

# 斜纹夜蛾幼虫不同组织对 $Zn^{2+}$ 积累作用的比较研究\*

夏 婧<sup>1,2</sup>, 舒迎花<sup>1</sup>, 胡新军<sup>1</sup>, 孙虹霞<sup>1</sup>, 张古忍<sup>1</sup>

(1. 中山大学有害生物控制与资源利用国家重点实验室//昆虫学研究所, 广东 广州 510275;

2. 遵义医学院珠海校区, 广东 珠海 519041)

**摘 要:** 通过在人工饲料中添加不同质量分数的  $Zn^{2+}$ , 研究了植食性昆虫斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* Fabricius 连续3代幼虫取食含不同质量分数  $Zn^{2+}$  饲料后, 第1和第3代6龄幼虫不同组织对  $Zn^{2+}$  的积累作用。结果表明, 经连续3个世代的胁迫,  $Zn^{2+}$  在第1、3代斜纹夜蛾6龄幼虫脂肪体、表皮和中肠中的积累量随幼虫饲料中  $Zn^{2+}$  质量分数及胁迫时间的增加而升高; 中肠对  $Zn^{2+}$  的积累作用最强, 表皮次之, 脂肪体最低。

**关键词:** 重金属;  $Zn^{2+}$ ; 斜纹夜蛾; 积累

**中图分类号:** S433 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2008) 03-0089-05

随着城市化和工业化进程的飞速发展, 农田环境污染问题日益突出, 重金属已成为农田土壤的主要污染因子<sup>[1]</sup>。

土壤中的重金属可被蔬菜等作物吸收并储存在茎叶等组织中, 如在富锌土壤中种植的蔬菜, 收获期青菜叶中的锌含量高达1 297.5 mg/kg, 花苔含量达1 141.8 mg/kg<sup>[2]</sup>。土壤中富含的重金属还可通过土壤-作物-昆虫系统在昆虫体内积累, 如Cd在中华稻蝗 *Oxya chinensis* (Thunberg) 体内的积累<sup>[3-4]</sup>。此外, Pb、Cd在欧洲松梢小卷夜蛾 *Rhyacionia buoliana* (Schif.) 各个发育阶段<sup>[5]</sup>以及Cu、Zn在松皮天牛 *Rhagium inguisitor* (L.) 体内的积累<sup>[6]</sup>均为重金属在食物链中传递的结果。而污染地带所收集的蜜蜂及其产物蜂蜜、花粉、蜂胶、蜂蜡等可作为环境监测的指示物<sup>[7]</sup>。

昆虫体内积累的重金属可对其生长发育产生影响。如受Cu、Cd、Pb胁迫地中海实蝇 *Ceratitis capitata* (Wiedemann) 的化蛹率和蛹重均随胁迫质量分数的增加而降低<sup>[8]</sup>, Cd对棕尾别麻蝇 *Boeffercherisca peregrina* (Robineau - Desvoidy) 的生长发育与繁殖也产生了显著影响<sup>[9]</sup>。斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* (Fabricius) 幼虫取食含不同质量分数  $Zn^{2+}$  的食物后可间接影响其寄生性天敌斜纹夜蛾侧沟茧蜂 *Microplitis bicoloratus* (Chen) 的生长发育<sup>[10]</sup>。同时, 重金属胁迫也可对昆虫生理活性及细胞凋亡产生影响<sup>[11-14]</sup>。但重金属在植食性昆虫不同部位的积累及其产生的影响则较少报道。

斜纹夜蛾 *S. litura* 是一种杂食性、暴食性害虫, 其寄主范围极其广泛, 可为害烟草等99科290多种植物<sup>[15]</sup>。本文通过在斜纹夜蛾幼虫饲料中添加不同质量分数的  $Zn^{2+}$ , 研究了斜纹夜蛾连续3个世代幼虫取食含不同  $w(Zn^{2+})$  的饲料后,  $Zn^{2+}$  在第1、第3两个世代6龄幼虫脂肪体、表皮及中肠中的积累作用。其结果将为揭示农田重金属污染对植食性昆虫可能产生的影响提供一些依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 斜纹夜蛾幼虫的饲养及 $Zn^{2+}$ 的胁迫处理

