

中华稻蝗(*Oxya chinensis*)对重金属镉的累积及排泄

张育平¹, 杨慧敏¹, 李丽君², 马恩波¹, 郭亚平^{1*}

(1.山西大学应用生物研究所, 太原 030006; 2.山西省农业科学院土壤与肥料研究所, 太原 030031)

摘要:为了研究重金属镉(Cd)在植食性昆虫体内的累积和排泄规律,通过Cd慢性染毒的方法,用不同浓度Cd溶液培养的麦苗饲喂中华稻蝗(从4龄若虫至成虫),采用原子吸收法测定Cd在中华稻蝗(*Oxya chinensis*)整虫和中肠的蓄积及Cd在其粪便和蜕中的排泄量。研究表明,Cd在中华稻蝗整虫和中肠中的累积规律相似,即随着麦苗中Cd含量的增加,整虫和中肠中Cd的累积量明显升高,且各处理间存在显著差异($P<0.05$)。部分Cd可以通过粪便的排泄和蜕皮过程而排出体外。用不同Cd浓度的麦苗饲喂中华稻蝗后,其粪便和蜕中的Cd排泄量与对照组相比显著升高($P<0.05$),且各处理间差异显著($P<0.05$)。中华稻蝗整虫、中肠、粪便和蜕中的Cd含量与食物(麦苗叶片)中的Cd含量存在显著的剂量-反应关系,其相关系数分别为:整虫0.977、中肠0.920、粪便0.967、蜕0.840。研究结果可为进一步研究Cd在中华稻蝗体内积累和排泄的动态变化规律提供理论和实验依据。

关键词:中华稻蝗;Cd;积累;排泄

中图分类号:X503.223 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2012)01-0036-06

Accumulation and Excretion of Cadmium in *Oxya chinensis* Fed on Treated Diets with Cadmium

ZHANG Yu-ping¹, YANG Hui-min¹, LI Li-jun², MA En-bo¹, GUO Ya-ping^{1*}

(1. Institute of Applied Biology, Shanxi University, Taiyuan 030006, China; 2. Institution of Soil Science and Fertilizer, Shanxi Academy of Agriculture Science, Taiyuan 030031, China)

Abstract: In order to study the accumulation and excretion of heavy metal in insects, cadmium amounts in the whole body, midgut, feces, and exuviae of *Oxya chinensis* fed on diets contaminated Cd were detected using an atomic absorption spectrometer. The results showed that the Cd accumulation characteristics in the whole body and midgut were similar. The accumulated Cd concentrations in the whole body and midgut rose with the increase of Cd content in the treated diets (wheat seedlings) and showed significant difference ($P<0.05$). Some of Cd in diets could be excreted through feces and exuviae. The Cd excretion in the feces and exuviae of *O. chinensis* fed on treated diets increased markedly comparing to the control treatment ($P<0.05$). There were statistically significant differences in Cd excretion between different treatments ($P<0.05$). There were significant dose-dependent relationships between Cd accumulated in the grasshopper, *O. chinensis* and Cd content in diets. The correlation coefficients were 0.977 for whole body, 0.920 for midgut, 0.967 for feces, and 0.840 for exuviae, respectively. The results might provide insight into the dynamic variation of Cd accumulation and excretion in the grasshopper *O. chinensis*.

Keywords: *Oxya chinensis*; cadmium; accumulation; excretion

镉(Cadmium, Cd)是环境中重要的污染元素之一。人类的工业生产活动往往能够引起环境Cd污染。有色金属的开发冶炼、煤炭燃烧、垃圾焚烧、磷酸盐肥料等

工业在生产过程中都会向环境中排放含Cd废物^[1-4]。进入环境中的Cd很难被生物体降解,从而导致生物体中Cd的过量累积,以至影响生物体正常的生命活动^[3-4]。昆虫是世界上物种最丰富、数量最多的生物之一。环境中的重金属可通过昆虫的呼吸、表皮和摄食等途径进入昆虫体内。通过取食方式进入昆虫体内的重金属常在中肠上皮细胞中积累,上皮细胞具有阻止重金属进入昆虫体内的作用。就植食性昆虫而言,取

