

蝉中汞含量及其分布特征研究

张仲胜^{1,2}, 吕宪国¹, 王起超^{1*}, 郑冬梅³, 张新艳^{1,2}, 郑娜¹

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所湿地生态与环境重点实验室, 长春 130012 2 中国科学院研究生院, 北京 100049 3 沈阳大学污染环境的生态修复与资源化技术教育部重点实验室, 沈阳 110044)

摘要: 研究了葫芦岛氯碱-有色冶金化工区蝉汞、膜翅汞及蝉蜕汞的含量, 比较了蝉与其它昆虫汞含量的差异, 探讨了汞在蝉体内的分布特征. 结果表明, 蝉汞含量很高, 平均值为 $2.64 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 远高于对照点地区蝉汞含量 (平均为 $1.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$); 蝉中汞的分布特征为蝉汞 > 膜翅汞 (平均为 $0.98 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) > 蝉蜕 (平均为 $0.50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$); 不同性别蝉体质量、汞含量存在显著差异, 雌性蝉体质量 (平均为 1.11 g) 显著高于雄性 (平均为 0.54 g); 雌性蝉汞含量 (平均为 $1.34 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 要显著低于雄性汞含量 (平均为 $3.38 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$); 不同采样点中蝉汞含量差异明显, 但是膜翅汞含量差异较小; 蝉汞含量与土壤汞含量之间不存在显著的相关关系. 蝉汞含量低于生命周期较长的蜻蜓汞含量, 但是却远高于生命周期较短的其它昆虫, 反映了环境汞污染在长生命周期昆虫的累积效应.

关键词: 蝉; 膜翅; 蝉蜕; 汞; 分布

中图分类号: X171.5 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2010)02-0509-04

Mercury Contents and Distribution Characteristics in Cicadae

ZHANG Zhong-sheng^{1,2}, LÜ Xian-guo¹, WANG Qi-chao¹, ZHENG Dong-mei³, ZHANG Xin-yan^{1,2}, ZHENG Na¹

(1. Key Laboratory of Wetland Ecology and Environment, Institute of Northeast Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China 3. Key Laboratory of Ecological Remediation of Contaminated Environment and Resource Reuse, Shenyang University, Shenyang 110044, China)

Abstract Total mercury contents of cicadae bodies, wings and exuviae were studied in Huludao City to discuss mercury distribution characteristics in cicadae and to reveal the environmental mercury accumulation effects in the long life-cycle insects through comparing cicadae with other insect species. The average mercury contents of cicadae bodies were $2.64 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and much higher than those in the contrast sites ($1.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ on average) in Huludao City. Mercury contents were found in the order of cicadae bodies > wings ($0.98 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ on average) > exuviae ($0.50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ on average). Sex differences of mercury contents and body weights of cicadae were significantly great. The females had larger body weights (1.11 g on average) and lower mercury contents ($1.34 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ on average) than the males (body weight 0.54 g on average; mercury contents $3.38 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ on average), respectively. Mercury contents of cicadae's bodies varied greatly with sample sites; mercury contents of wings changed little. No significant correlation was found between mercury contents of soil and cicadae bodies. Mercury contents of cicadae were lower than those of dragonflies, higher than those of other insects with shorter life-cycle periods and it reflected the accumulation effects of environmental mercury in the long life-cycle insects such as cicadae.

Key words cicadae; wings; exuviae; mercury; distribution

汞作为环境中典型的重金属元素, 由于具有强烈的生物毒性, 其在生态系统中的累积、传递越来越受到重视^[1-2]. 自从水俣病暴发以来, 汞在水生生物中的分布和富集得到了广泛的研究, 主要集中在鱼类^[3-5]和浮游生物^[6-8]方面. 近年来, 汞在陆地生物中的污染逐渐引起人们的关注^[9], 但是相对而言这方面的研究还比较少.

