雕鸮(*Bubo bubo*)和长耳鸮(*Asio otus*)体内金属元素含量的测定

刘 芳,侯立雅,宋 杰,张 立*
(北京师范大学生命科学学院,生物多样性和生态工程教育部重点实验室,北京 100875)

摘要:采用 ICP-AES 电感耦合等离子光谱仪对来源于北京地区的长耳鸮(*Asio otus*)和雕鸮(*Bubo bubo*)体内的金属元素 Cr,Pb,Co,Cd,Ni 和 Mn 含量进行了检测。长耳鸮各组织中的重金属含量,仅 Cd($p=0.000$)在不同组织中有显著性差异,雕鸮各组织中 Cr($p=0.002$),Ni($p=0.000$),Co($p=0.009$),Cd($p=0.010$), Mn($p=0.002$)在不同组织中有显著性差异。Cr 在长耳鸮的肾脏中含量最高,而在雕鸮各组织中则是在脑中的含量最高。Cd 的含量在各种金属中是最少的,而 Mn 的含量最高。两种鸮类中,Ni 在长耳鸮胸羽中的含量高于其他组织,而在雕鸮体内则是在脑中的含量高于其他组织。Co 在长耳鸮的肾脏中含量最高,雕鸮的脑中含量最高,肾脏次之。并且实验还发现无论是长耳鸮还是雕鸮,背羽都是检测重金属的最佳选择。

关键词:重金属含量;猛禽;长耳鸮(*Asio otus*);雕鸮(*Bubo bubo*)
文章编号:1000-0933(2008)03-1120-08 **中图分类号**:Q143 **文献标识码**:A

The study on six metal contents in eagle owl (*Bubo bubo*) and Long-eared Owl (*Asio otus*)

LIU Fang, HOU Li-Ya, SONG Jie, ZHANG Li*
Ministry of Education Key Laboratory of Biodiversity Science and Ecological Engineering; College of Life Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

***Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(3): 1120 ~ 1127.**

Abstract: A preliminary study on 6 metal contents was extracted from 10 eagle owls (*Bubo bubo*) and 10 long-eared owls (*Asio otus*) in Beijing with Jobin Yvon-ULTIMA inductively coupled plasma. The heavy metal elements detected were included Chromium, Lead, Cobalt, Manganese, Nickel and Cadmium. And Cd($p=0.000$) is the only element which had significant difference in different tissues of long-eared owls, but the elements of Cr($p=0.002$), Ni($p=0.000$), Co($p=0.009$), Cd($p=0.010$), Mn ($p=0.002$) had significant difference in different tissues of eagle owls. The highest content of Cr in long-eared owls' tissues was from kidney, but in eagle owl was from brain. The lowest content of all the detected elements was Cd and the highest was Mn. The content of Ni in brain was higher than the other tissues in eagle owls, but the tissues had the highest content of Ni was thoracic feathers in long-eared owls. The content of Co was highest in long-eared owls' kidneys, but lowest in eagle owls' brains. This experiment also found that using back feathers was the best choice for the heavy metal detecting of long-eared owls and eagle owls.

基金项目:国际爱护动物基金会资助项目(50ERWR028-BRRC)
收稿日期:2006-09-16; **修订日期**:2007-12-14
作者简介:刘芳(1981 ~),女,重庆人,硕士,主要从事纵纹腹小鸮的无线电遥测研究. E-mail: liufang037688@gmail.com
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: asterzhang@vip.sina.com
Foundation item: The project was financially supported by international fund of animal welfare (No. 50ERWR028-BRRC)
Received date: 2006-09-16; **Accepted date**: 2007-12-14
Biography: LIU Fang, Master, mainly engaged in little owls' radio tracking. E-mail: asterzhang@vip.sina.com

Key Words: heavy metal concentration; raptor; long-eared owl; eagle owl

从 20 世纪 60 年代开始,越来越多的证据表明鸟类对于被人类活动所污染的环境特别敏感,因而利用鸟类进行环境污染的监测方法也为人们所认识。其中水鸟和猛禽体内重金属含量得到较多的重视[1~3]。猛禽在食物链中处于顶端位置,重金属通过食物在猛禽体内富集,因此猛禽体内的重金属含量常被用于监测环境[4,5]。