收稿日期:2011-04-18

基金项目:国家自然科学基金项目(31071980);山西省留学基金(2008114);国家公益性行业(农业)科研专项(200903021)

作者简介:张育平(1977—),女,山西阳城人,在读博士,讲师,研究方向为重金属毒理学。E-mail:zyzpsjwshy@yahoo.cn

* 通讯作者:郭亚平 E-mail:guoyap1955@163.com

食是重金属进入昆虫体内的一条重要途径。由于植食性昆虫取食被土壤重金属污染的农作物后,重金属可通过食物链在昆虫的消化道等器官中累积,重金属通过食物链影响植食性昆虫的研究备受关注^[5-6]。

昆虫在受到 Cd 污染影响的同时,也发展出独特的解毒机制以减少体内过量重金属的危害,并维持机体内环境的稳态。昆虫对重金属的解毒机制有包括昆虫对过量重金属的储存、抗氧化酶和金属结合蛋白的解毒作用等^[7]。此外,昆虫也可以进行排泄解毒,即昆虫在积累重金属的同时,也可通过排泄粪便和蜕皮等方式将部分重金属排出体外^[8-13]。有关昆虫对重金属的排泄,国内外已有研究,如 Crawford 等对飞蝗(*Locust migratoria*)的研究^[10];孙虹霞等对斜纹夜蛾(*Spodoptera litura*)的研究^[12];吴国星等对棕尾别麻蝇(*Boettcherisca peregrine*)的研究^[13]。但昆虫对重金属的排泄的研究工作主要集中在对昆虫排泄物,如昆虫粪便等的研究,而对昆虫通过蜕皮途径进行 Cd 排泄的研究则相对较少。

中华稻蝗(*Oxya chinensis*)系直翅目(Orthoptera),斑腿蝗科(Catantopidae)稻蝗属(*Oxya Serville*),在国内分布广泛。中华稻蝗取食范围较广,但主要以水稻、小麦等禾本科植物为食^[14]。本课题组多年来致力于 Cd 对中华稻蝗的毒性作用机制的研究,前期研究结果表明^[15-17],中华稻蝗是一种较强的重金属积累者,取食含 Cd 食物后中华稻蝗体内会蓄积大量的 Cd。但有关 Cd 在中华稻蝗体内的排泄机制尚未涉及。本文旨在通过食物(麦苗)慢性染毒方法,初步研究 Cd 在中华稻蝗体内的积累和排泄规律,为进一步研究 Cd 在中华稻蝗体内积累和排泄的动态变化规律提供理论和实验依据。

1 材料与方法

1.1 麦苗染毒

小麦种子(晋太 0704)购自山西省农业科学院。小麦种子经 5%双氧水消毒 5 min 后,用单蒸水冲洗 3 次后浸泡 12 min 催芽。在白色冰盘(23 cm×16.5 cm×7 cm)内平铺一定厚度的吸水纸,用配好的氯化镉($\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$)溶液将吸水纸全部浸透后,将经过催芽的小麦种子均匀播撒于白色冰盘内。实验设 20、40 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 80 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 3 个处理,每处理设 3 个重复,以自来水为对照。每日定量浇入相应的氯化镉溶液以保持吸水纸的湿度。培养 7 d 后的小麦用于饲喂中华稻蝗,同时隔离出 20 株麦苗用于麦苗 Cd 含量的测定。

1.2 中华稻蝗

2008 年 7 月于山西省太原市晋源区采集中华稻蝗 4 龄若虫。将采集到的中华稻蝗放于纱笼中带回实验室正常喂养 24 h,挑选龄期一致、大小和体重均匀的 4 龄若虫分别放于 12 个纱笼中(40 cm×29 cm×29 cm),每笼放 100 头。同时将培养 7 d 的麦苗分别放入相应的纱笼中,饲喂过程中定期更换麦苗。

