

硒对亚洲玉米螟生长发育的影响*

韩晓霞** 郑丽霞 魏洪义*** 王广利

(江西农业大学农学院, 南昌 330045)

摘 要 【目的】探讨硒对亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* (Guenée) 生长发育的影响。【方法】在实验室条件下以添加不同剂量 (0.001、0.005、0.010、0.050、0.100、0.500、1.000 mg/kg) 硒的人工饲料饲养亚洲玉米螟初孵幼虫。【结果】低浓度 (0.001~0.100 mg/kg) 硒对亚洲玉米螟的幼虫历期、蛹重、蛹历期具有促进作用。亚洲玉米螟在 0.100 mg/kg 浓度下生长状况最佳, 其雄蛹重最大, 雌雄蛹历期最短, 雌雄成虫寿命最长, 化蛹率和羽化率最高。高浓度 (0.500~1.000 mg/kg) 硒对亚洲玉米螟的雌雄蛹历期、雄蛾寿命、化蛹率和羽化率具有抑制作用。亚洲玉米螟在 1.000 mg/kg 浓度下生长状况最差, 其幼虫历期最长, 雌雄蛹重最小, 蛹历期最长, 成虫寿命最短, 化蛹率和羽化率最低。【结论】低浓度硒对亚洲玉米螟的生长发育有促进作用, 高浓度则表现为抑制作用。

关键词 亚洲玉米螟, 硒, 生长发育, 历期, 蛹重

Effects of selenium on the development of *Ostrinia furnacalis* (Guenée)

HAN Xiao-Xia** ZHENG Li-Xia WEI Hong-Yi*** WANG Guang-Li

(College of Agronomy, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract [Objectives] To investigate the influences of selenium on the growth and development of the Asian corn borer (ACB), *Ostrinia furnacalis* (Guenée). [Methods] Neonate *O. furnacalis* larvae were reared on the artificial diet containing selenium at a series of concentrations (0.001, 0.005, 0.010, 0.050, 0.100, 0.500, 1.000 mg/kg) under the laboratory condition. [Results] Low concentrations (0.001-0.100 mg/kg) of selenium enhanced ACB development, i.e., shortened the larval duration, pupal duration and increased male and female pupal weight. At the concentration of 0.100 mg/kg of selenium, *O. furnacalis* exhibited the optimal growth characteristics, which resulted in the highest male pupal weight, the shortest male and female pupal duration, the longest male and female adult lifespan, the highest pupation rate and emergence rate. High concentrations (0.500-1.000 mg/kg) of selenium inhibited ACB development such as prolonged male and female pupal duration, shortened male adult lifespan, reduced pupation rate and emergence rate. At the concentration of 1.000 mg/kg of selenium, *O. furnacalis* exhibited the worst growth characteristics, which resulted in the longest larval and pupal duration, the lightest pupal weight, the shortest adult lifespan, the lowest pupation rate and emergence rate. [Conclusion] Low concentrations of selenium had promoting effects on the development of *O. furnacalis*, while high concentrations exerted inhibited influences on it.

Key words *Ostrinia furnacalis*, selenium, development, duration, pupal weight

硒 (Selenium) 是生物生长所必需的一种微量营养元素, 是生物体多种酶和蛋白质的重要组成部分, 参与多种生理生化作用 (孙长峰和郭娜,

2007)。硒的缺乏会影响机体正常的生理代谢, 但人体无法合成硒, 必须从外界摄取 (李军和张忠诚, 2011)。因此, 通过土壤施硒和叶面喷洒

* 资助项目 Supported projects: 十二五国家科技支撑计划课题 (2012BAD14B14)