国内对于鸟类体内重金属污染物富集的研究较少,潘超[6]曾对北京地区麻雀(*Passer montanus*)体内的重金属含量做过检测,通过比较重工业区和对照区麻雀(*Passer montanus*) 的肝脏、胸肌和初级飞羽中砷(As)、硒(Se)以及重金属汞(Hg)、铬(Cr)、镉(Cd)、铅(Pb)、锰(Mn)、铜(Cu)的质量分数,探讨了将麻雀作为环境指示物种的可行性。他的实验结果表明,重工业区麻雀体内污染物的质量分数明显高于对照区;成鸟体内的 Hg,Se,Cd,Pb,Cu 明显高于幼鸟;重工业区麻雀羽毛中 Se, Cd, Pb, Mn 和 Cu 的质量分数显著高于对照区;对比羽毛和其他组织中各元素的聚集量,发现羽毛中 Cd, Mn, Cu 的质量分数和肝脏、肌肉中的呈显著性正相关,这几种元素在羽毛中的积累和在其他组织中的积累有线性关系,这显示采用麻雀羽毛监测环境中某些元素的污染是可行的,麻雀能够作为城市环境的指示物种。而作为在生态锥体中处于顶端位置的猛禽,在监测环境污染物方面更有优势。目前国外对于猛禽体内的重金属含量的研究较多[3~5],国内这方面的研究还比较少见。郭东龙等[7]对金雕(*Aquila chrysaetos*)、普通鵟(*Buteo buteo*)、红脚隼(*Falco vespertinus*)和褐马鸡(*Crossoptilon mantchuricum*) 羽毛组织中的汞进行了测定。他还对重金属在环颈雉(*Phasianus colchicus*)不同组织中的分布规律[8]做了研究,结果发现,镍和锌主要分布于骨骼组织中,铁在肺部含量较高,心脏中的铜含量较高,锰和镉主要分布于肾脏中, 以上 6 种元素在肌肉组织中的含量都较低。本研究自 2004 年 1 ~ 10 月对在北京猛禽救助中心死亡的长耳鸮和雕鸮进行了采样,并对其各组织中的重金属含量进行了检测,掌握重金属在猛禽体内的分布规律,并尝试探讨适合作为常规检测的组织样品类型,以期能够建立一种比较简单的、用长耳鸮和雕鸮作为城市环境监测的手段,评价栖息地的污染状况。

1　材料与方法

1.1　实验材料

由于雕鸮和长耳鸮都是国家二级保护动物,样本极难获得,本研究借助北京猛禽救助中心的便利条件,选取了经救助无效而死亡的长耳鸮和雕鸮各 10 只,这些样本来源信息均明确,且都为成鸟,确定不是贩卖和人养逃逸的野外个体,羽毛均没有油污。

样品的采集主要分为两种:羽毛样品和组织样品。对于羽毛样品,用剪刀剪取鸟胸前和背部的 2 ~6 片羽毛,在尸体上剪取尖端的 5cm 左右的第 2 或第 3 枚初级飞羽。采集的羽毛放在封口塑料袋里,贴标签。对于组织样品,在尸体上分别采集了胸肌、肝脏、肾脏和脑,每份样品取两份,每份约 0.2g。用蒸馏水冲洗掉组织样品表面的血迹,再用吸水纸吸干表面的水分后放入塑料管中, -20℃冷冻保存。

1.2　实验方法

清洗羽毛,将羽毛浸泡在盛有 0.5%的“洗涤灵”蒸馏水溶液的烧杯中,将烧杯放入超声波箱中,超声波洗涤 10min,再以蒸馏水漂洗,60℃干燥箱内干燥。肝脏等组织样品在 85℃的烘箱里烘于 4h,送检。检测的主要有以下 6 种元素:铅(Pb)、铬(Cr)、镍(Ni)、锰(Mn)、钴(Co)和镉(Cd)。

将样品用 HNO_3-$HClO_4$湿消化,然后用电感耦合等离子光谱仪 Jobin Yvon-ULTIMA(ICP-AES,法国 JY 公司)进行测定。仪器主要参数为:等离子体发生器功率 1000W;反射功率 <2W;样品气流量 0.67 ~0.73L/min;冷却气积流量 12L/min;护套气体积流量 2L/min。再以 SPSS12.0 分析软件分析数据。

