

- 2 陈艳, 吴建伟, 李金富, 国果, 郎书源, 等. 中国血吸虫病防治杂志, 2004, 16(4): 291~294.
- 3 雷朝亮, 钟昌珍, 宗良炳, 赖凡, 牛长缨. 华中农业大学学报, 1997, 16(3): 259~262.
- 4 苏水莲, 李娟, 胡雅琼, 谢学斌, 廖华. 赣南医学院学报, 2002, 22(3): 227~229.
- 5 丁立忠, 田军鹏, 张洁, 周兴苗, 雷朝亮, 等. 昆虫知识, 2006, 43(6): 831~834.
- 6 赵瑞君, 刘成芳, 董建臻, 张亚尼. 热带医学杂志, 2005, 5(2): 193~194.
- 7 盛长忠, 耿华, 叶玲玲, 安春菊, 李德森, 等. 南开大学学报(自然科学), 2002, 35(1): 7~11.
- 8 王远程, 左晓峰, 孙东旭, 陈建新, 管致和. 微生物学报, 1997, 37(2): 148~153.
- 9 罗金香, 杨春龙, 吴伟东. 昆虫知识, 2005, 42(3): 235~239.
- 10 王芙蓉, 黄文, 王艳丽, 雷朝亮. 昆虫知识, 2005, 42(5): 546~549.
- 11 候利霞, 翟培, 施用晖, 乐国伟. 昆虫知识, 2006, 43(6): 827~831.
- 12 许兰菊, 崔淑贞, 蒋媛媛, 李隐侠, 朱安峰, 等. 河南农业大学学报, 2004, 38(3): 303~306.
- 13 岳永生, 唐辉. 中国畜牧杂志, 2002, 38(3): 25~26.
- 14 吕进宏, 刘华贵, 马立保, 徐淑芳. 动物科学与动物医学, 2004, 21(8): 37~38.
- 15 田刚, 余冰. 畜产品加工, 2001, 28(119): 52~58.
- 16 舒鼎铭, 刘定发, 杨冬辉, 杨纯芬. 中国畜牧杂志, 2005, 32(4): 20~21.
- 17 王水莲, 刘进辉, 孙志良, 刘自逵. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2005, 31(2): 199~202.

黄粉虫幼虫对硒的生物积累^{*}

高红莉 周文宗^{**} 张 砾 李洪涛

(河南省科学院地理研究所 郑州 450052)

The selenium bioaccumulation of *Tenebrio molitor* larva. GAO Hong-Li, ZHOU Wen-Zong^{1**}, ZHANG Luo, LI Hong-Tao (Institute of Geography, Henan Academy of Sciences, Zhengzhou 450052, China)

Abstract After larvae of *Tenebrio molitor* L. were fed on the diet with selenium compound, their weights, the concentration of selenium in larva and in their faeces were measured, and the special growth rate and the bioaccumulation factor (BAF) of selenium of the larvae were calculated to analyze the conditions of selenium accumulating effectively in larvae. The results showed that when the selenium concentration in diet was 15~20 mg/kg, the concentration of selenium in larvae and the BAF of selenium of larvae were obviously higher than those in the other groups. When the concentration of selenium in diet was higher than this level, the concentration of selenium in larvae decreased, and the normal larval growth was restrained. With the selenium concentration increased in diet, the special growth rate, the food consumption, the faeces amount, and the dry material content of larvae decreased, and the mortality of the larvae, the selenium concentration in faeces increased. The selenium bioaccumulation in larvae was best when the selenium concentration in diet was 15~20 mg/kg.

