

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第9期

Vol.33 No.9

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

我国4个WMO/GAW本底站大气CH ₄ 浓度及变化特征	方双喜,周凌晔,许林,姚波,刘立新,夏玲君,王红阳	(2917)
我国东北地区大气降水稳定同位素特征及其水汽来源	李小飞,张明军,马潜,李亚举,王圣杰,汪宝龙	(2924)
2010年广州亚运期间空气质量与污染气象条件分析	李婷苑,邓雪娇,范绍佳,吴兑,李菲,邓涛,谭浩波,蒋德海	(2932)
厦门市冬春季灰霾期间大气PM ₁₀ 中多环芳烃的污染特征及来源分析	钱冉冉,闫景明,吴水平,王新红	(2939)
气溶胶OCEC切割点确定方法改进及应用	王莉华,董华斌,闫才青,曾立民,郑玫,张延君,刘久萌,Weber R J	(2946)
松花江上游夹皮沟金矿土壤与大气汞污染特征	张刚,王宁,王媛,刘特,艾建超	(2953)
河北农居环境颗粒态汞污染特征及健康评估研究	赵亚娟,龚巍巍,栾胜基	(2960)
印刷电路板(PCB)厂挥发性有机物(VOCs)排放指示物筛选	马英歌	(2967)
烹调油烟中挥发性有机物的排放初探	何万清,田刚,聂磊,曲松,李靖,王敏燕	(2973)
生物滴滤塔降解甲苯废气长期运行生物膜相特性研究	胡俊,郑江玲,吴越新,张丽丽,陈建孟	(2979)
分期布液生物滴滤床净化H ₂ S废气性能研究	刘春敬,李坚,刘佳,彭淑婧,李超,陈英,何洪	(2987)
粉煤灰综合利用过程中汞的二次释放规律研究	孟阳,王书肖	(2993)
太湖、巢湖水体总悬浮物浓度半分析反演模型构建及其适用性评价	刘忠华,李云梅,檀静,郭宇龙,周莉,刘阁	(3000)
巢湖水质与流域农业投入的关联性研究	张燕,高翔,张洪	(3009)
巢湖十五里河水花生生长区沉积物及间隙水中营养盐的基本特性	李如忠,李峰,周爱佳	(3014)
巢湖沉积物中磷蓄积时空变化及人为污染定量评价	刘恩峰,杜臣昌,羊向东,沈吉	(3024)
巢湖周边表土中有机质、全氮和全磷空间分布及其相关性	陈书琴,储昭升,胡社荣,刘俊,王长春,王曼	(3031)
丹江口水库典型入库支流氮磷动态特征研究	雷沛,张洪,单保庆	(3038)
水温分层对三峡水库香溪河库湾春季水华的影响	刘流,刘德富,肖尚斌,孔松,陈媛媛,方小凤	(3046)
平水期和丰水期殷村港污染物浓度时空变异比较研究	杨晓英,罗兴章,郑正,方淑波	(3051)
江苏西部湖泊沉积物营养盐赋存形态和释放潜力差异性分析	刘涛,胡志新,杨柳燕,肖琳,席北斗,许其功	(3057)
太湖西岸湖滨带沉积物氮磷有机质分布及评价	甘树,卢少勇,秦普丰,金相灿,焦伟,王佩	(3064)
南四湖流域种植业面源污染氮磷源解析研究	刘静,路风,杨廷钊,徐娜,王田妮	(3070)
珠江水体中有机物分布、组成及与消毒副产物生成的关系	何洪威,周达诚,王保强,梁艳红	(3076)
东江流域典型乡镇饮用水源地重金属污染健康风险评价	王若师,许秋瑾,张炯,魏群山,颜昌宙	(3083)
深圳茅洲河表层沉积物卤代多环芳烃污染研究	孙建林,倪宏刚,丁超,曾辉	(3089)
福建罗源湾潮间带沉积物重金属含量空间分布及其环境质量影响	高文华,杜永芬,王丹丹,高抒	(3097)
渤海湾大型底栖生物群落结构变化及原因探讨	蔡文倩,刘录三,乔飞,林岍璇,周娟	(3104)
地下水污染防治区划体系构建研究	王俊杰,何江涛,陆燕,刘丽雅,张小亮	(3110)
北京市平原区地下水污染防治区划不确定性分析	陆燕,何江涛,王俊杰,刘丽雅,张小亮	(3117)
川东平行岭谷区典型岩溶含水系统中NO ₃ ⁻ 的存储和运移	杨平恒,袁道先,任幼蓉,谢世友,贺秋芳,胡晓风	(3124)
改性活性炭对水中PFOS的吸附去除研究	董锡臻,石宝友,解岳,王东升	(3132)
水溶液中臭氧和溴离子的反应研究	俞潇婷,张家辉,潘循哲,张仁熙,侯惠奇	(3139)
HPSEC-UV-TOC联用技术测定有机物相对分子质量分布	张晗,董秉直	(3144)
不同有机基质诱发的水体黑臭及主要致臭物(VOCs)产生机制研究	卢信,冯紫艳,商景阁,范成新,邓建才	(3152)
不同pH下纳米铁镍颗粒对生物降解苯酚的影响	况烨,周琰,王清萍,陈祖亮	(3160)
多级微氧生物流化床预处理高浓度丙烯酸废水	李莎,郑盛之,宋玉栋,周岳溪,朱长军,刘淑玲,潘玲,蒲文晶	(3167)
三级生物膜深度处理腈纶废水生化出水的脱氮研究	徐少阳,蒋进元,周岳溪,崔俊涛,段妮妮	(3172)
改性花生壳对水中镉的动态吸附研究	龙腾,易筱筠,党志	(3177)
硫氰酸根在粒状镁铝复合氧化物上的吸附性能	王秀娟,王海增,孙宝维,韩文军	(3182)
海水生物滤器氨氮沿程转化规律模型	罗荣强,侯沙沙,沈加正,陈珠,刘鹰	(3189)
营养物质缺乏引起的好氧颗粒污泥膨胀及其恢复	张著,高大文,袁向娟,勾倩倩	(3197)
生物表面活性剂强化污泥水解的研究	易欣,罗琨,杨麒,李小明,邓伟光,张植平	(3202)
厌氧氨氧化菌的富集培养与分子鉴定	刘冬英,邱艳玲,袁宪正,师晓爽,郭荣波	(3208)
阿特拉津降解菌株的分离、鉴定及降解特性研究	李绍峰,朱静,李铁晶	(3214)
农业废物堆肥中高产漆酶菌株的分离鉴定及酶学性质研究	任秀娟,范长征,鲁伦慧,王聪,曾光明	(3220)
糖蜜酒精废水脱色微生物的筛选及鉴定	李必金,刘幽燕,贺锴,滕芳明,何熙璞,李青云	(3228)
餐厨垃圾乳酸发酵过程中的微生物多样性分析	刘建国,汪群慧,王爽,孙晓红,仇天雷,李焕	(3236)
共价功能化对单壁碳纳米管产生DNA损伤和活性氧的影响研究	吴仁人,陶雪琴,党志,李开明,蔡美芳	(3241)
<i>Geobacter sulfurreducens</i> 对汞的甲基化及其影响因素研究	邹嫣,司友斌,颜雪,陈艳	(3247)
单一与复合胁迫下油菜对镉、铅的吸收效应	武文飞,南忠仁,王胜利,赵转军,周婷	(3253)
金铜矿下游农户家养番鸭体内重金属分布特征及其评价	杭小帅,梁斌,王文林,王霞,李维新	(3261)
环境激素氯菊酯对萼花臂尾轮虫繁殖的影响	董学兴,杨家新,吕林兰,赵卫红,於叶兵	(3266)
地聚物固化生活垃圾焚烧飞灰固化体抗氧化硫杆菌腐蚀性能的研究	金漫彤,孙鑫,董海丽,金赞芳	(3272)
焚烧飞灰高温过程中重金属的挥发及其氯转化特征	刘敬勇,孙水裕	(3279)
城市废弃物处理温室气体排放研究:以厦门市为例	于洋,崔胜辉,林剑艺,李飞	(3288)
NPEOs及其代谢产物在城市污水处理厂中的归趋分析	连静,刘俊新	(3295)
《环境科学》征订启事(3037)	《环境科学》征稿简则(3151)	信息(2999,3030,3096,3227)