2　实验结果

本研究发现该 6 种金属元素在鸟体内的分布是不均匀的。Pb、Cr、Ni 和 Mn 在猛禽体内各个器官内都有富集,有监测的意义,而 Co 和 Cd 的含量极少。

2.1 长耳鸮各组织中金属元素含量

长耳鸮组织中6种元素的分析结果见表1(μg/g 干重)。

Cr 主要分布于长耳鸮的肾脏中,肝脏、胸羽和背羽中的含量也较高,在飞羽中的含量最低。

Pb 主要分布于长耳鸮的3种羽毛中,脑中的含量也相对较高。

Ni 主要积累于胸羽中,其次是背羽和脑。

Co 在长耳鸮的肾脏中含量最高,其次是肝脏和脑,在飞羽中的含量最少。

Cd 含量也是在肾脏中最高,其次是脑和肝脏,但只及肾脏中的1/2。

Mn 在肝脏中的含量最高,其次是胸羽、背羽和肾脏,而且含量均很高。

2.2 雕鸮各组织中金属元素含量

雕鸮组织中6种元素的分析结果见表2(μg/g 干重)。

Cr 主要分布于雕鸮的脑中,其次是肝脏、背羽和肾脏,但是只约及脑中的1/3,肌肉中的含量最低。

Pb 也主要分布于雕鸮的脑中,背羽和肾脏中的含量也相对较高。

Ni 也主要积累于脑中,含量远远高于其他组织。

Co 在雕鸮各组织中的含量均较少,但是相对来说在脑中的含量最高,其次是肝脏和肾脏,约为脑中含量的1/2。

Cd 含量也是在脑中最高,其次是肝脏,但不及脑中含量的1/2。

Mn 在雕鸮各组织中的含量均较高,尤其是在脑中的含量远远高于其他组织,其次是肝脏和肾脏。

表1 长耳鸮组织中该6种金属元素的含量(μg/g 干重, $n=10$)

Table 1 Metal levels of different tissues of Long-eared Owl(μg/g, dry weight)

项目 Item	Cr Mean ± SD	Pb Mean ± SD	Ni Mean ± SD	Co Mean ± SD	Cd Mean ± SD	Mn Mean ± SD
胸羽 Thoracic feather	3.06 ± 2.20	3.34 ± 2.85	2.32 ± 1.10	0.39 ± 0.37	0.05 ± 0.05	16.80 ± 12.60
背羽 Back feather	3.02 ± 0.75	3.23 ± 1.27	1.59 ± 0.50	0.23 ± 0.11	0.06 ± 0.07	10.62 ± 4.05
飞羽 Remiges	1.41 ± 0.26	3.33 ± 0.51	0.92 ± 0.14	0.13 ± 0.04	0.16 ± 0.05	6.84 ± 1.18
脑 Brain	2.47 ± 0.45	2.38 ± 0.72	1.45 ± 0.60	0.43 ± 0.09	0.27 ± 0.07	4.83 ± 3.38
肌肉 Muscle	2.06 ± 0.38	0.87 ± 0.32	1.15 ± 0.26	0.33 ± 0.06	0.14 ± 0.03	1.33 ± 0.87
肝脏 Liver	3.22 ± 1.24	0.74 ± 0.52	0.93 ± 0.10	0.44 ± 0.09	0.20 ± 0.04	19.63 ± 5.44
肾脏 Kidney	4.03 ± 0.87	1.28 ± 0.51	1.78 ± 0.38	0.68 ± 0.09	0.50 ± 0.10	10.44 ± 2.41
Friedman 检验 Test	$P=0.555$	$P=0.085$	$P=0.377$	$P=0.097$	$P=0.000^{**}$	$P=0.061$

显著性 Significance: * $P<0.05$; * * $P<0.01$

表2 雕鸮组织中该6种金属元素的含量(μg/g 干重, $n=10$)

Table 2 Metal levels of different tissues of Eagle Owl. (μg/g, dry weight)