Key words *Tenebrio molitor* larva, bioaccumulation, selenium element, bioaccumulation coefficient

摘 要 在饲料中添加含硒化合物喂养黄粉虫 *Tenebrio molitor* L. 幼虫, 测定幼虫硒含量、粪便硒含量和体重的变化, 计算黄粉虫幼虫特定生长率及幼虫对硒生物积累系数, 分析黄粉虫有效积累硒的条件。结果表明, 饲料硒含量在 15~20 mg/kg 时, 幼虫硒含量明显提高, 对硒的生物积累系数高于其它试验组水平, 饲料硒含量过高, 幼虫硒含量降低, 正常生长受到抑制。黄粉虫幼虫特定生长率、取食量、排粪量、干物质含量随着饲料硒含量的增加而降低, 死亡率、粪便硒含量随着饲料硒含量的增加而增大。饲料硒含

* 河南省科技攻关资助项目(0424030058)。

** 通讯作者, E-mail: zhouwz001@163.com

收稿日期: 2006-10-27, 修回日期: 2006-12-31, 接受日期: 2007-02-14

量为 15~20 mg/kg 时黄粉虫幼虫对硒的生物积累效果最好。

关键词 黄粉虫幼虫, 生物积累, 硒元素, 生物积累系数

国际卫生组织确认, 硒(selenium)是动物和人体必需的微量元素。但是硒是地壳中含量极微的元素, 且分布极不均匀。据专家调查^[1, 2], 我国从东北、西北、华北直到云贵川有一个宽的缺硒带, 涉及 22 个省 751 个县市, 人口约 3 亿。中国营养学会对我国 13 个省市做过一项调查表明, 成人日均硒摄入量为 26~32 μg , 离推荐的最低限度 50 μg 相差甚远, 因此, 需要加强富硒保健食品的研究开发工作。

黄粉虫 *Tenebrio molitor* L. 幼虫是一种优良的营养丰富的饲用、食用昆虫, 广泛用于喂养鳗鱼、黄鳝等特种水产品, 长势快、抗病力强, 黄粉虫蛹是人们餐桌上的美味佳肴^[3, 4]。黄粉虫可作为有益微量元素的“载体”, 将无机态微量元素转化为有机态(动物转化法), 进行定向定量生产^[5]。国外有人研究了饲料对黄粉虫幼虫的毒性作用^[6, 7], 国内杨明禄等^[8]也做了相关研究报道。

本试验通过在饲料中添加含硒化合物, 研究黄粉虫幼虫积累硒元素程度和饲料含硒量对其生长的影响, 为将黄粉虫幼虫作为富硒高蛋白饲料乃至富硒高蛋白食品提供定量依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验用小麦麸和黄粉虫幼虫购自郑州花鸟市场。在室内饲养 5 d 后, 用 10 目筛子将黄粉虫幼虫筛分为两类: 一类为 (44 ± 5) , 平均值 $\pm$ SE)mg/头(I), 另一类为 (61 ± 5) mg/头(II)。试验开始前和结束后分别将黄粉虫幼虫停食 1 d。硒化合物为分析纯亚硒酸钠(天津市化学试剂研究所)。试验用塑料杯底径 9.2 cm, 口径 19.2 cm, 高 6.0 cm。试验期间(40 d), 室内温度 $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, 相对湿度 40%~65%, 自然光照。

1.2 方法

试验为两因素(虫体大小和饲料硒含量)多水平试验。虫体大小设置 2 个水平: (44 ± 5) mg/头(I)和 (61 ± 5) mg/头(II); 饲料硒含量

设置 5 个水平: 15, 20, 40, 100 和 200 mg/kg。每个处理设 3 个重复。每个塑料杯放 30 g 黄粉虫幼虫, 加入拌有不同含量亚硒酸钠的足量麦麸。对照组饲料为纯麦麸, 设置 2 个重复。试验期间, 每天观察黄粉虫幼虫活动和取食情况, 及时检出死亡的个体。试验结束后, 用筛子分离虫体、粪便和剩余的麦麸, 烘干待检测。

黄粉虫幼虫、麦麸干物质含量的测定: 将样品称重(W_1)后, 在 $(70 \pm 1)^\circ\text{C}$ 烘箱中烘 24 h, 干燥器内冷却后再次称重(W_2)。干物质含量($\%$)= $(W_2/W_1) \times 100$ 。