金铜矿下游农户家养番鸭体内重金属分布特征及其评价

杭小帅¹, 梁斌¹, 王文林¹, 王霞², 李维新^{1*}

(1. 环境保护部南京环境科学研究所, 南京 210042; 2. 江苏省环境监测中心, 南京 210036)

摘要: 为研究采矿活动及其污染事故对家禽养殖的影响, 分别采集了金铜矿下游两岸不同村庄农户家养番鸭 10 只, 分析了鸭肉、鸭肝和鸭血样品中 Cu、Hg 和 As 的含量, 并对番鸭体内重金属的健康安全进行了评价。结果表明, 在相同组织中, Cu 含量较 Hg 和 As 高。在不同组织中, 鸭肝样品中 Cu 含量最高, 平均值为 $17.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 而 Hg 和 As 在 3 个组织间含量无明显差异。金铜矿下游两岸不同村庄农户番鸭样品体内 3 个组织中 Cu、Hg 和 As 的含量均未显示出明显的空间分布规律, 表明污染事故及正常的采矿活动未对下游两岸村庄农户家养番鸭样品构成明显影响。所研究番鸭体内 3 个组织中的 Cu、Hg 和 As 的含量都处于正常值范围, 且番鸭健康状况未表现出异常。但参照国家食品卫生标准评价结果显示, 鸭肝样品中 Cu 超标率达到 100%, 最高超标 1.74 倍, 部分鸭肉、鸭血与鸭肝样品中 Hg 含量也达到较高水平。

关键词: 重金属; 番鸭; 分布特征; 风险评价; 金铜矿

中图分类号: X826 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)09-3261-05

Distribution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Farming Domestic Muscovy Duck Originated from Au/Cu Mining and Smelting Activities

HANG Xiao-shuai¹, LIANG Bin¹, WANG Wen-lin¹, WANG Xia², LI Wei-xin¹

(1. Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China; 2. Jiangsu Environmental Monitoring Center, Nanjing 210036, China)

Abstract: To investigate the impacts of mining and spilling activities on domestic fowl raising, ten muscovy duck (*Cairna moschata*) samples were collected in 2010 from farms in different villages located at the banks of the river originated from an Au/Cu mine. Concentrations of Cu, Hg and As in muscle, liver and blood of the muscovy duck samples were determined. According to relative national standards of China, the health safety of heavy metals in muscovy duck was evaluated. The results indicated that content of Cu was higher than those of Hg and As in the same tissue of the duck. The average content ($17.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) of Cu in liver of the duck was higher than those in other tissues, but the concentrations of Hg and As had no significant difference among three tissues of the duck. There was no significant spatial distribution pattern of Cu, Hg and As in three tissues of the duck samples collected from the farms in different villages located at the banks of the river, indicating no significant impacts of mining and spilling activities on the ducks samples. The contents of Cu, Hg and As in the tissues of the duck samples fell in normal level ranges, and the ducks didn't show abnormal physical symptoms. According to the tolerance limits of heavy metals in foods of China, Cu in livers of the duck samples exceeded the standard by 100%, and the highest value of Cu in the liver was 1.74 times higher than its maximum allowable concentration in foods. Moreover, Hg contents in some muscle, blood and liver tissues of the duck samples were relatively high.