1.3 样本的收集

1.3.1 虫体样本的收集

5 龄中华稻蝗蜕皮后第 2 d(即成虫第 2 d)进行虫体取样,每笼随机取 10 头(5 雌 5 雄),用于整虫重金属含量的测定。另随机取 10 头中华稻蝗(5 雌 5 雄)进行解剖,取其中肠后标号与整虫样本同放于-80℃冰箱待测。

1.3.2 粪便样本的收集

于 4 龄中华稻蝗蜕皮后的第 2 d(即 5 龄第 2 d),将养虫笼清理干净,在养虫笼的底部平铺一张干净的白纸,待实验结束后收集白纸上的粪便,用对角线法进行取样,标号待测。

1.3.3 蜕样本的收集

收集 5 龄中华稻蝗若虫羽化时蜕下的皮(蜕),每笼收集 30 张,标号待测。

1.4 Cd 浓度的测定

所有样本在烘箱(65℃)中烘至恒重后称重。在 $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$ (V/V=5:1)体系中进行消化。先将材料放入消化杯中,加入 6 mL 的浓 HNO_3 ,置于电炉上消化。待棕色气体消失冒白烟后移开消化杯,让其自然冷却到室温后再加入 1 mL 的 HClO_4 后继续消化。消化后的无机物用比色管定容至 10 mL。以 $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$ (V/V=5:1)为空白对照,用原子吸收分光光度计(SHIMADZUA-6300, Japan)对各样品进行测定,测定结果以 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 干重表示。

1.5 数据处理

重金属 Cd 在中华稻蝗整虫、中肠、粪便和蜕中的含量按下式计算:

$$\text{Cd 浓度}(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ dry weight}) = C \times 10 \times 10^{-3} / W$$

其中: C 为原子吸收分光光度计测定的浓度($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); 10 为测定时的定容体积(mL); W 为样品干重(kg)。

用 SPSS 11.5 软件对实验数据进行方差分析(ANOVA)和多重比较(LSD),分析对照与处理之间以及各处理之间差异的显著性($P < 0.05$),并对中华稻蝗成虫、中肠、粪便及蜕中的 Cd 含量与小麦苗中的 Cd 含量进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 Cd 在麦苗中的累积

不同浓度的 Cd 溶液培养 7 d 后,麦苗中 Cd 的累积情况见表 1。由表中可知,对照组麦苗未检出 Cd,处理组麦苗 Cd 的累积浓度随溶液中 Cd 浓度的升高而显著增加($P<0.05$)。各处理间 Cd 含量的差异显著($P<0.05$)。

2.2 中华稻蝗对 Cd 的累积

由图 1 可知,Cd 在中华稻蝗体内的累积规律为:随着麦苗中 Cd 浓度的升高,处理组中华稻蝗体内 Cd 的累积浓度均显著高于对照组($P<0.05$),且各处理间差异显著($P<0.05$);中华稻蝗整虫体内 Cd 的累积浓度与麦苗 Cd 含量之间呈明显的剂量-反应关系(见图 2)。剂量-反应回归方程为:

$y=0.726\ 5x-4.382\ 7(r=0.977)$

中华稻蝗成虫中肠对 Cd 的累积在各处理间存在显著差异($P<0.05$)(图 3),由图 4 可知,中华稻蝗中肠 Cd 的累积浓度与麦苗中 Cd 的浓度之间呈显著的剂量-反应关系,其回归方程为:

$y=3.051x-32.812(r=0.920)$

2.3 中华稻蝗对 Cd 的排泄

取食含不同浓度 Cd 的麦苗后,中华稻蝗粪便中 Cd 含量的变化见图 5。在处理条件下,粪便 Cd 含量

显著高于对照组($P<0.05$),且随着麦苗 Cd 含量的升高,粪便中的 Cd 浓度明显增加,各处理间差异显著($P<0.05$)。粪便中 Cd 浓度与麦苗 Cd 含量的回归方程为(图 6):