汞能够在昆虫体内累积, 并且通过食物链向高营养级生物进行传递, 目前研究较多的主要是飞蝗、蚱蜢、蜘蛛、螳螂等常见短生命周期昆虫^[10-12]. 蝉作为一种多年生的昆虫, 其生活习性非常特殊, 在最后一次蜕皮前, 蝉的幼虫要在地下生活 4~5 a 发育

成熟后就在附近的树上生活. 相比于飞蝗、蚱蜢等生命周期短的昆虫, 蝉体内的汞含量能反映出周围环境中汞污染的长期效应^[13], 但是关于蝉中汞含量及分布特征的研究并不多见. 本实验测定了葫芦岛地区蝉及其膜质翅膀、蝉蜕中的汞含量, 研究了汞在蝉不同部位的分布特征, 以期正确认识汞对长生命周期昆虫的毒害.

收稿日期: 2009-03-16; 修订日期: 2009-04-24

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40830535); 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (2009CB42110303); 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX3-SW-437)

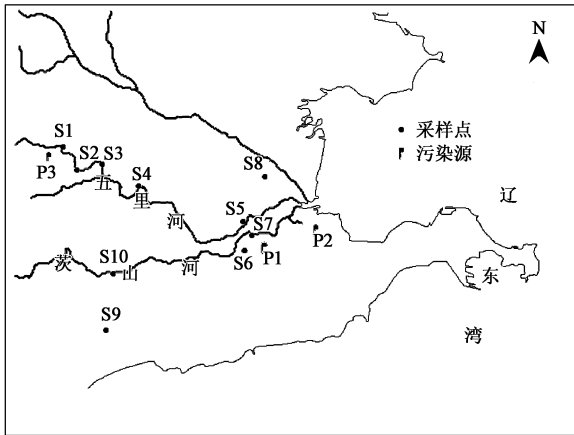
作者简介: 张仲胜 (1982~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为环境污染行为及其控制, E-mail: zzslycr@163.com

* 通讯联系人, E-mail: wangqichao@neigae.ac.cn

1 材料与方法

1.1 样品采集及前处理

葫芦岛是我国北方重要的有色冶金及化工基地,区内汞污染严重. 2007年 8月和 2008年 8月于葫芦岛地区随机手工采集蝉(67只)及蝉蜕(242只)样品,采样点如图 1所示. 同时采集相同地点处土壤(62个). 蝉及蝉蜕样品密封于聚乙烯封口袋中,置于车载冰箱中 0℃左右保存带回实验室,用蒸馏水反复冲洗掉蝉及蝉蜕表面所黏附的污物后,用滤纸吸干水分,密封于聚乙烯封口袋中, - 4℃保存于冰柜中. 选择龙湾公园(S10)处作为对照点. 龙湾公园位于茨山河上游,距离五里河上游的化工厂和茨山河下游的锌冶炼厂较远,以往研究表明龙湾公园汞污染轻微^[14].



S1 化肥桥; S2 化工桥; S3 化机桥; S4 五里河大桥;
S5 茨山北桥; S6 茨山; S7 茨山南桥; S8 稻田; S9 新区;
S10 龙湾公园; P1 个体锌厂; P2 葫芦岛锌厂; P3 锦西化工厂

图 1 采样点示意

Fig 1 Sample sites

在采集蝉的相同地点处,采集表层(0~ 15cm)土壤样品 3~ 4个,混匀后四分法缩分至约 200g 密封于聚乙烯塑料袋中带回实验室,室温下自然风干后,粉碎过 80 目尼龙筛,密封保存于聚乙烯封口袋中待测.

测定前将蝉和蝉蜕样品置于烘箱中 60℃烘干至恒重. 将蝉蜕样品置于玛瑙碾钵中反复碾磨至混合均匀,密封于封口袋中待测. 鉴别蝉的性别、称重后,将蝉的膜质翅膀剪下称量保存待测. 将蝉置于玛瑙碾钵中反复碾磨至混合均匀保存待测.