Key words: heavy metal; muscovy duck; distribution characteristics; risk assessment; Au/Cu mine

随着经济的快速发展, 人类对有色金属的需求越来越大, 进一步加剧了对矿产资源的开发。然而矿产资源开发过程中产生的废石、废渣和废水可引起一系列严重的环境问题, 其中重金属污染问题较为突出。已有研究表明, 矿产资源的开发易造成土壤重金属的污染及农产品重金属的超标^[1-5], 并可进一步通过食物链对动物及人体健康安全产生影响^[6,7]。尤其是采矿和炼矿过程中发生的污染事故, 其影响更为严重^[8-13], 已引起社会各界的广泛关注。

当前, 对矿区附近重金属污染研究较多。研究表明, 金属矿区自然土壤及附近农田耕层土壤皆出现不同程度的重金属污染^[1-3], 且发现矿区自然植

物^[14]、水稻^[3,5]、蔬菜^[5]和大豆^[4]等农作物也受到了不同程度的影响。Navarro 等^[15]研究发现, 尾矿区含高浓度的重金属的物质可随着雨水冲刷, 影响到下游水体和山坡下的土壤。Zhuang 等^[6]通过对铅锌矿区的研究表明, Pb、Zn、Cu 和 Cd 可通过食物链进入鸡的体内, 且鸡肝中的重金属含量要高于鸡肉, 而鸡肉又高于鸡血。同时, 对矿区, 尤其是对出现污染事故的矿区附近人体重金属含量的研究发

收稿日期: 2011-11-30; 修订日期: 2012-02-11

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2009ZX07528-005, 2008ZX07103-005-4)

作者简介: 杭小帅 (1980 ~), 男, 博士, 副研究员, 主要研究方向为重金属的环境行为及其风险评估, E-mail: hangxiaoshuai@yahoo.com.cn

* 通讯联系人, E-mail: lwxletter@yahoo.com.cn

现,明显高于对照区域人体同种重金属的含量^[7]. 总体上,当前大部分此类研究均限于对矿区附近土壤与作物的研究,而对矿区周围动物研究较少,尤其是污染事故发生后与矿区正常开采活动的累积作用对家禽体内重金属影响研究甚为少见.

2010 年,我国东南部某金铜矿发生铜矿重大环境污染事故,大量含有硫酸铜的酸性中间产物泄露至附近河流,虽然有关部门迅速采取了相关补救措施,但仍对下游水质产生了影响,出现了部分鱼中毒死亡的现象. 为了解此次污染事故及长期采矿活动对周围生态环境的影响,本研究对事故发生地点的上下游两岸农户家养成熟期番鸭的肉、肝和血中 Cu、Hg 和 As 进行分析,探讨了重金属在番鸭体内的沿程分布特征,并对鸭子的生长情况及其作为食物对人体健康安全进行评价,以期为评估此类污染事故及矿产资源开发活动对生态环境的影响提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 采集与处理

番鸭是研究流域最为常见的家禽,且根据当地的养殖习性,番鸭属于水陆两栖动物. 因此,以流经金铜矿河流两岸农户饲养番鸭作为研究对象,具有较强的代表性,能一定程度地反映金铜矿污染事故与正常开采活动累积效应对流域家禽的影响. 农户饲养番鸭以稻谷、剩饭、剩菜等为食,散养为主. 番鸭采样点如图 1 所示,均分布在研究河流两岸附近的村庄,距研究河流垂直距离不超过 500 m,每个村庄各随机采集番鸭 1 只,共采集 10 只. 其中,分别在事故发生地上游约 6.1 km 和 1 km 处的两村庄各取番鸭 1 只作为对照,事故发生地下游 60 km 内取番鸭 8 只.

采样时间为 2010 年 12 月,为番鸭成熟期(自事故发生之后开始饲养),已养殖时间为 3~4 月,体重约在 2~3 kg. 集中剖杀后,将每只番鸭样品分为 3 个部分,分别为鸭肉(10 个)、鸭肝(10 个)和鸭血(8 个),并迅速进行 Cu、Hg 和 As 等重金属的分析.

1.2 分析方法

分别取 2 g 鸭肉、鸭肝和鸭血的鲜样,采用硝酸和双氧水进行消解^[12]. 待测液中 Cu 的含量采用原子吸收法测定^[12]; Hg 和 As 的含量采用氢化物发生原子荧光光度法测定^[16]. 鸭肉、鸭血和鸭肝中 Cu、Hg 和 As 的含量均以鲜重计. 整个分析过程采用生物成分分析标准物质-鸡肉 [GBW10018 (GSB-

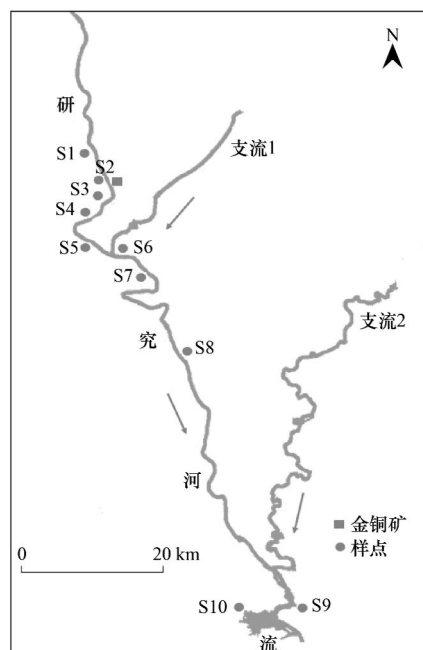


图 1 番鸭样点位置分布示意

Fig. 1 Distribution of sampling sites for muscovy ducks

9)] 进行质量控制, Cu、Hg 和 As 回收率均在 90%~110% 范围内.

1.3 数据统计

试验数据由 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 13.0 for Windows 进行统计和作图, 并使用 Duncan's 新复极差法 (LSR) 进行多重比较.