特定生长率(special growth rate, SGR) = $(\ln W_t - \ln W_0) \times 100/t$ 。

幼虫对硒的生物积累系数(BAF) = C_1/C_0 。

其中 W_0 为试验开始时黄粉虫幼虫个体鲜重, W_t 为试验结束时黄粉虫个体鲜重, t 为试验时间(d), C_t 为试验结束后黄粉虫幼虫体内硒含量, C_0 为试验开始时黄粉虫幼虫体内硒含量。

麦麸、黄粉虫幼虫及其粪便硒含量检测方法: 3, 3'-二氨基联苯胺分光光度法^[9]。

1.3 数据统计分析

所得数据在 EXCEL 和 SPSS 11.5 软件上进行统计分析。以饲料硒含量和虫体大小为自变量, 以幼虫增重量、特定生长率、幼虫硒含量、粪便硒含量、幼虫对硒的生物积累系数、幼虫死亡率、幼虫干物质含量等指标为因变量, 进行多因变量方差分析和 Duncan 氏多重比较。

2 结果与分析

2.1 饲料硒含量对黄粉虫幼虫生长的影响

在饲料中添加不同含量亚硒酸钠, 在 20°C 下饲养黄粉虫幼虫 40 d 后测定体重的变化, 结果见表 1。方差分析和 Duncan 多重比较表明, 饲料硒含量为 15、20 mg/kg 的组与对照组相比, 幼虫增重幅度小于后者, 差异显著; 饲料硒含量超过此幅度, 幼虫增重幅度显著小于 15 和 20

mg/kg 组; 饲料硒含量为 200 mg/kg 时, 幼虫体重不但没有增加, 反而降低。Audas 等报道了饲料硒含量高于 125 mg/kg 时黄粉虫幼虫生长和死亡状况^[6], 本试验中饲料硒含量高于 100 mg/kg 时, 所得结果与其相同。个体较小的幼虫(I)增重明显大于个体较大的幼虫(II)。

表 1 饲料硒含量对黄粉虫幼虫生长的影响(平均值±SD)

饲料硒含量 (mg/kg)	试验开始时幼虫均重(mg)		试验结束时幼虫均重(mg)		幼虫增重(mg)	
	I	II	I	II	I	II
15	41.2±3.5	59.0±1.1	94.8±0.9a	79.5±2.1b	53.6±4.4b	20.5±3.3b
20	41.3±3.1	60.0±1.5	87.0±4.7b	71.0±2.5c	45.7±7.8c	10.9±4.1c
40	41.5±1.4	59.0±3.0	50.0±3.3c	64.0±4.0de	8.5±1.9d	5.0±7.1d
100	42.7±2.0	64.0±1.0	48.5±2.5c	67.2±1.7cd	5.8±0.6d	2.2±1.5d
200	41.8±1.7	64.0±1.1	41.0±2.1d	61.5±0.5e	-0.9±0.5e	-2.5±0.7e
对照(0.05)	40.8±1.3	60.9±0.4	100.1±0.6a	103.3±2.4a	58.8±0.3a	42.4±2.8a

注: 同列中数据后有不同字母者表示差异显著($P<0.05$)。I 表示试验开始时幼虫鲜重为(44±5) mg, II 表示试验开始时幼虫鲜重为(61±5) mg 下表同。

经回归分析, 以幼虫增重为因变量 y , 饲料硒含量和幼虫初始体重分别为自变量 x_1 和 x_2 , 以 x_1x_2 为饲料硒含量和幼虫初始体重的交互作用, 得到如下二元回归方程:

$$y = 116.171 - 0.698x_1 - 1.711x_2 + 1.017x_1x_2,$$
$$r = 0.857, R^2 = 0.734 (P < 0.01).$$

分析结果表明, 幼虫增重与饲料硒含量和幼虫初始体重水平极显著相关。

2.2 饲料硒含量对黄粉虫幼虫及其粪便硒含量的影响

表2 是用含不同硒含量麦麸经过 40 d 喂养后黄粉虫幼虫(干物质)、粪便(干物质)的硒含量以及幼虫对硒的生物积累系数。方差分析和 Duncan 多重比较表明, 饲料硒含量、幼虫初始重量与饲料硒含量的交互作用对黄粉虫幼虫硒含量和生物积累系数影响很大($P<0.05$)。饲料硒含量为 20 mg/kg 组的幼虫硒含量、硒生物积累系数显著高于其它试验组。表明饲料硒