项目 Item	Cr Mean ± SD	Pb Mean ± SD	Ni Mean ± SD	Co Mean ± SD	Cd Mean ± SD	Mn Mean ± SD
胸羽 Thoracic feather	0.74 ± 0.21	0.92 ± 0.77	0.75 ± 0.11	0.10 ± 0.06	0.07 ± 0.07	5.00 ± 1.29
背羽 Back feather	2.38 ± 0.46	2.05 ± 1.05	1.22 ± 0.29	0.21 ± 0.10	0.04 ± 0.03	7.46 ± 2.23
飞羽 Remiges	1.45 ± 0.24	1.77 ± 0.56	1.26 ± 0.35	0.15 ± 0.05	0.12 ± 0.07	5.67 ± 1.03
脑 Brain	6.32 ± 2.26	2.88 ± 1.67	4.46 ± 1.17	1.00 ± 0.19	0.75 ± 0.25	30.81 ± 12.82
肌肉 Muscle	0.78 ± 0.15	1.27 ± 0.37	0.59 ± 0.10	0.25 ± 0.04	0.16 ± 0.02	0.24 ± 0.24
肝脏 Liver	2.41 ± 0.46	1.48 ± 0.53	1.10 ± 0.15	0.54 ± 0.08	0.29 ± 0.07	19.58 ± 2.89
肾脏 Kidney	2.27 ± 0.56	2.02 ± 0.49	1.20 ± 0.18	0.57 ± 0.10	0.33 ± 0.08	10.35 ± 2.78
Friedman 检验 Test	$P=0.002^{**}$	$P=0.714$	$P=0.000^{**}$	$P=0.009^{**}$	$P=0.010^{**}$	$P=0.002^{**}$

* 显著性 Significance: * $P<0.05$; * * $P<0.01$

2.3 各种组织中该6种金属元素含量的相关分析

2.3.1 长耳鸮

比较各种组织中各金属元素含量的 Pearson 相关系数(表3~9)可以得出:

(1)长耳鸮的 3 种羽毛中,飞羽中的各种重金属含量均没有显著性相关关系,而背羽中的各种重金属含量均有显著性相关关系,胸羽中的各种重金属含量的相关性大多数也有显著性关系。

(2)在长耳鸮的肾、肝、肌肉和脑中,检测的金属元素只在脑中具有较多显著相关性,所以在这 4 种组织中,脑是检测该 6 种金属元素的首选组织。

表 3　长耳鸮飞羽中该 6 种金属元素的 Pearson 相关系数

Table 3　Pearson correlations of the metal concentration in remiges of long-eared owl

	Pb	Ni	Co	Cd	Mn
Cr	-0.147	0.214	0.761	-0.513	0.399
Pb		0.259	0.080	0.791	0.447
Ni			0.601	0.077	0.513
Co				-0.461	0.199
Cd					0.463

显著性 Significance: * $P<0.05$; ** $P<0.01$

表 4　长耳鸮背羽中该 6 种金属元素的 Pearson 相关系数

Table 4　Pearson correlations of the metal concentration in the back feathers of long-eared owl

	Pb	Ni	Co	Cd	Mn
Cr	0.865*	0.975**	0.931**	0.848*	0.958**
Pb		0.916*	0.942**	0.971**	0.926**
Ni			0.949**	0.922**	0.979**
Co				0.881*	0.988**
Cd					0.887*

显著性 Significance: * $P<0.05$; ** $P<0.01$

表 5　长耳鸮胸羽中该 6 种金属元素的 Pearson 相关系数

Table 5　Pearson correlations of the metal concentration in the thoracic feathers of long-eared owl

	Pb	Ni	Co	Cd	Mn
Cr	1.000**	0.722	1.000**	0.998**	1.000**
Pb		0.727	0.999**	0.998**	1.000**
Ni			0.710	0.690	0.718
Co				1.000**	1.000**
Cd					0.999**

显著性 Significance: * $P<0.05$; ** $P<0.01$

表 6　长耳鸮肾中该 6 种金属元素的 Pearson 相关系数

Table 6　Pearson correlations of the metal concentration in kidneys of long-eared owl

	Pb	Ni	Co	Cd	Mn
Cr	-0.216	0.911*	0.483	-0.001	0.222
Pb		-0.266	0.176	0.297	-0.527
Ni			0.647	0.134	0.351
Co				0.720*	-0.192
Cd					-0.204

显著性 Significance: * $P<0.05$; ** $P<0.01$

表 7　长耳鸮肝中该 6 种金属元素的 Pearson 相关系数

Table 7　Pearson correlations of the metal concentration in livers of long-eared owl

	Pb	Ni	Co	Cd	Mn
Cr	0.035	0.629	-0.592	-0.13	0.916**
Pb		0.712*	0.494*	0.437	0.293
Ni			0.008	0.147	0.725*
Co				0.626	-0.560
Cd					-0.020

显著性 Significance: * $P<0.05$; ** $P<0.01$

表 8　长耳鸮肌肉中该 6 种金属元素的 Pearson 相关系数

Table 8　Pearson correlations of the metal concentration in muscles of long-eared owl