**第一作者 First author, E-mail: hanxx322@163.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: hywei@jxau.edu.cn

收稿日期 Received: 2015-07-02, 接受日期 Accepted: 2015-08-07

硒肥提高植物富硒量,运用食物链补充人体硒成为一种高效、安全、环保的有利措施。目前已测知,土壤中硒的含量一般为 0.1~2.0 mg/kg,而在富硒土壤中生长的植物通常含有 0.02~1.00 mg/kg 的硒(赵少华等,2005)。通常来说,植物的富硒量由土壤的含硒量决定,不同浓度的硒土对植物甚至更高营养级生物的影响不同,例如:林匡飞等(2004)发现 0.5 mg/kg 的硒可以提高小麦 *Triticum aestivum* L. 种子的发芽率、促进幼根和幼芽的生长;生长在 0.11 mg/kg 含硒培养基中的苜蓿 *Medicago sativa* L. 与不添加硒的对照相比,对寄主昆虫甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner) 的产卵选择更有优势(Vickerman *et al.*, 2002)。

在生态系统中,提高植物的富硒量可能会对下一级营养关系产生影响。昆虫作为生态系统中的重要组成部分,特别是对于植食性昆虫,这种影响更是在所难免。例如粉纹夜蛾 *Trichoplusia ni* (Hübner) 幼虫和菜粉蝶 *Pieris rapae* L. 幼虫对生长在富硒环境中的寄主植物芥菜的危害降低(Bañuelos *et al.*, 2002; Hanson *et al.*, 2003); 甜菜夜蛾 *S. exigua* (Hübner) 取食富硒苜蓿 *M. sativa* L. 后,其死亡率等生长发育指数会发生改变(Vickerman *et al.*, 2002)。硒能够促进植食性昆虫的生长,但过量则会造成昆虫硒中毒。例如:在一定的浓度范围内,硒能够促进黄粉虫的生长并降低黄粉虫幼虫的死亡率(杨明禄等,2005); Martin-Romero 等(2001)研究发现硒浓度在 10^{-6} ~ 10^{-8} mol/L 范围内,黑腹果蝇 *Drosophila melanogaster* L. 的生殖力和存活率比不添加硒时提高了两倍,而当浓度达到 10^{-5} mol/L 时,则会导致中毒。但值得注意的是,硒对植食性昆虫影响的系统性研究相对较少。同时硒是一种营养与毒性范围很窄的微量元素(王广珠和牛作霞,2010),因此研究不同浓度硒对植食性昆虫生长发育的影响,有助于更加系统地评价硒对自然界生物的综合效应。

我国从 20 世纪 80 年代末期开始研发富硒玉米,已探知,在玉米中添加外源硒可显著提高玉米的含硒量,如:采用叶面喷施 40~70 mg/L 硒肥时,玉米含硒量可提高至 0.109 mg/kg(李圣

男等,2014);其次是直接利用高硒土地区生产富硒玉米(张驰等,2007)。亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* (Guenée) 属鳞翅目 Lepidoptera 草螟科 Crambidae,是一种重要的玉米害虫(王振营等,2000)。随着富硒玉米种植范围的逐步扩大,亚洲玉米螟取食富硒玉米的可能性也同步增加,但取食富硒玉米后的亚洲玉米螟的生长发育如何变化并未可知。因此,我们在实验室条件下,通过使亚洲玉米螟取食人工饲料中添加不同浓度的硒,观察硒对其生长发育的影响,以期揭示硒对亚洲玉米螟可能产生的利弊效应。为硒在生态系统和生物中的安全性评价,以及进一步分析对昆虫的生理生化、遗传和进化方向等研究奠定基础。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

取自中国农业科学院植物保护研究所亚洲玉米螟卵块室内连续饲养多代。温室条件:温度 $(25 \pm 1) ^\circ\text{C}$,相对湿度 $(70 \pm 10) \%$,光周期 L:D = 14:10。

1.2 硒饲料的配制

参照乔利等(2008)的人工饲料配方,在配制亚洲玉米螟人工饲料过程中添加硒配成浓度分别为 0.001、0.005、0.010、0.050、0.100、0.500 和 1.000 mg/kg 的含硒饲料,并以不添加硒的正常饲料作为对照。硒源为 Na_2SeO_3 ,由 SIGMA 公司提供。