含量为 20 mg/kg 时幼虫能较好地吸收硒, 大于这个含量时, 饲料中的硒不能被幼虫充分吸收利用。

随着饲料硒含量的提高, 幼虫粪便硒含量增加。方差分析表明: 饲料硒含量为 15 ~ 100 mg/kg 时, 幼虫粪便硒含量与对照组和 200 mg/kg 组相差显著, 但 4 组之间差异不显著, 饲料硒含量为 200 mg/kg 时黄粉虫幼虫粪便硒含量显著高于其它水平组。说明在此水平下, 饲料中所添加的硒被幼虫摄食以后大都直接排出体外, 不能被黄粉虫幼虫有效吸收。

喂养含硒饲料后, 个体大小不同的黄粉虫幼虫(I、II)硒含量、硒生物积累系数随饲料硒含量的变化趋势为先上升后下降, 个体较小的幼虫(I)硒含量和硒生物积累系数高于个体大的幼虫(II); 幼虫个体大小对其粪便硒含量的影响不明显。

表 2 饲料硒含量对黄粉虫幼虫、粪便含硒量以及幼虫对硒的积累系数的影响

饲料硒含量 (mg/kg)	幼虫硒含量 *		粪便硒含量 *		积累系数	
	I	II	I	II	I	II
15	2.11±0.34b	0.73±0.17c	1.00±0.06c	1.31±0.08c	6.60±1.05b	2.27±0.54bc
20	2.82±0.03a	2.30±0.29a	1.64±0.33bc	1.27±0.03c	8.80±0.10a	7.18±0.91a
40	0.90±0.06c	0.99±0.04b	1.63±0.14bc	1.86±0.05b	2.81±0.17c	3.08±0.14b
100	0.71±0.07d	0.45±0.02d	1.79±0.20b	1.95±0.38b	2.21±0.22c	1.42±0.08cd
200	0.93±0.12c	0.51±0.03d	3.43±0.70a	2.70±0.43a	2.92±0.38c	1.60±0.08cd
对照(0.05)	0.33±0.01e	0.33±0.01e	0.18±0.02d	0.12±0.01d	1.01±0.02d	1.02±0.01d

* 试验结束时的含量(mg/kg)。

2.3 饲料硒含量对黄粉虫幼虫死亡率的影响

从表 3 可以看出, 饲料含硒量为 40 mg/kg 时幼虫的取食量、特定生长率与对照组和 15、20 mg/kg 组相比均显著降低。随着饲料硒含量的增加, 幼虫的死亡率从对照组的 8.4% 上升到 100 mg/kg 的 38.2% 和 200 mg/kg 的 43.7%, 说明饲料硒含量过高的情况下, 黄粉虫幼虫不仅生长受到抑制, 生存同样受到威胁, 这与人和其它生物吸收过量硒的反应类似^[10~14]。因此, 喂养黄粉虫幼虫的饲料硒含量一定要严格掌握, 否则, 不但黄粉虫幼虫含硒量提高不明显, 甚至影响其生长发育。

个体较小的幼虫(I)死亡率明显低于个体较大的幼虫(II), 取食量和特定生长率变化趋势则相反, 前者明显高于后者。

2.4 饲料硒含量对黄粉虫幼虫干物质含量和排粪量的影响

从表 4 可以看到, 饲料硒含量越高, 黄粉虫

幼虫排粪量越少, 这与黄粉虫幼虫取食量随着饲料硒含量增加而减少的趋势(表 3)一致。试验中观察到有趣的现象是随着饲料硒含量增加, 黄粉虫幼虫的干物质含量减少, 200 mg/kg 组与对照组之间的差异小于 15 和 20 mg/kg 组与对照组之间的差异, 适宜的饲料硒含量可以提高黄粉虫幼虫的干物质含量。这种现象可以解释为: 适宜的饲料硒含量有利于提高黄粉虫幼虫的新陈代谢, 促进其生长, 而过量的饲料硒含量则影响黄粉虫幼虫正常摄食, 抑制黄粉虫幼虫新陈代谢, 促使其消耗和分解体内的蛋白质、脂肪、碳水化合物等物质, 因而其含水量得到提高, 其作用与人和其它生物饥饿状态下消耗自身能量物质类似^[15,16]。