斜纹夜蛾系中山大学昆虫学研究所养虫室用人工饲料<sup>[16]</sup>饲养。在人工饲料中添加不同质量分数的  $Zn^{2+}$ , 并以此连续3代饲喂斜纹夜蛾幼虫: 以第1代幼虫化蛹后, 羽化成虫所产的卵作为第2代虫源, 第3代依此类推。所有的昆虫均饲养在  $26 \pm 1^\circ\text{C}$ 、16 L: 8 D、RH  $75 \pm 5\%$  条件下。

重金属  $Zn^{2+}$  的来源为  $ZnCl_2$  (广州试剂一厂生产的分析纯), 将  $ZnCl_2$  添加在人工饲料中, 使  $Zn^{2+}$  终质量分数分别为: 50、100、150、500 和 1 000 mg/kg。以不添加  $ZnCl_2$  饲料饲养的斜纹夜蛾幼虫为对照。

### 1.2 仪器

等离子体原子发射光谱仪: IRIS Advantage (HR), 美国 Thermo Jarrell Ash Corporation 生产。

\* 收稿日期: 2007-05-11

**基金项目:** 国家重点基础研究发展规划资助项目 (2006CB102001); 广东省科技计划资助项目 (2005B20501005); 广东省自然科学基金团队资助项目 (E039254); 珠海市科技计划资助项目 (PC20061049)

**作者简介:** 夏婧 (1973年生), 女, 博士; 通讯联系人: 张古忍; E-mail: zhanggr@mail.sysu.edu.cn

### 1.3 昆虫组织的收集与 $\text{Zn}^{2+}$ 的检测

每个处理选取长势均一的 6 龄幼虫各 30 条, 解剖并收集其表皮、脂肪体和中肠, 双蒸水漂洗后, 将收集的材料分别放入规格为 30 mm × 50 mm 的称量瓶中, 120 °C 烘箱干燥 5 h 后, 立即放入干燥器中冷却。以不添加重金属饲料的幼虫为对照, 每个处理 3 个重复。

分别称取第 1, 3 代 0.1 g 表皮、脂肪体、中肠放入 50 mL 安培瓶, 再加入 10 mL 浓硝酸, 置于电炉上消化, 冒白烟后加入 1 mL 浓高氯酸继续消化, 待棕色气体消失得到透明溶液后取下安培瓶, 冷却后用定性滤纸过滤, 去离子水定容至 50 mL。等离子体原子发射光谱仪 (ICP) 测定各个处理  $\text{Zn}^{2+}$  的质量分数 (以硝酸和高氯酸为空白对照)。

### 1.4 数据分析

重金属离子在斜纹夜蛾幼虫组织中的质量分数按以下公式计算:

斜纹夜蛾幼虫组织中重金属离子质量分数  $= C \times 50/W$  (单位: mg/kg)

其中  $C$  表示等离子体原子发射光谱仪测得的质量分数 (单位为: mg/kg);  $W$  表示样品的干质量 (单位为 g)。

$w(\text{Zn}^{2+})$  为斜纹夜蛾幼虫取食同一处理质量分数饲料后 3 个重复的平均数, 平均数经  $\log_{10}(x+1)$  转换后进行方差分析和多重比较<sup>[17]</sup>。并以不同组织的  $\text{Zn}^{2+}$  质量分数  $Y$  对斜纹夜蛾幼虫饲料中的  $\text{Zn}^{2+}$  质量分数  $X$  拟合曲线进行回归分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 第 1、第 3 代斜纹夜蛾幼虫脂肪体、表皮以及中肠中 $\text{Zn}^{2+}$ 的积累