2 结果与讨论

2.1 番鸭体内重金属分布特征

2.1.1 体内组织分布特征

金铜矿下游两岸村庄农户家养番鸭的鸭肉、鸭血和鸭肝样品中 Cu、Hg 和 As 的含量见表 1. Cu 在鸭肉中含量范围为 1.99~4.94 mg·kg⁻¹, 在鸭血中含量范围为 0.104~0.714 mg·kg⁻¹, 在鸭肝中含量范围为 12.7~27.4 mg·kg⁻¹. Hg 在鸭肉中含量范围为 0.021~0.041 mg·kg⁻¹, 在鸭血中含量范围为 0.025~0.040 mg·kg⁻¹, 在鸭肝中含量范围为 0.011~0.047 mg·kg⁻¹. As 在鸭肉中含量范围为 0.01~

表 1 番鸭组织中重金属的含量¹⁾/mg·kg⁻¹

Table 1 Heavy metal concentrations in different tissues of muscovy duck samples/mg·kg⁻¹

项目	Cu	Hg	As
鸭肝	17.20 ± 4.16a	0.028 ± 0.010a	0.021 ± 0.010a
鸭肉	2.90 ± 0.99b	0.031 ± 0.007a	0.019 ± 0.007a
鸭血	0.27 ± 0.20c	0.034 ± 0.006a	0.016 ± 0.005a

1) 同列相同字母表示数据间无显著性差异

$0.03 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 在鸭血中含量范围为 $0.01 \sim 0.02 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 在鸭肝中含量范围为 $0.01 \sim 0.04 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. 在所分析的番鸭 3 个组织中, 每个相同组织中 Cu 的含量均为最高, 其次为 Hg, 最低为 As.

3 种重金属在番鸭不同组织中的累积特征如表 1 所示, 不同重金属在番鸭 3 个组织中的分布特征存在差异. Cu 在番鸭 3 个组织的累积存在显著性差异, 其中, 鸭肝中含量较高, 平均值为 $17.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 显著高于鸭肉和鸭血, 鸭肉中 Cu 含量的平均值为 $2.90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 又显著高于鸭血, 鸭血中 Cu 的含量最低, 平均值仅为 $0.27 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. 这与 Zhuang 等^[6]报道的 Cu 在鸡肝含量高于鸡肉, 而鸡肉又高于鸡血的研究结果一致, 主要是由于作为代谢器官的肝脏是动物富集重金属的重要场所, 大量的重金属富集于此^[17], 可能为肝脏中的酶与 Cu 相结合, 提高了肝脏对 Cu 的毒性当量, 类似于肝脏对一些有机污染表现出的肝阻碍效应^[18]. 而 Hg 与 As 在番鸭 3 个组织中的含量之间无显著差异, 与 Kubota 等^[19]研究中鸕鹚肝脏对某些有机污染物没有表现出肝阻碍效应相类似, 可能为肝脏能较快代谢其中的 Hg 和 As, 具体原因仍有待进一步研究.

2.1.2 空间分布特征

将事故发生地下游两岸村庄农户家养番鸭 3 个组织中的 Cu、Hg 和 As 的含量与对照进行比较, 发现事故发生地下游番鸭组织中 3 种重金属含量均未能显著高于对照, 反而上游对照 1 号中 Cu 含量最高. 且事故下游两岸村庄农户家养番鸭各组织中 3 种重金属未呈现出明显的空间分布规律, 尤其是没有受到支流影响的 3~6 号样点也未表现出明显的空间分布规律(图 2~6). 表明污染事故及正常的采矿活动没有对下游两岸村庄农户家养番鸭构成明显影响, 其主要原因可能为农户饲养番鸭均不在该河流中放养, 且只饮汇入该河流上游的溪水, 并以当地谷物及剩饭、剩菜为食, 从而降低了受到污染事故及正常采矿活动影响的风险.

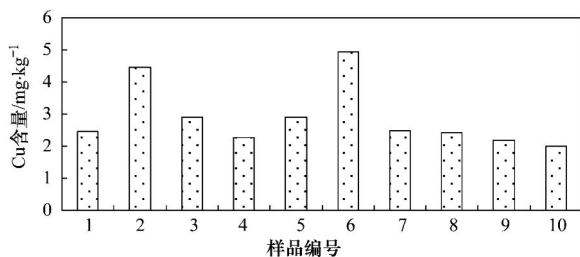


图 2 鸭肉 Cu 含量的空间分布特征

Fig. 2 Spatial distribution of Cu concentrations in the muscles of muscovy duck samples

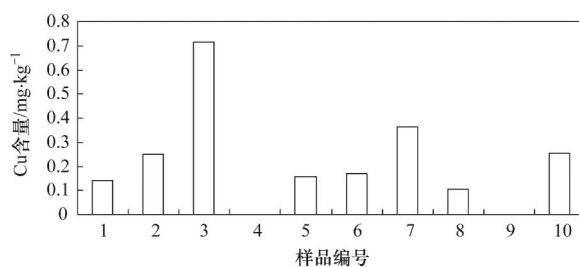


图 3 鸭血 Cu 含量的空间分布特征

Fig. 3 Spatial distribution of Cu concentrations in the blood of muscovy duck samples

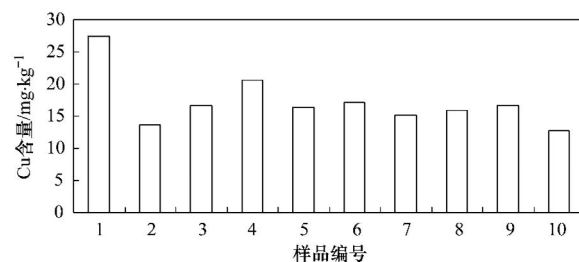


图 4 鸭肝 Cu 含量的空间分布特征

Fig. 4 Spatial distribution of Cu concentrations in the liver of muscovy duck samples

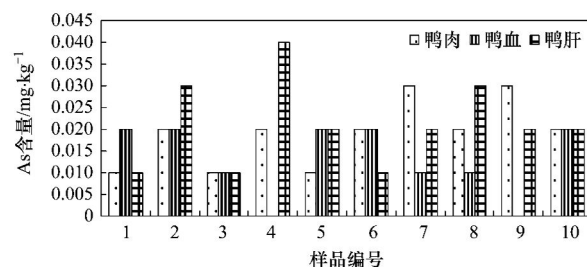


图 5 番鸭各组织 As 含量的空间分布特征

Fig. 5 Spatial distribution of As concentrations in three tissues of muscovy duck samples