	Pb	Ni	Co	Cd	Mn
Cr	0.281	0.521	-0.342	0.126	0.095
Pb		0.473	-0.056	0.191	0.016
Ni			-0.023	0.817*	0.719*
Co				0.425	-0.269
Cd					0.641

显著性 Significance: * $P<0.05$; ** $P<0.01$

2.3.2　雕鸮

比较雕鸮各组织中的金属含量的相关性(表 10 ~ 16),可以看出:

(1)比较雕鸮的肌肉、肾、肝和脑,肌肉中只有 Co 和 Cd 的含量相关性显著,而肾中也仅有 Cd 和 Co 的含量具有显著性相关关系,肝脏中也仅有 Cd/Ni 和 Cd/Co 含量具有显著性相关关系,脑中重金属含量相关性显著的较多,而且脑中的重金属含量也是最多的。

(2)雕鸮的飞羽、背羽和胸羽中,飞羽中各种重金属含量只有 Pb/Ni 和 Mn/Co 的相关性显著,而背羽和胸羽中重金属含量相关性显著的重金属较多,尤其是背部羽毛。

表 9 长耳鸮脑中该 6 种金属元素的 Pearson 相关系数

Table 9 Pearson correlations of the metal concentration in brains of long-eared owl

	Pb	Ni	Co	Cd	Mn
Cr	0.606	0.712*	0.168	0.435	0.243
Pb		0.863**	0.533	0.713*	0.721*
Ni			0.703	0.870**	0.806*
Co				0.876**	0.627
Cd					0.720*

显著性 Significance: * $P<0.05$; ** $P<0.01$

表 10 雕鸮飞羽中该 6 种金属元素的 Pearson 相关系数

Table 10 Pearson correlations of the metal concentration in remiges of eagle owl

	Pb	Ni	Co	Cd	Mn
Cr	0.092	-0.049	0.663	0.649	0.533
Pb		0.917**	0.616	0.358	0.768
Ni			0.607	0.069	0.683
Co				0.327	0.848*
Cd					0.292

显著性 Significance: * $P<0.05$; ** $P<0.01$

表 11 雕鸮背羽中该 6 种金属元素的 Pearson 相关系数

Table 11 Pearson correlations of the metal concentration in back feathers of eagle owl

	Pb	Ni	Co	Cd	Mn
Cr	0.851*	0.810	0.777	0.689	0.833*
Pb		0.857*	0.889*	0.750	0.939*
Ni			0.973*	0.939*	0.947**
Co				0.928**	0.968**
Cd					0.899*

显著性 Significance: * $P<0.05$; ** $P<0.01$

表 12 雕鸮胸羽中该 6 种金属元素的 Pearson 相关系数

Table 12 Pearson correlations of the metal concentration in thoracic feathers of eagle owl

	Pb	Ni	Co	Cd	Mn
Cr	0.330	0.837	0.284	0.290	0.558
Pb		0.761	0.961*	0.999*	0.918*
Ni			0.699	0.733	0.920*
Co				0.954*	0.868
Cd					0.903*

显著性 Significance: * $P<0.05$; ** $P<0.01$

表 13 雕鸮肾中该 6 种金属元素的 Pearson 相关系数

Table 13 Pearson correlations of the metal concentration in kidneys of eagle owl

	Pb	Ni	Co	Cd	Mn
Cr	-0.115	0.661	-0.045	0.092	-0.562
Pb		0.270	0.409	0.516	0.393
Ni			-0.192	0.023	0.008
Co				0.972**	0.098
Cd					0.158

显著性 Significance: * $P<0.05$; ** $P<0.01$

表 14 雕鸮肝中该 6 种金属元素的 Pearson 相关系数

Table 14 Pearson correlations of the metal concentration in livers of eagle owl

	Pb	Ni	Co	Cd	Mn
Cr	0.122	0.277	-0.267	-0.045	0.025
Pb		0.241	0.213	0.173	-0.240
Ni			0.603	0.765*	0.707
Co				0.852*	0.422
Cd					0.711

显著性 Significance: * $P<0.05$; ** $P<0.01$

表 15 雕鸮肌肉中该 6 种金属元素的 Pearson 相关系数

Table 15 Pearson correlations of the metal concentration in muscles of eagle owl

	Pb	Ni	Co	Cd	Mn
Cr	0.094	0.106	0.207	0.044	-0.023
Pb		0.658	0.600	0.545	0.409
Ni			0.686	0.681	0.866*
Co				0.940**	0.772
Cd					0.706