2.1.1 第 1 代斜纹夜蛾幼虫脂肪体、表皮以及中肠中  $\text{Zn}^{2+}$  的积累 第 1 代斜纹夜蛾幼虫取食不同质量分数  $\text{Zn}^{2+}$  处理的饲料后, 6 龄幼虫脂肪体、表皮和中肠中  $\text{Zn}^{2+}$  含量均随饲料中  $\text{Zn}^{2+}$  质量分数升高而增加 (表 1)。脂肪体中  $\text{Zn}^{2+}$  含量虽表现出随  $\text{Zn}^{2+}$  处理质量分数升高而增加的趋势, 但各处理之间差异不显著 ( $df=12$ ,  $F=3.66$ ,  $P>0.05$ ); 当饲料中  $\text{Zn}^{2+}$  质量分数达到 1 000 mg/kg 时, 幼虫表皮及中肠中  $\text{Zn}^{2+}$  质量分数与其他处理间均存在显著差异 (表皮:  $257.50 \pm 15.55$  mg/kg,  $df=12$ ,  $F=11.37$ ,  $P<0.01$ ; 中肠:  $3197.7 \pm 409.99$  mg/kg,  $df=12$ ,  $F=19.54$ ,  $P<0.01$ )。经回归分析后幼虫各组织中  $\text{Zn}^{2+}$  质量分数与饲料中  $\text{Zn}^{2+}$  质量分数均具有线性相关性 (表 3), 且表皮与中肠中  $\text{Zn}^{2+}$  质量分数与饲料中  $\text{Zn}^{2+}$  质量分数间呈现出显著的剂量-效应反应关系 (表皮:  $R^2=0.922$ ,  $P<0.05$ ; 中肠:  $R^2=0.936$ ,  $P<0.05$ )。

斜纹夜蛾幼虫取食不同处理质量分数  $\text{Zn}^{2+}$  的饲料后, 一部分  $\text{Zn}^{2+}$  通过中肠吸收进入体内并积累, 不同组织器官对  $\text{Zn}^{2+}$  积累量不同。具有消化吸收功能的中肠积累  $\text{Zn}^{2+}$  量最多, 表皮次之, 而起转化和运输功能的组织脂肪体积累  $\text{Zn}^{2+}$  量最少, 并且中肠  $\text{Zn}^{2+}$  积累量与表皮、脂肪体相比差异显著 (表 1)。文献报道表明<sup>[6]</sup>, 昆虫肠道是积累 Zn、Cu、Cd 的主要器官, 对于 Zn 来说, 中肠的质量分数远高于脂肪体。这可能因为昆虫取食不同处理质量分数的饲料后, 饲料中部分  $\text{Zn}^{2+}$  通过中肠的吸收作用进入中肠细胞, 并且大部分滞留在中肠细胞中, 小部分则通过中肠细胞进入体内, 由血淋巴转运至不同组织并积累起来。

表 1  $\text{Zn}^{2+}$  胁迫下第 1 代斜纹夜蛾幼虫各组织中  $w(\text{Zn}^{2+})$

Tab. 1  $\text{Zn}^{2+}$  concentration in different tissues of the 1<sup>st</sup> generation *S. litura* larvae feeding on the artificial diets treated with different doses of  $\text{Zn}^{2+}$

| 饲料中  | 脂肪体              | 表皮               | 中肠                 |
|------|------------------|------------------|--------------------|
| 0    | 136.33 ± 7.65aA  | 163.17 ± 17.62aA | 1049.70 ± 341.88aB |
| 50   | 142.17 ± 7.23aA  | 181.50 ± 28.99aA | 1105.00 ± 323.14aB |
| 100  | 172.50 ± 19.80aA | 184.75 ± 10.25aA | 1108.50 ± 383.11aB |
| 150  | 167.50 ± 38.72aA | 188.33 ± 5.97aA  | 1177.30 ± 184.95aB |
| 500  | 196.75 ± 20.86aA | 208.67 ± 18.06aA | 1543.50 ± 51.77aC  |
| 1000 | 214.50 ± 39.57aA | 257.50 ± 15.55bA | 3179.70 ± 409.99bC |

注: 表中同一列平均数后不同小写字母表示各个处理间差异显著, 其中, 脂肪体:  $F=3.66$ ,  $P>0.05$ ; 表皮:  $F=11.37$ ,  $P<0.01$ ; 中肠:  $F=19.54$ ,  $P<0.01$ 。表中同一行中平均数后不同的大写字母表示同一处理不同组织间差异显著, 其中, 50 mg/kg:  $F=22.01$ ,  $P<0.01$ ; 100 mg/kg:  $F=20.38$ ,  $P<0.01$ ; 150 mg/kg:  $F=102.64$ ,  $P<0.01$ ; 500 mg/kg:  $F=575.42$ ,  $P<0.01$ ; 1 000 mg/kg:  $F=228.59$ ,  $P<0.01$ 。