$y=0.521\ 6x-3.095\ 4(r=0.967)$

取食 Cd 污染的麦苗后,中华稻蝗蜕中 Cd 含量的变化见图 7。由图中可以看出,喂食低 Cd 含量的麦苗后,中华稻蝗 5 龄若虫褪下的蜕中的 Cd 含量与对照组相比没有显著差异($P>0.05$),而中、高浓度条件下,蜕中的 Cd 含量与对照相比显著升高($P<0.05$),且各处理间差异显著($P<0.05$)。中华稻蝗蜕中 Cd 浓度与麦苗 Cd 含量呈显著的相关关系(见图 8),其回归方程为:

$y=0.104\ 5x-0.194\ 7(r=0.840)$

3 讨论

中华稻蝗 *O. chinensis* 取食含过量重金属 Cd 的麦苗后,Cd 能在其体内蓄积,并将其储存在中肠等组织内。Cd 在中华稻蝗体内的积累以中肠最高,整虫次之。本实验室的前期研究也已证明中华稻蝗的中肠是重金属 Cd 的主要累积部位^[15]。中肠是昆虫消化食物的主要场所,染 Cd 食物进入中华稻蝗体内后 Cd 首先被消化道的肠壁细胞所吸收,然后通过中肠上皮细胞的基底膜进入淋巴,随淋巴转运被输送到其他组织

表 1 培养 7 d 的麦苗中 Cd 的含量

Table 1 The Cd content of wheat seedlings cultured for 7 days

Cd 溶液的浓度/mg·L ⁻¹	Control	20	40	80
麦苗 Cd 含量/mg·kg ⁻¹ dry weight	—	69.97±0.67c	96.95±2.65b	129.25±4.37a

注:表中数据以平均值±标准误(n=3)表示;数据后的不同小写字母表示显著性差异(P<0.05)。
Note: Results are means ±S E (n=3). Different small letters after data represent significant differences at P<0.05.

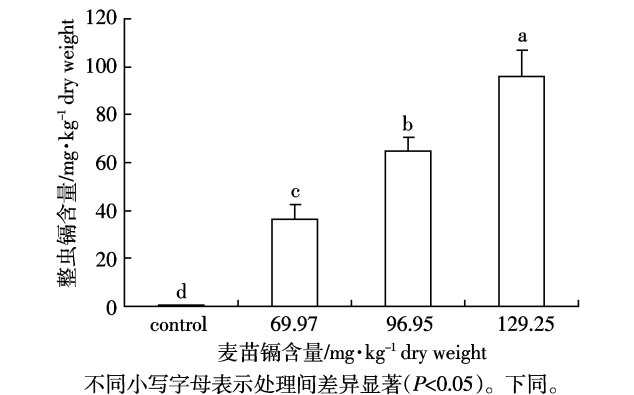


图 1 中华稻蝗整虫镉含量

Figure 1 The accumulated Cd concentration in the whole body of *O. chinensis*

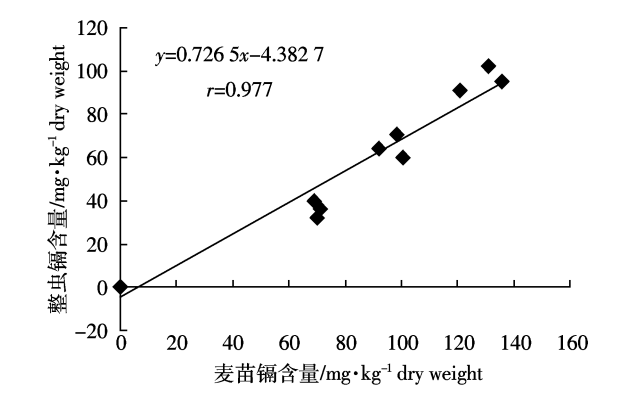


图 2 中华稻蝗整虫镉含量与麦苗镉含量的相关性

Figure 2 The correlation between Cd concentration in the whole body of *O. chinensis* and Cd content in wheat seedlings