1.2 汞含量测定

蝉、膜翅、蝉蜕、土壤样品总汞采用 H₂SO₄-HNO₃-V₂O₅ 法消解, 20% SnCl₂ 还原, F-732V 智能测汞仪测定,方法的检出限为 5.0ng• g⁻¹. 每次试验均做空白,每个样品均做 2 次以上的平行.

1.3 质量控制及数据处理

分别采用国家一级标准物质人发(GBW-07601)、国家土壤标样(GBW-07405)对蝉、土壤汞含量进行验证. 标样中总汞含量分别为(0.36 ± 0.05) μg• g⁻¹、(0.290 ± 0.003) mg• kg⁻¹; 验证结果分别为(0.40 ± 0.01) μg• g⁻¹、(0.290 ± 0.025) mg• kg⁻¹.

数据处理采用 Excel 2003、SPSS 10.0 软件, 采样点制图采用 Arcgis 9.0 完成. 所用器皿使用前均在 3mol• L⁻¹ 的硝酸中浸泡 24h,所用试剂为分析纯或优级纯.

2 结果与分析

2.1 蝉中总汞含量及分布

龙湾公园蝉汞、膜翅汞及蝉蜕汞平均含量分别为 1.00、0.71 和 0.12 mg• kg⁻¹, 均低于葫芦岛地区平均值(表 1). 蝉体质量范围为 0.35~ 1.31 g 平均为 0.73 g 雌性蝉体质量(范围为 0.94~ 1.31 g 平均为 1.11 g)要显著高于雄性(范围为 0.35~ 0.69 g 平均为 0.54 g, $F = 33.10$, $p < 0.01$). 不同性别的蝉汞含量存在显著差异, 雌性中的汞含量要显著低于雄性($F = 8.43$, $p < 0.01$). Heckel 等^[13]认为蝉汞性别之间的差异,可能是由于雌性个体一般要比雄性大,体质量比较大,葫芦岛地区雌性蝉的体质量约为雄性的 2 倍,反映出生物量稀释的作用对降低雌性蝉中汞含量具有重要影响;而且雌性通过产

表 1 蝉、膜翅及蝉蜕中的汞含量¹⁾ /mg• kg⁻¹

Table 1 Total mercury concentrations of cicadae wings and sheds/mg• kg⁻¹

项目	样本数 (n)	蝉汞	膜翅汞	蝉蜕汞
雌性	27	0.21~ 2.72 (1.34)	0.29~ 3.72 (1.15)	
雄性	40	0.37~ 9.99 (3.38)	0.20~ 1.50 (0.87)	
龙湾公园 (对照点)	6	0.21~ 1.61 (1.00)	0.40~ 1.05 (0.71)	0.08~ 0.15 (0.12)
平均值		0.21~ 9.99 (2.64)	0.20~ 3.72 (0.98)	0.08~ 1.95 (0.50)

1) 括号内为算术平均值

卵繁殖后代; 生物量稀释的作用和产卵的生活习性可能使雌性蝉中汞含量较低。

蝉中总汞的分布特征为蝉汞 > 膜翅汞 > 蝉蜕汞, 且三者之间存在显著性差异 ($F = 10.94$ $p < 0.01$). 蝉汞含量分别是膜翅汞、蝉蜕汞含量的 3 倍和 5 倍, 说明汞主要蓄积在蝉体内, 这与汞在东亚飞蝗、中华蚱蜢中的分布差异很大. 东亚飞蝗膜翅中汞含量最高, 远高于飞蝗总汞含量^[15]. 同东亚飞蝗相比, 蝉并不能有效地将汞转移到膜翅之中. 一些昆虫也会通过幼虫的蜕皮作用排泄体内的重金属^[16], 但是蝉蜕中的汞含量很低, 且蝉蜕的质量很小, 同蝉体内大量蓄积的汞相比, 蝉蜕所排泄出的汞很少, 虽然在蝉的发育过程中要经过 5 次蜕皮过程, 但是蜕皮作用并不能有效地降低蝉中汞的负荷.

