来源的粪便中重金属含量存在一定差异(表 1)。其中, 水生植物来源的粪便中 Cd 含量极显著高于陆地植物来源的粪便(ANOVA, $P<0.01$), 陆地植物来源的粪便中 Cr, Pb 和 Hg 含量显著高于水生植物来源的粪便(ANOVA, $P<0.05$), 其中, Hg 含量差异达到极显著水平(ANOVA, $P<0.01$), 其他重金属在不同食物来源的粪便中则无显著性差异。

3.3 食物来源与粪便中重金属含量比较

由于水生植物来源的粪便中, 大叶藻为主要成分, 因此作者只与大叶藻中的重金属含量进行比较。Cr 在粪便中的含量与其在大叶藻中的含量差异最大, 分别为根茎和叶片含量的 150 倍和 75 倍; 其次为 Pb,

表 1 荣成越冬大天鹅食物来源及其粪便中的重金属含量

Tab. 1 Heavy metal concentrations (mg/kg DW) in food sources and feces of whooper swans overwintering in Rongcheng Lake

| 食物来源 | 重金属含量(mg/kg 干质量) | | | | | | |
|-------------|------------------|--------|--------|------|--------|-------|--------|
| | As | Cd | Cr | Cu | Pb | Zn | Hg |
| 大叶藻根茎 | 2.55 | 0.93 | 0.17 | 4.37 | 1.84 | 29.37 | 0.10 |
| 大叶藻叶片 | 0.32 | 1.61 | 0.34 | 7.42 | 0.04 | 39.79 | 0.06 |
| 石莼 | 3.80 | 0.26 | 4.85 | 9.13 | 0.05 | 35.55 | 0.18 |
| 硬毛藻 | 10.57 | 0.51 | 5.54 | 4.46 | 0.03 | 95.67 | 0.13 |
| 小麦苗 | 0.08 | 0.14 | 0.84 | 5.60 | 0.02 | 40.47 | 0.81 |
| 天鹅粪便 | | | | | | | |
| 水生植物来源(平均值) | 3.63 | 1.59** | 25.48 | 6.15 | 3.73 | 46.53 | 0.07 |
| N=12 标准差 | 2.86 | 0.84 | 17.60 | 2.30 | 1.54 | 11.61 | 0.06 |
| 陆地植物来源(平均值) | 2.42 | 0.05 | 49.43* | 7.80 | 10.17* | 56.43 | 0.21** |
| N=8 标准差 | 0.95 | 0.05 | 25.34 | 5.73 | 7.74 | 13.22 | 0.11 |

注: *. 差异显著($P<0.05$); **. 差异极显著($P<0.01$)

其在粪便中的含量为大叶藻根茎和叶片含量的 2 倍和 93 倍; As 在粪便中的含量为大叶藻叶片中含量的 11 倍, 表明大天鹅对这些重金属吸收较弱, 食物中大部分重金属未被吸收而随粪便排出。其他重金属在粪便与大叶藻中的含量差异则不明显。

陆地植物(小麦苗)来源的粪便中, Pb 含量与其在小麦苗中的含量差异最大, 达到 508 倍。其次为 Cr 和 As, 其在粪便中的含量分别为小麦苗含量的 58 倍和 30 倍, 表明大天鹅对这些重金属吸收较弱。需要注意的是, 粪便中 Cd 与 Hg 的含量均明显低于其在小麦苗中的含量, 分别为小麦苗含量 0.36 倍和 0.26 倍, 表明大天鹅对这些重金属吸收较强。其他重金属在粪便与小麦苗中的含量差异则不明显。

小麦苗中, Hg 含量较高, 且大天鹅对 Hg 的吸收作用较强, 此外, 虽然 Cd 在小麦苗中的含量较低, 但大天鹅对其吸收作用较强, 因而摄食小麦苗容易造成大天鹅对 Cd 和 Hg 的积累。国内外已有大量有关 Hg 和 Cd 对鸟类危害的报道。Burger 等^[11]的研究表明当卵中的 Hg 含量超过 1.5~18 mg/kg 就足以导致卵的质量下降以及雏鸟成活率的降低。镉污染方面, 早在 1984 年就被联合国环境规划署列在全球范围内 12 种有害物质中的首位, 其污染已经对生态系统运行和人畜健康造成了严重危害。镉能显著降低禽类的生殖和生长性能。秦卫红等^[12]研究了镉对鸡的毒性, 结果表明, 镉能导致肾脏发生脂质过氧化反应, 并损害肾细胞。Eeva 等^[13]研究发现, 在中等程度的重金属污染水平下, 雄性斑姬鹀(*Ficedula hypoleuca*) 的体液免疫应答可能会增强, 然而这可能提高其生存代价, 最终对其生长和生殖产生负面影响。然而, 重金属对鸟类的影响并非全部是负面的。Costa 等^[14]研究了葡萄牙中部沿海地区大山雀(*Parus major*) 雏鸟粪便的重金属含量与其繁殖性能的关系, 结果表明, 大山雀在高 Hg 低 As 的工业区的繁殖性能高于低 Hg 高 As 的乡村地区。他们推测可能是该地区的毛虫数量增多导致了大山雀繁殖成功率的升高。可见, 重金属与鸟类间的相互作用较为复杂, 未来的研究中需要加强对湖区重金属水平与大天鹅种群的监测, 系统评估湖区重金属水平对大天鹅种群的影响。