2.1.2 第3代斜纹夜蛾幼虫脂肪体、表皮以及中肠中  $Zn^{2+}$  的积累 斜纹夜蛾幼虫经  $Zn^{2+}$  连续胁迫3代后,脂肪体、表皮和中肠中  $Zn^{2+}$  质量分数仍表现出与第1代相同的趋势,即均随饲料中  $Zn^{2+}$  质量分数的升高而增加(表2)。当饲料中  $Zn^{2+}$  质量分数大于 500 mg/kg 时,脂肪体、表皮中  $Zn^{2+}$  的质量分数与对照相比有显著差异,但两种组织间  $Zn^{2+}$  的质量分数差异不显著。中肠各个处理质量分数  $Zn^{2+}$  的质量分数与对照相比存在显著差异;在此世代中中肠  $Zn^{2+}$  的质量分数比脂肪体、表皮中  $Zn^{2+}$  的质量分数显著增加。但中肠中  $Zn^{2+}$  的质量分数与饲料中  $Zn^{2+}$  质量分数间没有显著相关性 ( $R^2=0.779$ ),仅表皮中  $Zn^{2+}$  的质量分数与饲料中  $Zn^{2+}$  处理质量分数间具有显著相关性 ( $R^2=0.994$ ,  $P<0.05$ ) (表3)。

第3代斜纹夜蛾幼虫取食不同质量分数  $Zn^{2+}$

表2  $Zn^{2+}$  胁迫下第3代斜纹夜蛾幼虫各组织中  $w(Zn^{2+})$

Tab.2  $Zn^{2+}$  concentration in different tissues of the 3rd generation *S. litura* larvae feeding on the artificial diets treated with different doses of  $Zn^{2+}$

| 饲料中  | 脂肪体               | 表皮                | 中肠                 |
|------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 0    | 139.33 ± 31.94aA  | 262.50 ± 29.61aB  | 498.50 ± 58.06aC   |
| 50   | 183.83 ± 25.60aA  | 332.17 ± 187.96aA | 1555.33 ± 457.15bB |
| 100  | 215.67 ± 128.93aA | 351.67 ± 106.96aA | 1830.83 ± 80.30bB  |
| 150  | 586.00 ± 99.50bA  | 386.17 ± 39.11aA  | 2183.67 ± 215.25bB |
| 500  | 605.17 ± 39.99bA  | 549.00 ± 210.80bA | 3795.67 ± 127.55cB |
| 1000 | 764.00 ± 79.97bA  | 825.00 ± 226.92bA | 3924.00 ± 502.86cB |

注:表中同一列平均数后不同小写字母表示各个处理间差异显著,其中,脂肪体:  $F=35.45$ ,  $P<0.01$ ; 表皮:  $F=5.55$ ,  $P<0.07$ ; 中肠:  $F=60.52$ ,  $P<0.01$ 。表中同一行中平均数后不同的大写字母表示同一处理不同组织间差异显著,其中,50 mg/kg:  $F=22.86$ ,  $P<0.01$ ; 100 mg/kg:  $F=172.81$ ,  $P<0.01$ ; 150 mg/kg:  $F=50.12$ ,  $P<0.01$ ; 500 mg/kg:  $F=176.47$ ,  $P<0.01$ ; 1000 mg/kg:  $F=60.52$ ,  $P<0.01$ 。

表3 斜纹夜蛾幼虫各组织的回归方程及参数

Tab.3 Linear regression equation and parameters between zinc accumulations in different tissues of *S. litura* larvae and zinc doses in artificial diets

| 世代  | 组织  | 回归方程               | $R^2$ | $P$ 值     |
|-----|-----|--------------------|-------|-----------|
| 第1代 | 脂肪体 | $Y=0.072x+150.110$ | 0.833 | $<0.05$   |
|     | 表皮  | $Y=0.077x+174.40$  | 0.959 | $<0.05$ * |
|     | 中肠  | $Y=2.011x+912.830$ | 0.936 | $<0.05$ * |
| 第3代 | 脂肪体 | $Y=0.587x+239.680$ | 0.719 | $>0.05$   |
|     | 表皮  | $Y=0.533x+291.120$ | 0.994 | $<0.05$ * |
|     | 中肠  | $Y=3.052x+1382.40$ | 0.779 | $>0.05$   |