显著性 Significance: * $P<0.05$; ** $P<0.01$

表 16 雕鸮脑中该 6 种金属元素的 Pearson 相关系数

Table 16 Pearson correlations of the metal concentration in brains of eagle owl

	Pb	Ni	Co	Cd	Mn
Cr	0.020	0.287	0.632	0.387	0.270
Pb		0.633	0.335	0.725	0.632
Ni			0.719	0.842*	0.839*
Co				0.882*	0.880*
Cd					0.976**

显著性 Significance: * $P<0.05$; ** $P<0.01$

3 讨论

3.1 该 6 种金属元素在组织中的分布规律

一般而言,各金属元素在肌肉中的含量最低,而在羽毛、肝脏、肾脏和脑中的含量相对较高,这和其他鸟体

中的分布规律基本一致。董元华等在对无锡夜鹭体内重金属含量的研究中指出羽毛和肝脏是重金属富集的主要目标器官[9]。刘庆等对厦门的 4 种猛禽——草鸮(*Tyto capensis*)、东方角鸮(*Otus sunia*)、燕隼(*Falco subbuteo*)和红隼(*Falco tinnunculus*)体内的 Cu、Zn、Pb、Cd 的研究也发现,它们在猛禽的肝脏、心脏和骨骼中含量较高,而在肌肉中含量较低[10]。

Mn 在两种鸟体内各组织中的含量相对均较高。它是生物体必需的微量元素之一,但是摄入过多的锰,则会对机体产生不良作用,对神经、免疫、生殖等系统产生不同程度的损害[11]。Mn 在长耳鸮体内的分布规律为:肝脏 > 胸羽 > 背羽 > 肾脏 > 飞羽 > 脑 > 肌肉,而在雕鸮体内也有近似的分布:脑 > 肝脏 > 肾脏 > 背羽 > 飞羽 > 胸羽 > 肌肉。两者都是在肌肉中的含量最低,这与郭东龙等对环颈雉的研究一致[8]。肝脏中的锰含量都大于肾脏,这也与其他的研究一致[12]。

Cd 在长耳鸮体内的分布规律为:肾脏 > 脑 > 肝脏 > 飞羽 > 肌肉 > 背羽 > 胸羽,而在雕鸮体内的分布规律为:脑 > 肾脏 > 肝脏 > 肌肉 > 飞羽 > 胸羽 > 背羽。两者都是在脑、肾脏和肝脏中的含量较多,而在其他组织中的含量较少,这也与其他的研究基本一致[13]。而且,与其他的猛禽相比较,Cd 在长耳鸮和雕鸮肌肉中的含量仅比草鸮高(草鸮中的含量为 0.136μg/g 干重),比其他几种猛禽——东方角鸮、燕隼和红隼都低,而在肝脏中的含量比这 4 种猛禽都低[10]。这说明北京地区的 Cd 污染相对于厦门还处在一个比较低的水平。

Co 是鸟体内必需的微量元素,如果鸟类缺钴将引发贫血症,但是过多的 Co 也会对鸟体产生伤害。长耳鸮各组织中 Co 的分布规律为:肾脏 > 肝脏 > 脑 > 胸羽 > 肌肉 > 背羽 > 飞羽;而雕鸮各组织中的分布规律为:脑 > 肾脏 > 肝脏 > 肌肉 > 背羽 > 飞羽 > 胸羽,两者都是在肾脏、肝脏和脑中的含量较高。这与钴的生理特性一致。

长耳鸮体内 Ni 的分布规律为:胸羽 > 肾脏 > 背羽 > 脑 > 肌肉 > 肝脏 > 飞羽;而雕鸮体内的分布规律为:脑 > 飞羽 > 背羽 > 肾脏 > 肝脏 > 胸羽 > 肌肉。两者之间存在着较大的差异,分析这种差异产生的原因可能是由于两种猛禽对 Ni 元素代谢的差异等原因造成的。在研究中,长耳鸮肝脏中的 Ni 含量是 0.93μg/g 干重,而雕鸮肝脏中的 Ni 含量是 1.10μg/g 干重,远远低于环颈雉中的含量(7.52μg/g 干重)[8]。