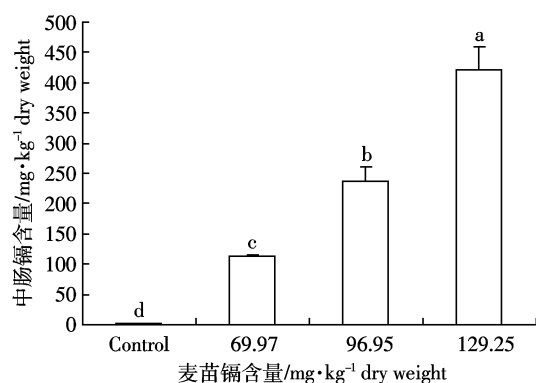


图 3 中华稻蝗中肠镉含量

Figure 3 The accumulated Cd concentration in the midgut of *O. chinensis*

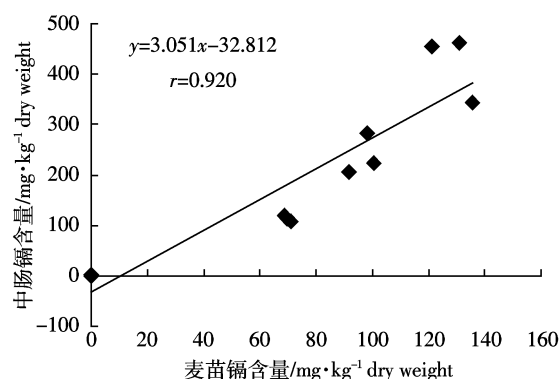


图 4 中华稻蝗中肠镉含量与麦苗镉含量的相关性

Figure 4 The correlation between Cd concentration in the midgut of *O. chinensis* and Cd content in wheat seedlings

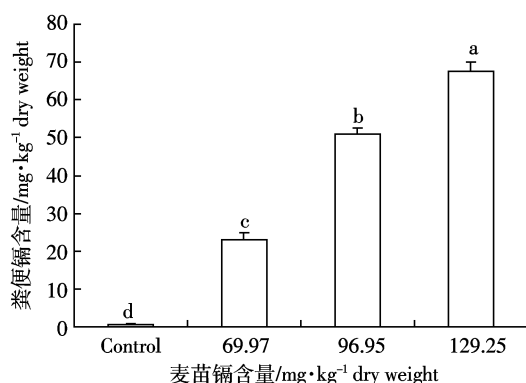


图 5 中华稻蝗粪便镉含量

Figure 5 The accumulated Cd concentration in the feces of *O. chinensis*

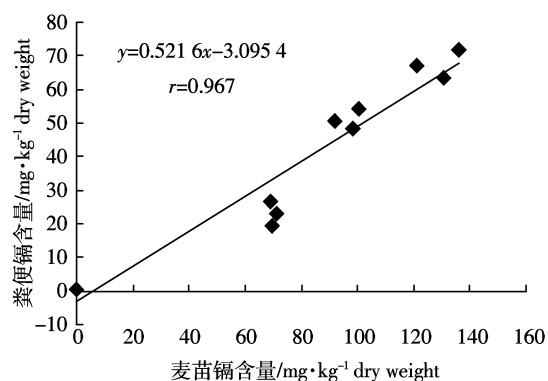


图 6 中华稻蝗粪便镉含量与麦苗镉含量的相关性

Figure 6 The correlation between Cd concentration in the faeces of *O. chinensis* and Cd content in wheat seedlings