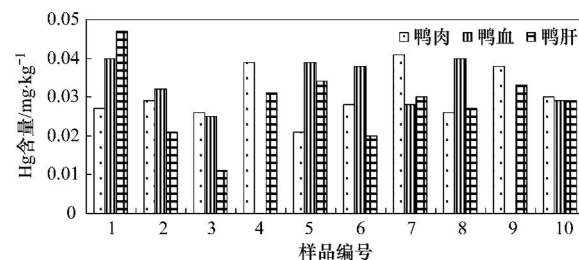


图 6 番鸭各组织 Hg 含量的空间分布特征

Fig. 6 Spatial distribution of Hg concentrations in three tissues of muscovy duck samples

2.2 番鸭体内重金属风险评价

2.2.1 番鸭健康状况评价

Cu 是动物生长发育必需的微量元素之一, 分布于体内肝脏、肾脏、血液、骨骼和毛发等组织. 由于 Cu 在动物体内具有重要的生理生化功能, 缺乏

时可引起多种动物发病甚至死亡;然而过量摄入 Cu 也对动物产生毒害,如损害家鸭的肝脏、肾脏、心脏、胃肠道和免疫器官,这些组织器官受损和功能障碍最终会导致发病雏鸭死亡^[20]. 而 Hg 和 As 的为生命非必需元素,当达到一定浓度时,对动物具有较强的毒性.

当前,对鸭类动物体内肝脏中 Cu 和 As 研究的较多. 将本研究番鸭肝脏重金属含量与有关成熟期

鸭类动物研究进行比较(表 2),发现研究流域番鸭体内肝脏组织中的 Cu、As 的含量都低于或近似于前人报道中重金属的含量. 同时,事故发生点下游番鸭 3 个组织中重金属含量与对照均无明显差异,表明研究流域番鸭体内重金属处于区域正常值范围之内. 此外,通过现场采集及解剖观察也发现,所调查的番鸭各器官均发育正常. 因此,研究流域番鸭健康状况皆未表现出异常,健康状况良好.

表 2 不同地区鸭肝中重金属含量比较¹⁾/mg·kg⁻¹

Table 2 Comparison of heavy metals concentrations in duck livers from different areas/mg·kg⁻¹

鸭子种类	地点	Cu	As	文献
绿头鸭(<i>Anas platyrhynchos</i>)	日本鹿儿岛县	16.4 ~ 59.1	—	[21]
斑嘴鸭(<i>A. poecilorhyncha</i>)		22.7	—	
绿头鸭(<i>Anas platyrhynchos</i>)	西班牙多尼亚纳国家公园	10.86 ~ 194.07	nd ~ 0.06	[12]
赤膀鸭(<i>Anas strepera</i>)		17.06 ~ 76.14	0.01 ~ 0.07	
红头潜鸭(<i>Aythya ferina</i>)		1.82 ~ 742.96	nd ~ 0.05	
红冠潜鸭(<i>Netta rufina</i>)		17.14 ~ 639.52	0.01 ~ 0.04	
云石斑鸭(<i>Marmaronetta angustirostris</i>)	西班牙阿利坎特	3.3 ~ 105.4	nd ~ 0.136	[22]
白头硬尾鸭(<i>Oxyura leucocephala</i>)		14.1 ~ 751.0	nd ~ 0.034	
番鸭(<i>Cairna moschata</i>)	研究流域	12.7 ~ 27.4	0.01 ~ 0.04	本研究

1) nd 表示低于检测限; 重金属含量均以鲜重计

2.2.2 番鸭重金属风险评价

番鸭作为该流域农户的主要家禽,其重金属含量将直接影响到当地人体健康安全. 根据相应食品卫生标准^[23~25],对该流域农户家养番鸭各组织中 3 种重金属含量进行风险评价,其中由于肝脏和鸭血无相应评价标准,也参照肉类标准进行评价. 评价结果如表 3 所示,Cu 在 10 个鸭肝样品中的含量全

部超标,超标率为 100%,其中 1 号对照超标最为严重,超标 1.74 倍;而鸭肉与鸭血中 Cu 的含量均未达到超标水平. Hg 和 As 在番鸭体内的 3 个组织的含量均未出现超标,但 Hg 在部分番鸭的 3 个组织中含量较高,接近标准限量值. 番鸭出现肝脏 Cu 超标现象,可能是由当地的养殖模式及肝脏易积累 Cu 元素的原因所致.

表 3 番鸭各组织重金属含量评价结果

Table 3 Assessment on heavy metals in three tissues of muscovy duck samples

重金属	样品	限量值/mg·kg ⁻¹	P_i 范围 ¹⁾	污染样品数	污染比率/%
Cu	鸭肉	10 (GB 15199-1994)	0.20 ~ 0.49	0	0
	鸭血		0.01 ~ 0.07	0	0
	鸭肝		1.27 ~ 2.74	10	100
As	鸭肉	0.5 (GB 4810-1994)	0.02 ~ 0.06	0	0
	鸭血		0.02 ~ 0.04	0	0
	鸭肝		0.02 ~ 0.08	0	0
Hg	鸭肉	0.05 (GB 2762-2005)	0.42 ~ 0.82	0	0
	鸭血		0.50 ~ 0.80	0	0
	鸭肝		0.22 ~ 0.94	0	0

1) $P_i = c_i/S_i$, 其中 P_i 为重金属 i 在各组织中的单因子污染指数(无量纲); c_i 为重金属 i 在各组织中的实测值(mg·kg⁻¹); S_i 为重金属 i 在各组织中的限量值(mg·kg⁻¹)

3 结论

(1) 金铜矿下游两岸村庄农户家养番鸭各组织中 Cu 的含量均为最高,其次为 Hg,As 最低. Cu 在鸭肝中含量较高,其次为鸭肉和鸭血,而 Hg 与 As

在番鸭 3 个组织间的含量均无显著差异.

(2) 金铜矿下游两岸村庄农户家养番鸭体内 Cu、Hg 和 As 含量并未低于对照,且未显示出明显的空间分布规律,表明研究流域番鸭体内重金属含量没有受到污染事故及采矿活动的影响.