Pb 在长耳鸮各组织中的富集规律为:胸羽 > 飞羽 > 背羽 > 脑 > 肾脏 > 肌肉 > 肝脏,而在雕鸮中的富集规律为:脑 > 背羽 > 肾脏 > 飞羽 > 肝脏 > 肌肉 > 胸羽。前者在羽毛中的含量很高。分析导致这种差异产生的原因可能是采样的季节因素导致的。因为重金属可能通过羽毛排出体外,而鸟类每年都要进行换羽,如果采取的羽毛样本刚好是新长出的羽毛,这将导致试验结果出现很大的差异。对于两者在肌肉中的含量,相比较其他的猛禽,仅比纵纹腹小鸮(*Athene noctua*)稍高,而远低于其他几种猛禽。而在肝脏中的铅含量均远远低于其他几种猛禽[10]。说明北京地区不存在着大量的 Pb 污染。

长耳鸮各组织中 Cr 的分布规律为:肾脏 > 肝脏 > 胸羽 > 背羽 > 脑 > 肌肉 > 飞羽,而雕鸮各组织中的分布规律为:脑 > 肾脏 > 肝脏 > 背羽 > 飞羽 > 肌肉 > 胸羽。排除采样时间对羽毛中重金属含量产生的差异外,Cr 在脑中的含量两者显著不同。这与董元华等对无锡夜鹭的研究也存在着一定的差异(夜鹭中 Cr 的分布规律为肝脏 > 肌肉 > 脑 > 羽毛)[9]。这种差异产生的原因可能也是不同物种间金属元素代谢差异造成的。

3.2　雕鸮和长耳鸮体内的金属元素含量存在较大的差异,分析其原因可能是由于它们不同的来源地造成的。雕鸮是北京地区的留鸟,所以采取的样本肯定都一直在北京地区生活,但是长耳鸮是北京地区的冬候鸟,它们只在北京生活过很短的一段时间,它们体内的重金属来源地与雕鸮存在着较大的差异,这可能也是导致两者体内重金属含量出现较大差异的主要原因。另外,两者的生境也存在着一定的差异。雕鸮主要生活于北京郊区的山地中,而长耳鸮则更靠近市区,这样就导致它们在取食上存在着不同。这可能也是导致这种差异的一个原因。

3.3　用雕鸮和长耳鸮作为重金属污染监测的指示物种的可行性

雕鸮是北京地区的留鸟,其体型较大,属于大体型的猛禽,居于食物链的顶端,其体内的重金属含量通过生物放大的作用在其体内聚集。而且雕鸮主要生活在山地林木裸露的岩石丛中或峭壁上,主要以啮齿类为

食[14],而啮齿类是很容易受到重金属污染的一类动物,这样就导致重金属在雕鸮体内富集。在北京猛禽救助中心所救助的猛禽中也曾发现雕鸮因食物原因而表现出来的神经中毒症状。比较雕鸮各组织中的金属含量的相关性(表10~表16),可以看出:雕鸮的肌肉中只有Co和Cd的含量相关性显著,而肾中也仅有Cd和Co的含量具有显著性相关关系,肝脏中也仅有Cd/Ni和Cd/Co含量具有显著性相关关系,脑中重金属含量相关性显著的较多,而且脑中的重金属含量也是最多的,所以这几种组织中脑是检测重金属含量的最佳选择。雕鸮的飞羽、背羽和胸羽中,飞羽中各种重金属含量只有Pb/Ni和Mn/Co的相关性显著,而背羽和胸羽中重金属含量相关性显著的重金属较多,尤其是背部羽毛。相比之下,背部羽毛是检测重金属含量的最佳选择。因此,雕鸮的脑和背部羽毛是检测重金属含量的最佳组织。考虑到取材的难易程度等问题,可以利用雕鸮的背羽检测重金属,这也是一种很好的非损伤性取样方法,因此用野生活体雕鸮作为北京地区重金属污染监测的指示物种是可行的。

长耳鸮是一种中等体形的猛禽,它是北京地区的冬候鸟,一般在我国新疆西部、甘肃西北部、青海、四川、内蒙古和东北繁殖,主要以鼠类为食,栖息在阔叶林或针叶林,或在溪河附近的柳、白杨林中[15]。长耳鸮也居于食物链的顶端,基本上没有什么天敌,重金属通过食物链的生物放大作用也沉积在了长耳鸮的体内。分析各种组织中各金属元素含量的相关性(表3~表9)可知长耳鸮的3种羽毛中,飞羽中的各种重金属含量均没有显著性相关关系,而背羽中的各种重金属含量均有显著性相关关系,胸羽中的各种重金属含量的相关性大多数也有显著性关系。而且,在实际取样中,胸部羽毛羽小枝松散,而背羽的羽小枝连接紧密,羽片完整,取材,保存,洗涤和干燥都比较方便。因此,在3种羽毛中,背羽是检测该6种金属污染物的最佳选择。通过长耳鸮体内的重金属含量情况我们也可以推测出环境的污染情况。

References:

[1] Garcia-Montalban A, Luna A. Lead and Cadmium in wild birds in Southeastern Spain. Environmental Toxicology and Chemistry, 1995, 14(12): 2049-2058

[2] Debacker V, Jauniaux T, Coignoul F. Heavy metal contamination and body condition of wintering Guillemots (*Uria aalge*) at the Begian Coast from 1993 to 1998. Environmental Research Section A, 2002, 84: 310-317.