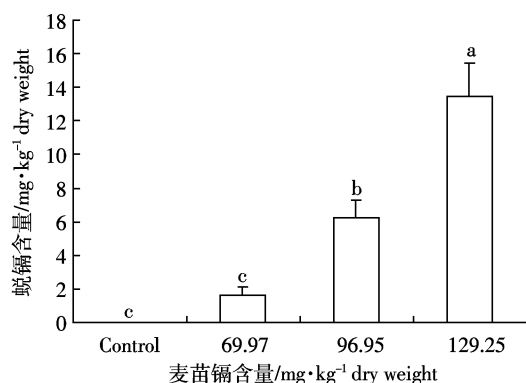


图 7 中华稻蝗蜕壳镉含量

Figure 7 The accumulated Cd concentration in the exuviae of *O. chinensis*

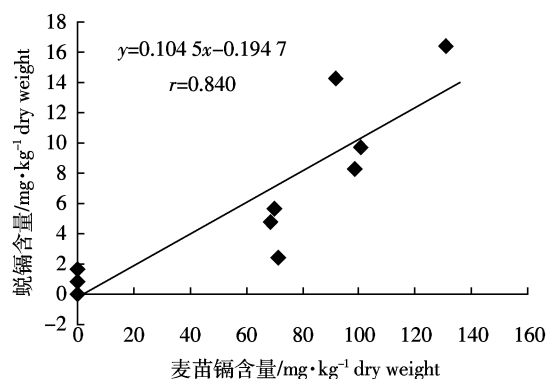


图 8 中华稻蝗蜕壳镉含量与麦苗镉含量的相关性

Figure 8 The correlation between Cd concentration in the exuviae of *O. chinensis* and Cd content in wheat seedlings

器官。Posthuma 等^[8]报道弹尾虫 *Orchesella cincta* 体内 90% 的 Cd 积累在中肠。Crawford 等^[10]曾报道飞蝗雌虫和雄虫分别可以吸收食物 Cd 含量的 33% 和 21%。虽然整虫和中肠的 Cd 积累量差异较大,但累积

规律极其相似,即随着麦苗中 Cd 含量的增加,虫体或组织中 Cd 的积累量明显升高,且各处理间存在显著差异。鉴于以上 Cd 累积的研究结果,我们考虑在以中华稻蝗 Cd 含量作为监测指标进行环境 Cd 污染

监测时,可以用整虫代替组织(如中肠)。

Cd 的积累也发生在其他昆虫中,如植食性昆虫斜纹夜蛾 *Spodoptera litura*^[12],土壤昆虫弹尾虫 *Orchesella cincta*^[18]和刺吸类的美洲脊胸长蝽 *Oncopeltus fasciatus*^[9]等。国内外已有的研究表明,重金属在其他昆虫中的累积情况与此相似,如吴国星等^[13]的研究结果表明,Cd 在棕尾别麻蝇幼虫体内的积累量因饲料中 Cd 浓度的变化而变化,取食含 200 mg·kg⁻¹ Cd 饲料的棕尾别麻蝇,其体内 Cd 含量高于其他 3 个处理(100、400、800 mg·kg⁻¹),这可能是由于当昆虫体内的重金属浓度超过某个水平时,幼虫中毒较重,引起摄食和排泄能力的下降。本实验结果与此不完全相符,可能是因为食料(麦苗)中的 Cd 浓度较低,中华稻蝗中毒较轻,对其摄食能力没有明显影响,这有待于我们进一步研究。