(3)研究流域番鸭体内 3 个组织中的 Cu、Hg 和 As 的含量都处于正常值范围之内,番鸭健康状况皆未表现出异常。Cu 在 10 个鸭肝样品中的含量全部超标,超标率为 100%,而鸭肉与鸭血中 Cu 的含量均未达到超标水平。Hg 和 As 在番鸭体内 3 个组织中的含量均未出现超标,但 Hg 在部分番鸭体内 3 个组织中的含量较高,接近标准限量值。

参考文献:

- [1] 孙锐,舒帆,郝伟,等. 典型 Pb/Zn 矿区土壤重金属污染特征与 Pb 同位素源解析[J]. 环境科学, 2011, **32**(4): 1146-1153.
- [2] 邓超冰,李丽和,王双飞,等. 典型铅锌矿区水田土壤重金属污染特征[J]. 农业环境科学学报, 2009, **28**(11): 2297-2301.
- [3] 姬艳芳,李永华,孙宏飞,等. 凤凰铅锌矿区土壤-水稻系统中重金属的行为特征分析[J]. 农业环境科学学报, 2008, **27**(6): 2143-2150.
- [4] 周航,曾敏,刘俊,等. 湖南 4 个典型工矿区大豆种植土壤 Pb Cd Zn 污染调查与评价[J]. 农业环境科学学报, 2011, **30**(3): 476-481.
- [5] Zhuang P, McBride M B, Xia H P, *et al.* Health risk from heavy metals via consumption of food crops in the vicinity of Dabaoshan mine, South China [J]. Science of the Total Environment, 2009, **407**(5): 1551-1561.
- [6] Zhuang P, Zou H L, Shu W S. Biotransfer of heavy metals along a soil-plant-insect-chicken food chain; field study[J]. Journal of Environmental Sciences, 2009, **21**(6): 849-853.
- [7] Gil F, Capitán-Vallvey L F, Santiago E D, *et al.* Heavy metal concentrations in the general population of Andalusia, South of Spain; a comparison with the population within the area of influence of Aznalcóllar mine spill (SW Spain) [J]. Science of the Total Environment, 2006, **372**(1): 49-57.
- [8] Del Río M, Font R, Almela C, *et al.* Heavy metals and arsenic uptake by wild vegetation in the Guadiana river area after the toxic spill of the Aznalcóllar mine[J]. Journal of Biotechnology, 2002, **98**(1): 125-137.
- [9] Madejón P, Murillo J M, Marañón T, *et al.* Trace element and nutrient accumulation in sunflower plants two years after the Aznalcóllar mine spill [J]. Science of the Total Environment, 2003, **307**(1-3): 239-257.
- [10] Carrasco J A, Armario P, Pajuelo E, *et al.* Isolation and characterisation of symbiotically effective *Rhizobium* resistant to arsenic and heavy metals after the toxic spill at the Aznalcóllar pyrite mine [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2005, **37**(6): 1131-1140.
- [11] Liu H Y, Probst A, Liao B H. Metal contamination of soils and crops affected by the Chenzhou lead/zinc mine spill (Hunan, China) [J]. Science of the Total Environment, 2005, **339**(1-3): 153-166.
- [12] Taggart M A, Figuerola J, Green A J, *et al.* After the Aznalcóllar mine spill: Arsenic, zinc, selenium, lead and copper levels in the livers and bones of five waterfowl species [J]. Environmental Research, 2006, **100**(3): 349-361.
- [13] Kraus U, Wiegand J. Long-term effects of the Aznalcóllar mine spill-heavy metal content and mobility in soils and sediments of the Guadiana river valley (SW Spain) [J]. Science of the Total Environment, 2006, **367**(2-3): 855-871.
- [14] 刘足根,彭昆国,方红亚,等. 江西大余县荡坪钨矿尾矿区自然植物组成及其重金属富集特征[J]. 长江流域资源与环境, 2010, **19**(2): 220-224.
- [15] Navarro M C, Pérez-Sirvent C, Martínez-Sánchez, *et al.* Abandoned mine sites as a source of contamination by heavy metals: A case study in a semi-arid zone [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2008, **96**(2-3): 183-193.
- [16] Fu J J, Zhou Q F, Liu J M, *et al.* High levels of heavy metals in rice (*Oryza sativa* L.) from a typical E-waste recycling area in southeast China and its potential risk to human health [J]. Chemosphere, 2008, **71**(7): 1269-1275.
- [17] 殷海成. 沂河流域不同来源鸭组织中硒和重金属元素的测定分析[J]. 河南农业科学, 2004, (8): 86-88.
- [18] Kunisue T, Watanabe M X, Iwata H, *et al.* PCDDs, PCDFs, and coplanar PCBs in wild terrestrial mammals from Japan: Congener specific accumulation and hepatic sequestration [J]. Environmental Pollution, 2006, **140**(3): 525-535.
- [19] Kubota A, Iwata H, Tanabe S, *et al.* Levels and toxicokinetic behaviors of PCDD, PCDF, and coplanar PCB congeners in common cormorants from Lake Biwa, Japan [J]. Environmental Science & Technology, 2004, **38**(14): 3853-3859.
- [20] 催恒敏,陈怀涛,邓俊良,等. 实验性雏鸭铜中毒症的病理学研究[J]. 畜牧兽医学报, 2005, **36**(7): 715-721.
- [21] Nam D, Anan Y, Ikemoto T, *et al.* Distribution of trace elements in subcellular fractions of three aquatic birds [J]. Marine Pollution Bulletin, 2005, **51**(8-12): 750-756.
- [22] Taggart M A, Green A J, Mateo R, *et al.* Metal levels in the bones and livers of globally threatened marbled teal and white-headed duck from El Hondo, Spain [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2009, **72**(1): 1-9.
- [23] GB 4810-1994, 食品中砷限量卫生标准[S].
- [24] GB 15199-1994, 食品中铜限量卫生标准[S].
- [25] GB 2762-2005, 食品中污染物限量[S].