注:表中“\*”表示斜纹夜蛾幼虫各组织中  $Zn^{2+}$  质量分数  $Y$  与饲料中的  $Zn^{2+}$  质量分数  $x$  具有很好的拟合性

## 2.2 斜纹夜蛾幼虫脂肪体、表皮及中肠组织对 $Zn^{2+}$ 积累量的世代差异

的饲料后,食物中一部分  $Zn^{2+}$  也会在脂肪体、表皮和中肠等不同组织积累。当饲料中  $Zn^{2+}$  质量分数分别为 150、500 mg/kg 时,不同组织  $Zn^{2+}$  积累规律为:表皮<脂肪体<中肠,其他处理质量分数的积累规律均为脂肪体<表皮<中肠。出现这种差异可能与表皮的性质有关。表皮不能随着昆虫身体生长而生长,必须进行蜕皮活动,再由皮细胞分泌形成新表皮。在昆虫蜕皮过程中,大量的重金属可能随蜕下的皮排出体外,所以表皮中对  $Zn^{2+}$  的积累量不稳定,随着蜕皮而有所变化。经 Cd 胁迫后,弹尾目昆虫 *Orchesella cincta* (L). 每次蜕下的旧皮中均含有大量的 Cd<sup>[18]</sup>; 鳞翅目昆虫的 5 龄幼虫,表皮中含有丰富的结节性金属颗粒体和尿酸盐(重金属储存形式),这些颗粒在最后一次蜕皮后消失<sup>[19]</sup>。

斜纹夜蛾幼虫取食不同  $w(Zn^{2+})$  处理的饲料后,自 100 mg/kg 处理质量分数起第3代幼虫脂肪体、表皮和中肠中  $Zn^{2+}$  质量分数均高于第1代。

第1、3代斜纹夜蛾6龄幼虫脂肪体中,当饲料中  $Zn^{2+}$  质量分数达到 150 mg/kg 时,斜纹夜蛾6龄幼虫脂肪体及表皮中  $Zn^{2+}$  质量分数在两代之间均有显著差异(图1,2)(脂肪体:150 mg/kg:  $T=-7.80$ ,  $Pr=0.0015<0.01$ ; 500 mg/kg:  $T=-12.86$ ,  $Pr=0.001<0.01$ ; 1000 mg/kg:  $T=-10.67$ ,  $Pr=0.0004<0.01$ ; 表皮:150 mg/kg:  $T=-8.66$ ,  $Pr=0.001<0.01$ ; 500 mg/kg:  $T=-2.79$ ,  $Pr=0.04<0.05$ ; 1000 mg/kg:  $T=-4.32$ ,  $Pr=0.0125<0.05$ )。而由图3可以看出,当处理质量分数为 100、150、500 mg/kg 时两代幼虫中肠  $Zn^{2+}$  质量分数存在显著差异,第3代比第1代显著增加(100 mg/kg:  $T=-3.20$ ,  $Pr=0.033<$

0.05; 150 mg/kg:  $T = -6.14$ ,  $Pr = 0.0036 < 0.01$ ; 500 mg/kg:  $T = -28.36$ ,  $Pr < 0.0001$ ).

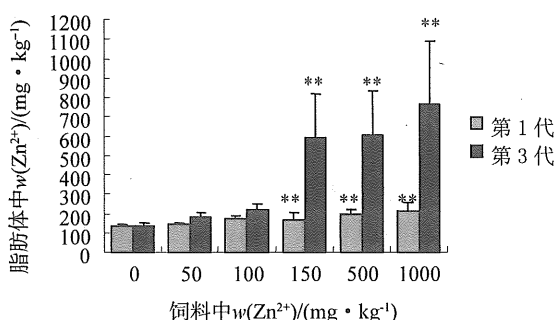


图1  $\text{Zn}^{2+}$ 胁迫下第1、3代斜纹夜蛾幼虫脂肪体中  $w(\text{Zn}^{2+})$  比较

Fig. 1 Comparison of  $\text{Zn}^{2+}$  concentration in the fat body of the 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> generation *S. litura* larvae feeding on the artificial diets treated with different doses of  $\text{Zn}^{2+}$