中华稻蝗粪便和蜕中的 Cd 含量与食物中 Cd 浓度密切相关。在虫体摄入过量 Cd 时,不仅可以通过粪便将部分 Cd 排出体外,还可以通过周期性的蜕皮排出一部分 Cd。昆虫的中肠上皮细胞是吸收 Cd 的主要部位,在蜕皮时会再生,而旧的上皮细胞会作为中肠的代谢物排出。Posthuma 等^[8]报道弹尾虫每次蜕皮有约 35%的 Cd 被排泄;Crawford 等^[10]曾报道飞蝗雌虫和雄虫分别可以排泄食物中 Cd 含量的 68%和 79%;吴国星等^[13]报道棕尾别麻蝇幼虫取食中低浓度 Cd 时,积累在体内的 Cd 大部分随着幼虫排泄物、蛹壳和成虫排泄物排出,只有 30%左右留存在成虫体内。本研究中,随着食物(麦苗)中 Cd 浓度的升高,中华稻蝗粪便和蜕中的 Cd 含量呈明显升高的趋势,表明在一定浓度范围内,食物中 Cd 含量越高,粪便和蜕中的 Cd 排泄量越大。这充分说明,中华稻蝗取食染 Cd 麦苗后,可以通过粪便和蜕皮排出部分 Cd,减轻 Cd 对中华稻蝗虫体的危害。相关报道表明,Cd 在昆虫体内和排泄物中的蓄积会随着昆虫的变态过程而降低^[13,20-22]。中华稻蝗属渐变态昆虫,Cd 在其不同龄期若虫及成虫体内的累积及排泄状况如何有待进一步研究。

4 结论

(1)植食性昆虫中华稻蝗取食染 Cd 食物后,Cd 在整虫和中肠内的累积规律具有明显的剂量依赖性,即虫体 Cd 累积量随食物中 Cd 含量的增加而增加。

(2)中华稻蝗可以通过蜕皮和粪便等方式排泄体内累积的部分 Cd,在一定的浓度范围内减轻 Cd 对其

毒性作用。

(3)本文通过慢性染毒对植食性昆虫中华稻蝗的 Cd 积累和排泄规律进行了初步探讨,但不同龄期若虫及成虫对 Cd 的累积动态和排泄规律是否相似还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] Bai J H, Cui B S, Wang Q G, et al. Assessment of heavy metal contamination of roadside soils in Southwest China[J]. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2008, 23(3):341-347.
- [2] Wang H Y, Arne O S. Heavy metal pollution in air-water-soil-plant system of Zhuzhou City, Hunan Province, China[J]. *Water, Air and Soil Pollution*, 2003, 147(1-4):79-107.
- [3] 孟紫强. 环境毒理学[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2000:5-6. MENG Zi-qiang. Environmental toxicology [M]. Beijing:Chinese Environmental Science Press, 2000:5-6.
- [4] David A W, Pamela Welbourn. 朱琳,译. 环境毒理学[M]. 北京:高等教育出版社, 2007:308-310. David A W, Pamela Welbourn, Zhu Lin. Environmental toxicology[M]. Beijing:Higher Education Press, 2007:308-310.
- [5] Zhang Z S, Lu X G, Wang Q C, et al. Mercury, cadmium and lead biogeochemistry in the soil plant insect system in Huludao City[J]. *Bull Environ Contam Toxicol*, 2009, 83:255-259.
- [6] Zhang Ping, Zou Hui-ling, Shu Wen-sheng. Biotransfer of heavy metals along a soil-plant-insect-chicken food chain: Field study[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2009, 21:849-853.
- [7] 孙虹霞, 刘颖, 张古忍. 重金属污染对昆虫生长发育的影响[J]. 昆虫学报, 2007, 50(2):178-185. SUN Hong-xia, LIU Ying, ZHANG Gu-ren. Effects of heavy metal pollution on insects[J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2007, 50(2):178-185.
- [8] Posthuma L, Hogervorst R F, Van Straalen N M. Adaptation to soil pollution by cadmium excretion in populations of *Orchesella cincta* (L.) collembola[J]. *Arch Environ Contam Toxicol*, 1992, 22:146-156.
- [9] Cervera A, Maym A C, Sendra M, et al. Cadmium effects on development and reproduction of *Oncopeltus fasciatus* (Heteroptera: Lygaeidae)[J]. *J Insect Physiol*, 2004, 50(8):737-749.
- [10] Crawford L A, Lepp N W, Hodgkinson L D. Accumulation and egestion of dietary copper and cadmium by the grasshopper *Locust migratoria* R & F (Orthoptera: Acrididae)[J]. *Environ Pollut*, 1996, 92(3):241-246.
- [11] Kari H, Rauno V. Concentrations of heavy metals in the food, faeces, adults, and empty cocoons of *Neodiprion sertifer* (Hymenoptera, Diprionidae)[J]. *Bull Environ Contam Toxicol*, 1990, 45:13-18.
- [12] 孙虹霞, 夏端, 周强, 等. 斜纹夜蛾幼虫对食物中重金属的 Ni²⁺ 的积累与排泄[J]. 昆虫学报, 2008, 51(6):569-574. SUN Hong-xia, XIA Qiang, ZHOU Qiang, et al. Accumulation and excretion of nickel in *Spodoptera litura* Fabricius larvae fed on diets with Ni²⁺[J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2008, 51(6):569-574.
- [13] 吴国星, 朱家颖, 高熹, 等. 重金属 Cd 与铜在棕尾别麻蝇体内的积累和排泄研究[J]. 环境昆虫学报, 2010, 32(3):347-352. WU Guo-xing, ZHU Jia-ying, GAO Xi, et al. Study on accumulation