CONTENTS

CH ₄ Concentrations and the Variation Characteristics at the Four WMO/GAW Background Stations in China	FANG Shuang-xi, ZHOU Ling-xi, XU Lin, <i>et al.</i> (2917)
Characteristics of Stable Isotopes in Precipitation over Northeast China and Its Water Vapor Sources	LI Xiao-fei, ZHANG Ming-jun, MA Qian, <i>et al.</i> (2924)
Study on Air Quality and Pollution Meteorology Conditions of Guangzhou During the 2010 Asian Games	LI Ting-yuan, DENG Xue-jiao, FAN Shao-jia, <i>et al.</i> (2932)
Characteristics and Sources of PM ₁₀ -bound PAHs During Haze Period in Winter-Spring of Xiamen	QIAN Ran-ran, YAN Jing-ming, WU Shui-ping, <i>et al.</i> (2939)
Improvement and Application of the Method for Determination of OCEC Split	WANG Li-hua, DONG Hua-bin, YAN Cai-qing, <i>et al.</i> (2946)
Characteristics of Mercury Pollution in Soil and Atmosphere in Songhua River Upstream Jia-pi-gou Gold Mining Area	ZHANG Gang, WANG Ning, WANG Yuan, <i>et al.</i> (2953)
Pollution Characteristics and Health Assessment of Particulate Mercury in Hebei Rural Households	ZHAO Ya-juan, GONG Wei-wei, LUAN Sheng-ji (2960)
Composition and Characteristics of Volatile Organic Chemicals Emission from Printed Circuit Board Factories	MA Ying-ge (2967)
Preliminary Study Concerning Emissions of the Volatile Organic Compounds from Cooking Oils	HE Wan-qing, TIAN Gang, NIE Lei, <i>et al.</i> (2973)
Characteristics of Biofilm Phase During the Long-term Degradation of a Toluene-contaminated Gas Stream Using BTF	HU Jun, ZHENG Jiang-ling, WU Yue-xin, <i>et al.</i> (2979)
Performance of Cross Flow Trickling Filter for H ₂ S Gas Treatment	LIU Chun-jing, LI Jian, LIU Jia, <i>et al.</i> (2987)
Study on Mercury Re-emissions During Fly Ash Utilization	MENG Yang, WANG Shu-xiao (2993)
Construction of Semi-analytical Model for Inversing Total Suspended Matter in Lake Taihu and Assessment of Its Applicability	LIU Zhong-hua, LI Yun-mei, TAN Jing, <i>et al.</i> (3000)
Association Study Between Water Quality of Chaohu Lake and Resources Input in Agriculture of Basin	ZHANG Yan, GAO Xiang, ZHANG Hong (3009)
Sediment and Pore Water Nutrient Characteristics in Growing Zones of <i>Alternanthera philoxeroides</i> in the Shiwuli River, Chaohu Lake	LI Ru-zhong, LI Feng, ZHOU Ai-jia (3014)
Enrichment Characteristic of Phosphorus in Surface and Core Sediments of Chaohu Lake and the Pollution Quantification	LIU En-feng, DU Chen-chang, YANG Xiang-dong, <i>et al.</i> (3024)
Spatial Distribution Characteristics and Correlation Analysis of Organic Matter, Total Nitrogen and Total Phosphorus in Topsoil Around Chaohu Lake	CHEN Shu-qin, CHU Zhao-sheng, HU She-rong, <i>et al.</i> (3031)
Dynamic Characteristics of Nitrogen and Phosphorus in the Representative Input Tributaries of Danjiangkou Reservoir	LEI Pei, ZHANG Hong, SHAN Bao-qing (3038)
Effects of Thermal Stratification on Spring Blooms in Xiangxi Bay of the Three Gorges Reservoir	LIU Liu, LIU De-fu, XIAO Shang-bin, <i>et al.</i> (3046)
Explore the Spatial and Temporal Patterns of Water Pollution in the Yincungang Canal of the Lake Taihu Basin, China	YANG Xiao-ying, LUO Xing-zhang, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (3051)
Analysis on the Forms and Release Potential of Nutrients in Sediments from Lakes in the West Jiangsu Province	LIU Tao, HU Zhi-xin, YANG Liu-yan, <i>et al.</i> (3057)
Spatial Distribution and Evaluation of Nitrogen, Phosphorus and Organic Matter in Surface Sediments from Western Lakeside Belt of Lake Taihu	GAN Shu, LU Shao-yong, QIN Pu-feng, <i>et al.</i> (3064)
Source Apportionment of Nitrogen and Phosphorus from Cropping Non-point Source Pollution in Nansi Lake Basin	LIU Jing, LU Feng, YANG Yan-zhao, <i>et al.</i> (3070)
Relationship Between Dissolved Organic Carbon and DBP in the Pearl River Water	HE Hong-wei, ZHOU Da-cheng, WANG Bao-qiang, <i>et al.</i> (3076)
Health Risk Assessment of Heavy Metals in Typical Township Water Sources in Dongjiang River Basin	WANG Ruo-shi, XU Qiu-jin, ZHANG Xian, <i>et al.</i> (3083)
Halogenated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Sediments of Maozhou River, Shenzhen	SUN Jian-lin, NI Hong-gang, DING Chao, <i>et al.</i> (3089)
Distribution Patterns of Heavy Metals in Surficial Sediment and Their Influence on the Environment Quality of the Intertidal Flat of Luoyuan Bay, Fujian Coast	GAO Wen-hua, DU Yong-fen, WANG Dan-dan, <i>et al.</i> (3097)
Study on the Changes of Macrobenthos Communities and Their Causes in Bohai Bay	CAI Wen-qian, LIU Lu-san, QIAO Fei, <i>et al.</i> (3104)
Construction of Groundwater Contamination Prevention Mapping System	WANG Jun-jie, HE Jiang-tao, LU Yan, <i>et al.</i> (3110)
Uncertainty Analysis of Groundwater Protection and Control Zoning in Beijing Plain	LU Yan, HE Jiang-tao, WANG Jun-jie, <i>et al.</i> (3117)