参考文献:

- [1] 国家环境保护总局. 全国环境统计公报[EB/OL]. 2005, <http://www.sepa.gov.cn/plan/hjtj>. 2006-06-12.
- [2] 李峰, 丁长青. 重金属污染对鸟类的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(1): 296-303.
- [3] 闫建国, 汤天庆. 大天鹅在荣成沿海越冬调查简报[J]. 山东林业科技, 2003, 2: 38-39.
- [4] 陈伟, 李经武, 张起信. 大天鹅的越冬栖息地——荣成天鹅湖调查初报[J]. 海洋湖沼通报, 1991, 2: 57-61.
- [5] 董翠玲, 齐晓丽, 刘建. 荣成天鹅湖湿地越冬大天鹅食性分析[J]. 动物学杂志, 2007, 42(6): 53-56.
- [6] 高丽, 宋鹏鹏, 史衍玺, 等. 荣成天鹅湖沉积物中重金属的分布特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(11): 2192-2197.
- [7] Huang L, Pu X, Pan J F, et al. Heavy metal pollution status in surface sediments of Swan Lake lagoon and Rongcheng Bay in the northern Yellow Sea[J]. Chemosphere, 2013, 93(9): 1957-1964.
- [8] 刘旭佳. 山东近岸海域大叶藻的生态学初步研究[D]. 青岛: 中国海洋大学. 2011.
- [9] 张晓梅. 山东沿海矮大叶藻基础生物学与生态恢复研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所. 2013.
- [10] 闫建国, 肖进才, 姜孔仕. 山东荣成大天鹅自然保护区水禽调查[J]. 山东林业科技, 2000, 1: 33-35.
- [11] Burger J, Gochfeld M. Risk, mercury levels, and birds: relating adverse laboratory effects to field biomonitoring[J]. Environmental Research, 1997, 75(2): 160-172.
- [12] 秦卫红, 王倩倩. 镉致鸡肾脏的氧化损伤及乙酰半胱氨酸的保护效应[J]. 中国家禽, 2011, 33(23): 63-65.
- [13] Eeva T, Hasselquist D, Langefors Å, et al. Pollution related effects on immune function and stress in a free living population of pied flycatcher *Ficedula hypoleuca*[J]. Journal of Avian Biology, 2005, 36(5): 405-412.
- [14] Costa RA, Eeva T, Eira C, et al. Trace elements in faeces of great tit nestlings in relation to breeding performance in coastal areas in central Portugal[J]. Arch Environ Contam Toxicol, 2012, 63(4): 594-600.

Heavy metal contents in the feces of whooper swans (*Cygnus cygnus*) overwintering in Swan Lake, Rongcheng

WANG Feng^{1, 2}, ZHOU Yi¹, YANG Hong-sheng¹

(1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Received: Nov., 24, 2013

Key words: Rongcheng Swan Lake; whooper swan (*Cygnus cygnus*); food sources; heavy metal

Abstract: The heavy metal contents in the food sources and feces of whooper swans (*Cygnus cygnus*) overwintering in Swan Lake, Rongcheng, from November 2011 through March 2012 were determined. Results showed that: (1) Zn, As and Cr in chaetomorpha (*Chaetomorpha linum*), Cd in eelgrass (*Zostera marina* L.) blades, Pb in eelgrass rhizomes, Cu in ulva (*Ulva pertusa*), and Hg in wheat seedlings (*Triticum aestivum*), had the highest concentrations amongst the selected food sources; (2) the concentrations of Cd in feces of swan fed with aquatic diet were significantly higher than those fed with terrestrial diet; and the concentrations of Cr, Pb and Hg in feces of swan fed with terrestrial diet were significantly higher than those of aquatic diet; (3) *C. cygnus* could accumulate Cd and Hg by ingestion of wheat seedlings.

(本文编辑: 谭雪静)