- and excretion of dietary cadmium and copper by *Boettcherisca peregrina* (Diptera: Sarcophagidae)[J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2010, 32(3): 347–352.
- [14] 陈永林. 蝗虫灾害的特点、成因和生态学治理[J]. *生物学通报*, 2000, 35(7): 1–5.
- CHEN Yong-lin. Characteristics, causes and ecological management of the grasshopper disaster[J]. *Bulletin of Biology*, 2000, 35(7): 1–5.
- [15] 孙 鸽, 吴海花, 席玉英, 等. 长期取食染 Cd 小麦后中华稻蝗体内 Cd 的累积分布[J]. *农业环境科学学报*, 2009, 28(9): 1812–1817.
- SUN Ge, WU Hai-hua, XI Yu-ying, et al. Accumulation and Distribution of Cadmium in *Oxya chinensis* after feeding on wheat seedlings contaminated with Cd[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(9): 1812–1817.
- [16] 吴海花, 闫会平, 孙 鸽, 等. 中华稻蝗不同体段 Cd 与铅含量及抗氧化酶的比较[J]. *农业环境科学学报*, 2009, 28(3): 471–475.
- WU Hai-hua, YAN Hui-ping, SUN Ge, et al. Comparisons of cadmium and lead concentrations and antioxidant enzyme activities in different body segments of *Oxya chinensis* [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(3): 471–475.
- [17] Li Lijun, Liu Xuemei, Duan Yihao, et al. Accumulation of cadmium and copper by female *Oxya chinensis* (Orthoptera: Acrididae) in soil-plant-insect system[J]. *J Environ Sci*, 2006, 18(2): 341–346.
- [18] Hensbergen P J, van Velzen M J M, Nugroho R A, et al. Metallothionein-bound cadmium in the gut of the insect *Orchesella cincta* (Collembola) in relation to dietary cadmium exposure[J]. *Comp Biochem Physiol Part C*, 2000, 125(1): 17–24.
- [19] Aoki Y, Suzuki K T. Excretion of cadmium and change in the relative ratio of iso-cadmium-binding proteins during metamorphosis of flesh fly (*Sarcophaga peregrina*) [J]. *Comp Biochem Physiol*, 1984, 78C: 315–317.
- [20] Timmermans K T, Walker PA. The fate of trace metals during the metamorphosis of chironomids (Diptera, Chironomidae) [J]. *Environ Pollut*, 1989, 62: 73–85.
- [21] Lindqvist L. Accumulation of Cd, copper and zinc in five species of phytophagous insects [J]. *Environ Entomol*, 1992, 21: 160–163.
- [22] Lindqvist L, Block M. Excretion of cadmium during moulting and metamorphosis in *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) [J]. *Comp Biochem Physiol*, 1995, 111C: 325–328.