不同地点之间, 蝉汞含量差异明显 (图 2). 其中茨山、稻池、化肥桥、化机桥 4 个地点蝉汞含量比较高, 与这 4 个地点靠近污染源有关. 不同地点处膜翅汞含量较为接近.

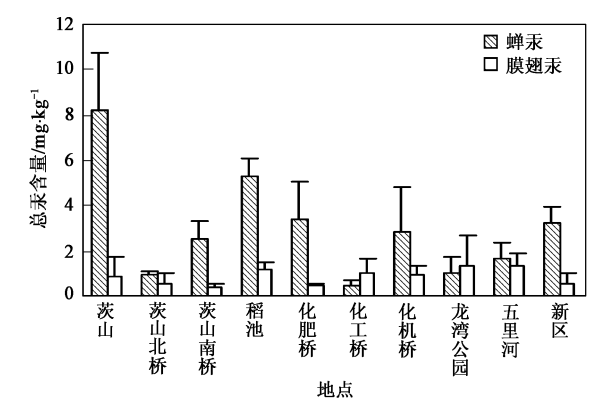


图 2 不同地点处蝉汞与膜翅汞含量

Fig 2 Total mercury concentrations of cicadae and wings in different sites

2.2 蝉与其它动物的比较

蝉汞含量要远高于东亚飞蝗、中华蚱蜢、金龟子、旋皮夜蛾等植食性昆虫 (表 2), 是植食性昆虫平均汞含量的 30 倍. 这可能是由于蝉特殊食性造成的. 东亚飞蝗等主要取食植物叶片, 而蝉幼虫在地下长时间的发育过程中, 主要靠吸食植物根系汁液为食. 大量研究表明, 植物根中的汞含量要远高于叶片^[11]. 特殊的食物结构及食物中高浓度的汞含量, 致使蝉汞含量要显著高于其它植食性昆虫.

与杂食性昆虫相比, 蝉汞含量也远高于穴居地下的蚂蚁, 是蚂蚁平均汞含量的 10 倍. 说明蝉幼虫可能比蚂蚁具有更高的汞富集能力.

与肉食性昆虫相比, 蝉汞含量要高于蜘蛛、瓢

虫、步行甲虫、螳螂, 低于蜻蜓, 这可能是由蝉与蜻蜓生活习性的差异造成的. 一方面蜻蜓的生命周期也比较长, 蜻蜓幼虫要在水中发育 2 a 左右的时间, 暴露于环境汞污染的时间较长; 另一方面也与蜻蜓是肉食性动物有关, 蜻蜓幼虫在水中主要捕食各种水生昆虫, 发育成熟以后主要捕食蚊蠓等小昆虫. 蜻蜓这种水陆两阶段的发育过程可能造成蜻蜓体内汞含量要高于蝉汞含量.

除了蜻蜓的生命周期较长之外, 其余昆虫的生命周期均不长, 绝大部分不超过 1 a 相比于短生命周期的昆虫, 蝉暴露于环境中的汞污染时间更长, 环境汞污染的累积效应在蝉等长生命周期的昆虫中更为明显.

表 2 蝉与葫芦岛其它动物的比较

Table 2 Total mercury concentrations of cicadae compared to other animals

昆虫	总汞 /mg• kg ⁻¹	文献
东亚飞蝗	0.05	
中华蚱蜢	0.11	
金龟子	0.11	
旋皮夜蛾幼虫	0.07	
拟黑多刺蚁	0.17(工蚁), 0.39(雌蚁)	[12]
中华小家蚁	0.16	
蜻蜓	4.51	
蜘蛛	0.17	
瓢虫	0.04	
步行甲虫	0.52	
螳螂	0.06~ 0.12	[11]
蝉	2.64	本研究

2.3 蝉汞与土壤汞含量的关系

葫芦岛不同地点处土壤总汞含量差异很大, 汞含量范围为 0.2 ~ 20.37 mg• kg⁻¹, 平均为 3.82 mg• kg⁻¹. 对照点龙湾公园处土壤平均汞含量为 0.39 mg• kg⁻¹. 化机桥 (平均为 18.21 mg• kg⁻¹)、稻池地区 (平均为 10.66 mg• kg⁻¹) 两处土壤汞含量较高. 化机桥位于原氯碱厂排污口下游地区, 历史上氯碱厂排出大量的含汞废水在化机桥处沉积, 造成该处土壤及沉积物中汞含量很高; 稻池位于葫芦岛锌厂附近, 锌厂排出的废渣、废气等加重了该处土壤中的汞污染.