[3] 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. Environmental Pollution, 2003, 124: 429-436.

[4] Mateo R, Taggart M, Meharg A. Lead and arsenic in bones of bird of prey from Spain. Environmental Pollution, 2003, 126: 107-114.

[5] Rafael M, Joan E, Jean-Yves P, *et al.* Lead shot ingestion by marsh harriers *Circus aeruginosus* from the Ebro delta, Spain. Environmental Pollution, 1999, 104: 435-440.

[6] Pan C, Zheng G M, Zhang Z W, *et al.* Studies on Contaminations in Tree Sparrow (*Passer Montanus*) in Beijing. Journal of Beijing University (Natural Science), 2001, 37(6):820-824.

[7] Guo D L, Zhou M S, Xi Y Y, *et al.* Contents and Distribution Patterns of Mercury in Tissues of feather. Acta Zoologica Sinica, 2001, 47 (additional edition): 139-139.

[8] Guo D L, Zhou M S, Zhu J. Distribution Patterns of Heavy Metals in Tissues of Ring-Necked Pheasants. Acta Zoologica Sinica, 2001,47: 134-138.

[9] Dong Y H, Gong Z M, Wang H, *et al.* Residue and Distribution of Heavy Metals in Tissues of Night Heron Chick Bred in Yuantouzhu, Wuxi. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13 (2):213-216.

[10] Liu Q, Chen M, Chen X L, *et al.* Distribution of Heavy Metals in Raptor Birds in Xiamen. Journal of Xiamen University(Natural Science), 2006, 45(2):280-283.

[11] Hu C L, Shao W. Research Progress on Toxicology of Manganese in China. Journal of Health Toxicology, 2000, 14 (3):185-187.

[12] Honda K, Min B Y, Tatsukawa R. Distribution of heavy metals and their age2related changes in the eastern great white egret, *Egretta alba modesta* in Korea. A rch. Envi ron. Contam. Toxicol, 1986,15 : 185-197

[13] Guo D L, Zhou M S, Huang S P. Distribution and Comparative Study of Zinc and Cadmium in Tissues of Ring-Necked Pheasants from Taiyuan City and Zijin Mountain Area of Xing County, Shanxi. Acta Ecologica Sinica, 1997, 17(3):272 −276.

[14] König C, Weick F, Becking J. Owls: A Guide to the Owls of the World. Yale University Press, 1999.

[15] Cai Q K. Beijing Avifauna. Beijing: Beijing Press,1987.

参考文献:

[6] 潘超,郑光美,张正旺,等. 北京城区麻雀体内污染物的研究. 北京师范大学学报(自然科学版),2001,37(6):820 ~ 823.

[7] 郭东龙,周梅素,席玉英,朱军. 重金属汞在鸟体羽毛组织中的含量及分布规律. 动物学报,2001,47:139 ~ 149.

[8] 郭东龙,周梅素,朱军. 重金属在环颈雉不同组织中的分布规律. 动物学报,2001,47:134 ~ 138.

[9] 董元华,龚钟明,王辉,等. 无锡鼋头渚夜鹭体内重金属残留与分布特征. 应用生态学报,2002,13 (2): 213 ~ 216.

[10] 刘庆,陈美,陈小麟. 厦门几种猛禽体内的重金属分布. 厦门大学学报(自然科学版),2006,45(2):280 ~ 283.

[11] 胡存丽,邵文. 我国锰毒性研究现况. 卫生毒理学杂志,2000,14(3):185 ~ 187.

[13] 郭东龙,周梅素,黄淑萍. Zn,Cd 在太原工业区和紫金山非工业区环颈雉不同组织中的分布及比较研究. 生态学报,1997,17(3):272 ~ 276.

[15] 蔡其侃. 北京鸟类志. 北京:北京出版社, 1987.