个体较小的幼虫(I)干物质含量明显低于个体较大的幼虫(II), 排粪量变化趋势则相反, 前者明显高于后者。

表 3 饲料硒含量对黄粉虫幼虫生长和存活的影响

饲料硒含量 (mg/kg)	取食量(g)		特定生长率(%)		死亡率(%)	
	I	II	I	II	I	II
15	39.9±0.8b	27.8±1.1b	2.09±0.23ab	0.74±0.11b	6.73±0.55d	5.51±0.59e
20	35.4±0.3c	27.2±2.3b	1.86±0.33b	0.42±0.15c	7.98±0.55d	13.20±1.00d
40	33.7±0.4d	23.4±1.3bc	0.46±0.08c	0.20±0.28d	15.36±0.83c	17.50±1.18c
100	21.3±0.3e	19.5±2.3cd	0.32±0.02d	0.08±0.05d	18.22±0.85b	38.19±2.13b
200	6.5±0.2f	16.5±2.7d	-0.06±0.03e	-0.10±0.03e	19.78±1.11a	43.73±2.13a
对照(0.05)	63.5±1.2a	64.7±3.7a	2.24±0.09a	1.32±0.06a	3.13±0.68e	8.36±3.20e

表 4 饲料硒含量对黄粉虫幼虫干物质含量和排粪量的影响

饲料硒含量 (mg/kg)	幼虫干物质含量(%)		排粪量(g)	
	I	II	I	II
15	42.2±0.3a	42.9±0.6a	21.8±0.7b	11.9±0.6bc
20	41.7±0.5a	42.3±0.5ab	14.4±0.4c	12.9±1.5b
40	40.7±0.6b	41.8±0.6bc	12.7±0.3d	11.2±0.4c
100	39.9±0.4b	41.1±0.2c	7.1±0.2e	7.6±0.5d
200	36.5±0.5c	39.3±0.2d	3.1±0.2f	5.1±0.1e
对照(0.05)	36.9±0.4c	36.7±0.2e	35.3±2.3a	40.1±0.5a

2.5 饲料硒含量和初始体重对黄粉虫幼虫取食、生长和硒富集的综合影响

以饲料硒含量水平(C)为分组变量, 以供试黄粉虫幼虫初始体重(W)为协变量进行协方差分析, 结果列于表 5。从表 5 可以看到, 黄粉

虫幼虫初始体重对幼虫硒含量、幼虫干物质含量、幼虫硒生物积累系数均无显著影响, 对幼虫增重、死亡率影响显著, 通过校正消除幼虫初始体重影响后, 各饲料硒含量水平组间校正幼虫增重、死亡率差异仍极显著, 与上述多重比较结

果一致。

表 5 饲料硒含量和初始体重对黄粉虫幼虫生长和硒积累的综合影响

	变差来源	自由度	F 值	显著性水平
幼虫硒含量	饲料硒含量	5	137.78	0.00
	幼虫初始体重	1	0.33	0.57
幼虫增重	饲料硒含量	5	237.00	0.00
	黄粉虫初始体重	1	26.17	0.00
幼虫干物质含量	饲料硒含量	5	117.96	0.00
	幼虫初始体重	1	1.05	0.32
幼虫死亡率	饲料硒含量	5	284.54	0.00
	幼虫初始体重	1	5.24	0.03
幼虫对硒的积累系数	饲料硒含量	5	137.78	0.00
	幼虫初始体重	1	0.33	0.57