Heikens 等^[17]认为陆地无脊椎动物对重金属的累积与其周围土壤中重金属含量有关. 但是相关分析表明, 土壤中汞含量与蝉汞含量之间并无显著相关性 (图 3). 说明蝉汞含量除了受土壤汞影响之外, 还受到其它因素的影响. Heckel 等^[13]曾经推测认为, 蝉主要通过表皮与土壤接触的途径累积土壤中

的汞. 生物通过皮肤接触的途径吸收汞, 主要是在生物膜上发生的被动扩散吸收过程, 这个过程受到土壤中汞形态的影响, 相对而言, 甲基汞更容易通过此种方式在生物体内累积^[7]. 然而 Heckel 等的研究并未证实蝉主要通过皮肤接触的方式累积汞. 蝉蜕是蝉在发育过程中脱落的表皮, 本研究中蝉蜕的汞含量远低于土壤中的汞含量, 这可能反映出土壤汞对蝉汞含量的影响并不大. 此外, 由于蝉具有一定的迁移能力, 虽然所采集的土壤能够代表区域汞含量, 但是与实际蝉暴露土壤还有一定的差异, 这也可能造成蝉汞与土壤汞相关性不高.

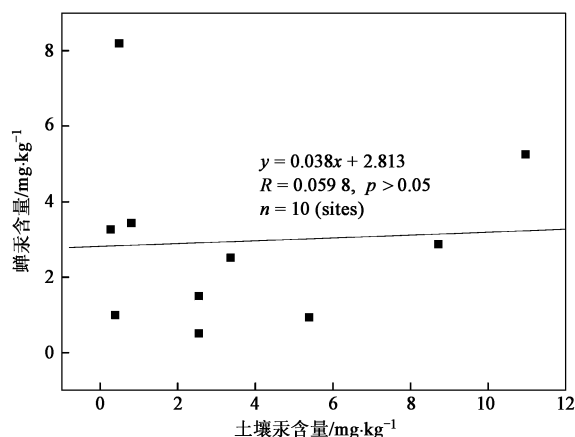


图 3 蝉汞与土壤汞含量的关系

Fig 3 Correlation of total mercury of cicadae and soil

蝉汞含量可能主要受其食物中汞含量的影响. 虽然同样长期生活在地下, 蚯蚓体内的重金属含量却与土壤中重金属含量显著相关^[18], 这主要是由于蚯蚓直接摄食土壤, 以土壤中的有机质及微生物等为食; 同蚯蚓相比, 蝉的幼虫并不摄食土壤, 在地下主要靠吸食植物根系汁液生活, 而植物根系是植物累积汞能力最高的部位^[1], 因此蝉汞受食物汞含量的影响可能更大, 但是这种推测也需要进一步的研究.

3 结论

(1) 葫芦岛地区蝉汞含量范围为 0.21 ~ 9.99 mg·kg⁻¹, 平均为 2.64 mg·kg⁻¹, 高于对照点地区. 不同性别蝉汞之间存在显著差异, 雌性蝉汞含量显著低于雄性.

(2) 不同地点蝉汞差异较大, 但是膜翅汞相差不多. 蝉中汞含量分布特征为蝉汞 > 膜翅汞 > 蝉蜕汞, 说明汞污染增加后, 汞主要累积在蝉体内而非转移到膜翅中; 蝉通过蜕皮所排泄出的汞含量非常有限.