(图中“\*”表示该处理质量分数中,第1代脂肪体中  $w(\text{Zn}^{2+})$  和第3代脂肪体中  $w(\text{Zn}^{2+})$  间  $t$  检验差异极显著;图2,3同)

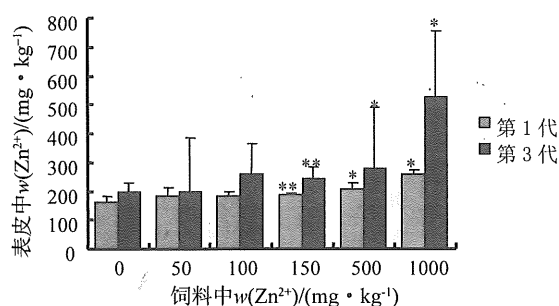


图2  $\text{Zn}^{2+}$ 胁迫下第1、3代斜纹夜蛾幼虫表皮中  $w(\text{Zn}^{2+})$  比较

Fig. 2 Comparison of  $\text{Zn}^{2+}$  concentration in the cuticle of the 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> generation *S. litura* larvae feeding on the artificial diets treated with different doses of  $\text{Zn}^{2+}$

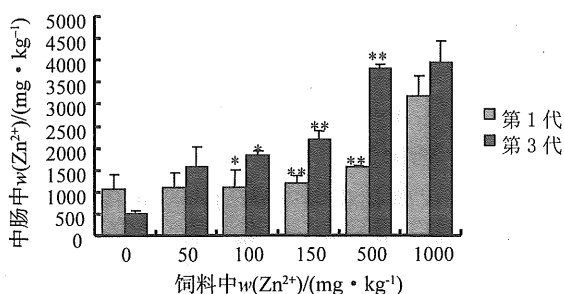


图3  $\text{Zn}^{2+}$ 胁迫下第1、3代斜纹夜蛾幼虫中肠中  $w(\text{Zn}^{2+})$  比较

Fig. 3 Comparison of  $\text{Zn}^{2+}$  concentration in the midgut of the 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> generation *S. litura* larvae feeding on the artificial diets treated with different doses of  $\text{Zn}^{2+}$

由此可见,第1、3代斜纹夜蛾幼虫取食含不同质量分数  $\text{Zn}^{2+}$  的饲料后,体内脂肪体、表皮和中肠中  $\text{Zn}^{2+}$  质量分数会随胁迫世代数的增加而增加。这可能表明随着胁迫时间的延长,斜纹夜蛾幼虫对过量  $\text{Zn}^{2+}$  的耐受力可能会有所增强,这与前

人的研究结果相似,即认为双翅目昆虫对重金属有高的适应性,适应包括对金属吸收、分泌、不动性或分区化的影响等生理机制的加强和修补<sup>[20]</sup>。

### 3 结 论

植食性昆虫斜纹夜蛾幼虫连续3个世代取食含不同处理质量分数  $\text{Zn}^{2+}$  的饲料后,第1、第3两个世代6龄幼虫脂肪体、表皮、中肠都对  $\text{Zn}^{2+}$  具有积累作用,但不同组织和不同世代有所差异。

(1) 无论哪一个时代幼虫的脂肪体、表皮和中肠中  $\text{Zn}^{2+}$  的质量分数都随着幼虫饲料中  $\text{Zn}^{2+}$  质量分数的增加而增加。

(2) 斜纹夜蛾幼虫取食含不同质量分数  $\text{Zn}^{2+}$  的饲料后,其脂肪体、表皮和中肠中的  $\text{Zn}^{2+}$  质量分数随着受胁迫世代数的增加而增加。

(3) 斜纹夜蛾幼虫不同组织对  $\text{Zn}^{2+}$  的积累作用不同,中肠中积累的  $\text{Zn}^{2+}$  质量分数最高,表皮次之,脂肪体最少。