3 结论

(1) 喂养含硒饲料后, 个体大小不同的黄粉虫幼虫(I、II)硒含量随饲料硒含量的增加先上升后下降, 在饲料硒含量为 20 mg/kg 时, 幼虫硒含量最大, 对硒的积累系数最高, 在此含量下, 饲料硒可以被黄粉虫幼虫有效吸收。在黄粉虫幼虫吸收硒的过程中, 饲料硒含量起决定作用。

(2) 随着饲料硒含量的增加, 黄粉虫幼虫的取食量、排粪量、特定生长率显著减少, 饲料硒含量过高时, 黄粉虫幼虫将拒绝进食, 生长受到抑制, 生存受到威胁, 所以喂养黄粉虫幼虫的饲料硒含量一定要严格掌握, 在满足生长的条件下选择最佳积累条件。

(3) 饲料硒含量越高, 黄粉虫幼虫含水量提高, 干物质含量减少, 适宜的饲料硒含量可以提高幼虫的干物质含量, 其中的机理有待进一步研究。

参 考 文 献

1 陈清, 卢国瑾. 微量元素与健康. 北京: 北京大学出版社, 1989. 166~181.

2 杜冠华, 李学军. 维生素及矿物质白皮书. 上海: 百家出版社, 2003. 64.

3 陈彤. 黄粉虫幼虫养殖与利用. 北京: 金盾出版社, 2000. 7~9.

4 谢保令. 昆虫知识, 1994, 31(33): 175~176.

5 杨冠煌. 中国昆虫资源利用和产业化. 北京: 中国农业出版社, 1998. 19.

6 Audas A., Hogan G. R., Razniak H. J. *Toxicol. Environ. Heal.*, 1995, 44(1): 115~122.

7 Hogan G. R., Razniak H. G. *Environ. Entomol.*, 1991, 20(3): 790~794.

8 杨明禄, 杨伟, 周祖基. 塔里木大学学报, 2005, 17(3): 5~7.

9 中国科学院南京土壤研究所微量元素组. 土壤和植物中微量元素分析方法. 北京: 科学出版社, 1979. 246~257.

10 苗健, 高琦, 许思来. 微量元素与相关疾病. 郑州: 河南医科大学出版社, 1998. 121.

11 Rayman M. P. *The Lancet*, 2000, 356(5): 233~241.

12 Fan T. W. M., Teh S. J., Hinton D. E., Higashi R. M. *Aquat. Toxicol.*, 2002 57(1~2): 65~84.

13 吴永尧, 彭振坤, 罗泽民. 华中师范大学学报(自然科学版), 1998 32(4): 490~494.

14 王立志, 程兆第, 高亚辉. 台湾海峡, 1998, 17(4): 433~438.

15 吴立新, 董双林, 田相利. 生态学报, 2001, 21(3): 452~457.

16 温小波, 陈立侨, 艾春香, 周忠良, 江洪波. 应用与环境生物学报, 2001, 7(5): 443~446.

宁夏黄河湿地蝗虫区系组成分析*

张大治^{1**} 安玉英² 张志高² 杨贵军¹ 宁春晓¹

(1. 宁夏大学生命科学学院 银川 750021; 2. 宁夏西吉县农牧局 西吉 756200)

Analysis of the fauna composition of grasshoppers in Yellow River wetland of Ningxia. ZHANG Da-Zhi^{1**}, AN Yu-Ying², ZHANG Zhi-Gao², YANG Gui-Jun¹, NING Chun-Xiao¹ (1. *Life Science School of Ningxia University*, Yinchuan 750021, China; 2. *Agriculture and Animal Husbandry Bureau of Xiji County*, Xiji 756200, China)

Abstract The composition and characters of the grasshopper fauna in Yellow River wetland of Ningxia were studied. Forty-four species of grasshoppers were collected, which belong to 2 superfamilies, 8 families and 24 genera

* 宁夏高等学校科学研究项目资助; 宁夏大学自然科学基金项目资助(NS0511)。

** E-mail: zdz313@nxu.edu.cn

收稿日期: 2006-11-06, 修回日期: 2007-03-05, 2007-03-28 再修回