Nitrate Storage and Transport Within a Typical Karst Aquifer System in the Paralleled Ridge-valley of East Sichuan	YANG Ping-heng, YUAN Dao-xian, REN You-rong, <i>et al.</i> (3124)
Adsorption of Perfluorooctanesulfonate (PFOS) onto Modified Activated Carbons	TONG Xi-zhen, SHI Bao-you, XIE Yue, <i>et al.</i> (3132)
Investigation of the Oxidation Reaction of O ₃ with Bromide Ion in Aqueous Solution	YU Xiao-ting, ZHANG Jia-hui, PAN Xun-xi, <i>et al.</i> (3139)
Determination of the Distribution of Relative Molecular Mass of Organic Matter by High Pressure Size Exclusion Chromatography with UV and TOC Detectors	ZHANG Han, DONG Bing-zhi (3144)
Black Water Bloom Induced by Different Types of Organic Matters and Forming Mechanisms of Major Odorous Compounds	LU Xin, FENG Zi-yan, SHANG Jing-ge, <i>et al.</i> (3152)
Effect of Fe and Fe/Ni Nanoparticles on the Biodegradation of Phenol by BFN at Different pH Values	KUANG Ye, ZHOU Yan, WANG Qing-ping, <i>et al.</i> (3160)
Pretreatment of High-Concentration Acrylic Acid Wastewater by the Multi-Stage Microaerobic Biological Fluidized Bed Reactor	LI Sha, ZHENG Sheng-zhi, SONG Yu-dong, <i>et al.</i> (3167)
Denitrification on Secondary Effluent of Acrylic Fiber Wastewater by Tri-Stage Biofilm Advanced Reactor	XU Shao-yang, JIANG Jin-yuan, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (3172)
Dynamic Adsorption of Cadmium (II) in Water on Modified Peanut Shells	LONG Teng, YI Xiao-yun, DANG Zhi (3177)
Adsorption Properties of Thiocyanate Anion on Granular Mg/Al Mixed Oxides	WANG Xiu-juan, WANG Hai-zeng, SUN Bao-wei, <i>et al.</i> (3182)
Model of Regularity of Ammonia Transformation Along Marine Biological Aerated Filter	LUO Rong-qiang, HOU Sha-sha, SHEN Jia-zheng, <i>et al.</i> (3189)
Aerobic Granular Sludge Bulking Due to the Lack of Nutrient and Its Recovery	ZHANG Zhu, GAO Da-wen, YUAN Xiang-juan, <i>et al.</i> (3197)
Enhanced Hydrolysis of Waste Activated Sludge by Biosurfactant	YI Xin, LUO Kun, YANG Qi, <i>et al.</i> (3202)
Enrichment and Identification of Anaerobic Ammonium Oxidation Bacteria	LIU Dong-ying, QIU Yan-ling, YUAN Xian-zheng, <i>et al.</i> (3208)
Isolation, Identification and Characterization of an Atrazine Degrading Bacterium	LI Shao-feng, ZHU Jing, LI Tie-jing (3214)
Isolation, Identification and Enzymological Characterization of a New Fungal with High Laccase Production from Agricultural Waste Composting	REN Xiu-juan, FAN Chang-zheng, LU Lun-hui, <i>et al.</i> (3220)
Screening and Identification of Microorganisms for Decolorization of Molasses Spent Wash	LI Bi-jin, LIU You-yan, HE Kai, <i>et al.</i> (3228)
Analysis of Microbial Community Structure in Lactic Acid Fermentation from Kitchen Waste	LIU Jian-guo, WANG Qun-hui, WANG Shuang, <i>et al.</i> (3236)
Effect of Covalent Functionalization on DNA Cleavage Activity and ROS Formation of Single-Walled Carbon Nanotubes	WU Ren-ren, TAO Xue-Qin, DANG Zhi, <i>et al.</i> (3241)
Research on Mercury Methylation by <i>Geobacter sulfurreducens</i> and Its Influencing Factors	ZOU Yan, SI You-bin, YAN Xue, <i>et al.</i> (3247)
Uptake Effect of Cd and Pb by Rape Under Single Cd/Pb and Cd-Pb Combined Stress	WU Wen-fei, NAN Zhong-ren, WANG Sheng-li, <i>et al.</i> (3253)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Farming Domestic Muscovy Duck Originated from Au/Cu Mining and Smelting Activities	HANG Xiao-shuai, LIANG Bin, WANG Wen-lin, <i>et al.</i> (3261)
Effects of the Environmental Hormone Cypermethrin on the Reproduction of <i>Brachionus calyciflorus</i>	DONG Xue-xing, YANG Jia-xin, LÜ Lin-lan, <i>et al.</i> (3266)
Research on Anti-Corrosion of <i>Thiobacillus</i> for the Geopolymer Solidification MSWI Fly Ash	JIN Man-tong, SUN Xin, DONG Hai-li, <i>et al.</i> (3272)
Chlorination Transformation and Volatilization of Heavy Metals in Fly Ash from the Incineration During the Disposal Process with Higher Temperature	LIU Jing-yong, SUN Shui-yu (3279)
Study on Greenhouse Gas Emissions from Urban Waste Disposal System; A Case Study in Xiamen	YU Yang, CUI Sheng-hui, LIN Jian-yi, <i>et al.</i> (3288)
Fate Analysis of NPEOs and Their Metabolites in Municipal Wastewater Plants	LIAN Jing, LIU Jun-xin (3295)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年9月15日 33卷 第9期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol.33 No.9 Sep. 15, 2012

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in-Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@rcees.ac.cn http://www.hjkx.ac.cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel: 010-62941102, 010-62849343; Fax: 010-62849343 E-mail: hjkx@rcees.ac.cn http://www.hjkx.ac.cn
出 版	科学出版社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印刷装订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科学出版社 电话:010-64017032 E-mail: journal@mail.sciencep.com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@mail.sciencep.com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人