本文的研究结果可以在一定程度上揭示,重金属锌引起的农田土壤污染,能够通过植食性昆虫的寄主植物间接地对植食性昆虫产生一定的影响,关于重金属  $\text{Zn}^{2+}$  胁迫对斜纹夜蛾的全面影响尚需要进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 柴世伟,温琰茂,韦献革,等.珠江三角洲主要城市郊区农业土壤的重金属含量特征[J].中山大学学报:自然科学版,2004,43(4):90-94.  
CHAI Shiwei, WEN Yanmao, WEI Xiangge, et al. Heavy metal content characteristics of agricultural soils in the Pearl River Deltas[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sun Yansen, 2004, 43(4): 90-94.
- [2] 吴金桂,李正明,徐跃定,等.蔬菜奢侈吸锌特性研究[J].土壤通报,1996,27(5):228-229.  
WU Jingui, LI Zhengming, XU Yueding, et al. Research on the luxurious accumulation of zinc in vegetables[J]. Chinese Journal of Soil Sciences, 1996, 27(5): 228-229.
- [3] 刘雪梅,李丽君,郭亚平,等.土壤-作物-昆虫系统中镉在中华稻蝗体内的积累[J].农业环境科学学报,2006,25(2):301-304.  
LIU Xuemei, LI Lijun, GUO Yaping, et al. Cadmium accumulation in *Oxya chinensis* in the ecosystem of soil-plant-insect[J]. Journal of Agro-Environment Sciences, 2006, 25(2): 301-304.
- [4] 李丽君,席玉英,张峰,等. Cd 在中华稻蝗体内的分布[J].农业环境科学学报,2004,23(2):246-249.  
LI Lijun, XI Yuying, ZHANG Feng, et al. Distribution of cadmium in *Oxya chinensis*[J]. Journal of Agro-Environment Sciences, 2004, 23(2): 246-249.
- [5] MANKOVSKA B, STEINNES E. Effects of pollutants from an aluminium reduction plant on forest ecosystems[J]. The Science of the Total Environment, 1995, 163: 11-