(3) 同葫芦岛其它短生命周期昆虫相比, 蝉汞含量处于很高的水平, 说明蝉能更有效地从周围环境

境中蓄积汞, 也反映出环境汞污染在长生命周期昆虫的累积效应.

参考文献:

- [1] Dean W B. Ecological effects, transport and fate of mercury: a general review [J]. *Chemosphere*, 2000, **40**: 1335-1351.
- [2] Hylander L D, Michael E G. Environmental costs of mercury pollution [J]. *Science of the Total Environment*, 2006, **368**: 352-370.
- [3] Baeyens W, Leemakers M, Papina T, *et al*. Bioconcentration and biomagnification of mercury and methylmercury in North Sea and Scheldt Estuary fish [J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2003, **45**: 498-508.
- [4] Dušek L, Svoboda Z, Janouškov D, *et al*. Bioaccumulation of mercury in muscle tissue of fish in the Elbe River (Czech Republic): multispecies monitoring study 1991-1996 [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2005, **61**: 256-267.
- [5] Grieb T M, Driscoll C T, Gloss S, *et al*. Factors affecting mercury accumulation in fish in the upper Michigan peninsula [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1990, **9**: 919-930.
- [6] Burger J, Cooper K, Saliva J, *et al*. Mercury bioaccumulation in organisms from three Puerto Rican estuaries [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1992, **22**: 181-197.
- [7] Mason R P, Laporte J M, Andres S. Factors controlling the bioaccumulation of mercury, methylmercury, arsenic, selenium, and cadmium by freshwater invertebrates and fish [J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2000, **38**: 283-297.
- [8] Tsai M T K, Wang W X. Uptake and elimination routes of inorganic mercury and methylmercury in *Daphnia magna* [J]. *Environmental Science Technology*, 2004, **38**(3): 808-816.
- [9] Hsu M J, Selvaraj K. Taiwan's industrial heavy metal pollution threatens terrestrial biota [J]. *Environmental Pollution*, 2006, **143**: 327-334.
- [10] Devkota B, Schmidt G H. Accumulation of heavy metals in food plants and grasshopper from the Taigetos Mountains, Greece [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2000, **78**: 85-91.
- [11] Zheng D M, Wang Q C, Zhang Z S, *et al*. Bioaccumulation of total and methylmercury by arthropods [J]. *Bull Environ Contam Toxicol*, 2008, **81**: 95-100.
- [12] 张仲胜, 王起超, 郑冬梅, 等. 葫芦岛地区汞在土壤-植物-昆虫系统中的生物地球化学迁移 [J]. *环境科学学报*, 2008, **28**(10): 2118-2124.
- [13] Heckel P F, Keener T C. Sex differences noted in mercury bioaccumulation in *Megicada cassini* [J]. *Chemosphere*, 2007, **69**: 79-81.
- [14] 郑冬梅, 王起超, 郑娜, 张少庆. 锌冶炼-氯碱生产复合污染区土壤汞的空间分布 [J]. *土壤通报*, 2007, **38**(2): 361-364.
- [15] 张仲胜, 王起超, 郑冬梅, 等. 葫芦岛地区东亚飞蝗体内的汞含量及分布 [J]. *生态学杂志*, 2008, **27**(9): 1526-1530.
- [16] Heltvaara K, Väänänen R. Concentrations of heavy metals in the food feces, adults and empty cocoons of *Neodiprion sertifer* (Hymenoptera: Diprionidae) [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 1990, **45**: 13-18.
- [17] Heikens A, Peijnenburg W J G M, Hendriks A J. Bioaccumulation of heavy metals in terrestrial invertebrates [J]. *Environmental Pollution*, 2001, **113**: 385-393.
- [18] Dai J, Becquer T, Rouiller J H, *et al*. Heavy metal accumulation by two earthworm species and its relationship to total and DTPA-extractable metals in soils [J]. *Soil Biology Biochemistry*, 2004, **36**: 91-98.