- 23.
- [6] ESENIN A V, MA W C. Heavy metal (Cd, Cu, Zn) in wood and wood - feeding insects and other invertebrates associated with decaying pine trees [J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2000, 64: 242 - 249.
- [7] CONTI M E, BOTRE F. Honeybees and their products as potential bioindicators of heavy metals contamination [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2001, 69: 267 - 282.
- [8] KAZIMIROVA M, SLOVAK M, MANOVA A. Host - parasitoid relationship of *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae) and *Coptera occidentalis* (Hymenoptera: Proctotrupoidea: Diapriidae) under host heavy metal stress [J]. European Journal of Entomology, 1997, 94 (3): 409 - 420.
- [9] 吴国星, 叶恭银, 胡萃, 等. 重金属镉对棕尾别麻蝇亲代及子代生长发育与繁殖的影响 [J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2006, 32(1): 71 - 76.  
WU Guoxing, YE Gongyin, HU Cui, et al. Cadmium effects on growth and development as well as reproduction of *Boettcherisca peregrine* in the parental generation and first filial generation [J]. Journal of Zhejiang University: Agric & Life Sci, 2006, 32(1): 71 - 76.
- [10] 夏婧, 胡新军, 舒迎花, 等. 在受重金属  $Zn^{2+}$  胁迫的斜纹夜蛾幼虫寄主上双斑侧沟茧蜂的生存与发育 [J]. 昆虫学报, 2006, 49(3): 387 - 392.  
XIA Qiang, HU Xinjun, SHU Yinghua, et al. Effects of heavy metal zinc stressing the larvae of *Spodoptera litura* Fabricius on the survival and development of the larval parasitoid *Microplitis bicoloratus* Chen [J]. Acta Entomology Sinica, 2006, 49(3): 387 - 398.
- [11] 赵欣平, 舒畅, 杨芳, 等. 金属离子和脲对白蜡虫碱性磷酸酶的影响 [J]. 昆虫学报, 2002, 45(3): 318 - 322.  
ZHAO Xiping, SHU Chang, YANG Fang, et al. Effects of metal ions and urea on alkaline phosphatase from *Ericerus pela* (Chavannes) [J]. Acta Entomology Sinica, 2002, 45(3): 318 - 322.
- [12] 夏婧, 孙虹霞, 胡新军, 等. 重金属  $Zn^{2+}$  胁迫诱导斜纹夜蛾幼虫血细胞凋亡 [J]. 科学通报, 2005, 50(23): 2613 - 2616.  
XIA Qiang, SUN Hongxia, HU Xinjun, et al. Apoptosis of *Spodoptera litura* larval hemocytes induced by heavy metal zinc [J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50 (24): 2613 - 2616.
- [13] XIA Q, SUN H X, HU X J, et al. Apoptosis of *Spodoptera litura* larval hemocytes induced by heavy metal zinc [J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50 (24): 2856 - 2860.
- [14] 朱玉芳, 朱江.  $CdCl_2$  诱导秋粘虫细胞 (S9) 凋亡的初步研究 [J]. 苏州大学学报: 自然科学版, 2005, 21 (3): 74 - 77.  
ZHU Yuang, ZHU Jiang. Research on the apoptosis of S9 cells induced by  $CdCl_2$ . Journal of Suzhou University: Natural Science Edition, 2005, 21(3): 74 - 77.
- [15] 陈乾锦, 张根顺, 官宝斌, 等. 烟田斜纹夜蛾侧沟茧蜂的生物学和生态学研究 [J]. 江西农业大学学报, 2003, 25(2): 199 - 203.  
CHEN Qianjin, ZHANG Genshun, GUAN Baobin, et al. Studies on biology and ecology of *Microplitis prodeniae* (Viereck) [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2003, 25(2): 199 - 203.
- [16] 陈其津, 李广宏, 庞义. 饲养五种夜蛾科昆虫的一种简易人工饲料 [J]. 昆虫知识, 2000, 37 (6): 325 - 327.  
CHEN Qijing, LI Guanghong, PANG Yi. A simple artificial diet for mass rearing of some noctuid species [J]. Entomology Knowledge, 2000, 37 (6): 325 - 27.
- [17] SAS INSTITUTE INC. SAS/STAT User's Guider. Version 6 [M]. 4th ed. NC, USA: Cary, 1989.
- [18] HENSBERGEN P J, MARTIN 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]. Comparative Biochemistry and Physiology Part C, 2000, 125: 17 - 24.
- [19] CHRISTIANE B D. Localization of metals in cells of pterygote insects [J]. Microscopy research and technique, 2002, 56: 403 - 420.
- [20] POSTHUMA L, VAN S, NICO M. Heavy - metal adaptation in terrestrial invertebrates: A review of occurrence, genetics, physiology and ecological consequences [J]. Comparative Biochemistry and Physiology C Comparative Pharmacology and Toxicology, 1993, 106 (1): 11 - 38.

## Zinc Accumulation in Different Tissues of *Spodoptera litura* Fabricius Larvae

XIA Qiang<sup>1,2</sup>, SHU Ying-hua<sup>1</sup>, HU Xin-jun<sup>1</sup>, SUN Hong-xia<sup>1</sup>, ZHANG Gu-ren<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory for Biocontrol & Institute of Entomology, Sun Yat-sen University,

Guangdong Province, Guangzhou 510275, China

2. Zunyi Medical College Zhuhai Campus, Guangdong Province, Zhuhai 519041, China)

**Abstract:** Zinc accumulation in different tissues of 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> phytophagous insect *Spodoptera litura* Fabricius larvae were investigated by adding various doses of zinc into artificial diets of *S. litura* larvae. Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometer (ICP-AES) was used to measure the concentration of zinc in different tissues of *S. litura* larvae. Results showed that zinc was accumulated in the midgut, fat body and cuticle of 6<sup>th</sup> instar larvae in the 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> generations of *S. litura*. Accumulations of Zinc in different tissues increased with the increasing zinc doses in diets and the dose-response with zinc doses in diets was significant. The concentration of zinc in midgut was the highest among the three kinds of tissues.

**Key words:** heavy metal;  $Zn^{2+}$ ; *Spodoptera litura*; accumulation