1.3 实验方法

将亚洲玉米螟初孵幼虫分装于直径为 15 cm、高 12 cm 的消毒塑料盒内,盒盖为网纱制,每盒约 100 头左右,分别用不同浓度的硒饲料和正常饲料饲养至 3 龄,然后接入装有 5 g 对应处理的饲料条的 15 mL 离心管中单头饲养,每个处理 60 头幼虫,重复 3 次。幼虫化蛹后,称重,单头转入 21 孔板(单孔 2 cm×2 cm×2 cm)中,待其羽化。每天观察记录亚洲玉米螟的发育进度,最终统计幼虫历期、蛹重、蛹历期、成虫寿命、

化蛹率和羽化率。

1.4 数据处理与统计分析

采用 SPSS17.0 软件进行统计分析。对照与处理组间及各处理组间差异的显著性采用 Duncan's 多重比较法进行检验, 显著水平设为 $P=0.05$ 。化蛹率和羽化率经平方根反正弦转换后再进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 对亚洲玉米螟幼虫历期的影响

不同浓度硒对亚洲玉米螟幼虫历期的影响差异显著 (图 1)。随着硒浓度的增加, 亚洲玉米螟幼虫历期呈现出先缩短后延长的趋势。当硒

浓度在 0.001~0.010 mg/kg 范围时, 幼虫历期随硒浓度增大而缩短, 且在 0.010 mg/kg 浓度下达到最小值; 而硒浓度在 0.010~1.000 mg/kg 范围时, 幼虫历期则随硒浓度增大而延长。硒浓度处于 0.001~0.100 mg/kg 范围时, 幼虫历期均显著低于对照。

2.2 对亚洲玉米螟蛹重的影响

由图 2 可以看出, 随着硒浓度的增加, 亚洲玉米螟雄蛹重表现出先增加后降低的趋势。硒浓度为 0.010~0.100 mg/kg 时, 雄蛹重显著高于对照, 而 1.000 mg/kg 处理后雄蛹重显著低于对照, 其余浓度的雄蛹重与对照差异不显著。除高浓度硒 (1.000 mg/kg) 处理的雄蛹重低于对照外, 其余浓度处理后的雄蛹重均高于对照。

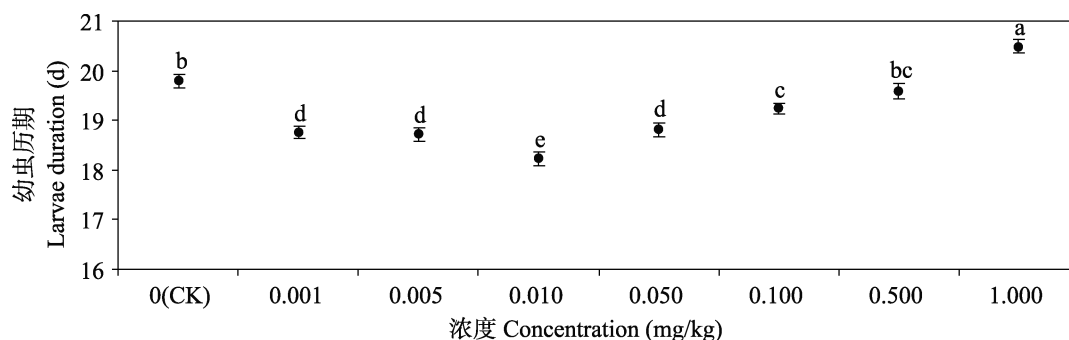


图 1 不同浓度硒对亚洲玉米螟幼虫历期的影响

Fig. 1 Effects of different concentrations of selenium on the larval duration of *Ostrinia furnacalis*

图中数据为平均值±标准误, 标有不同字母者表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。图 4, 图 5 同。

Data in the figure are mean ± SE. Different letters indicate significant difference among the treatments ($P<0.05$).

The same with Fig.4, Fig.5.

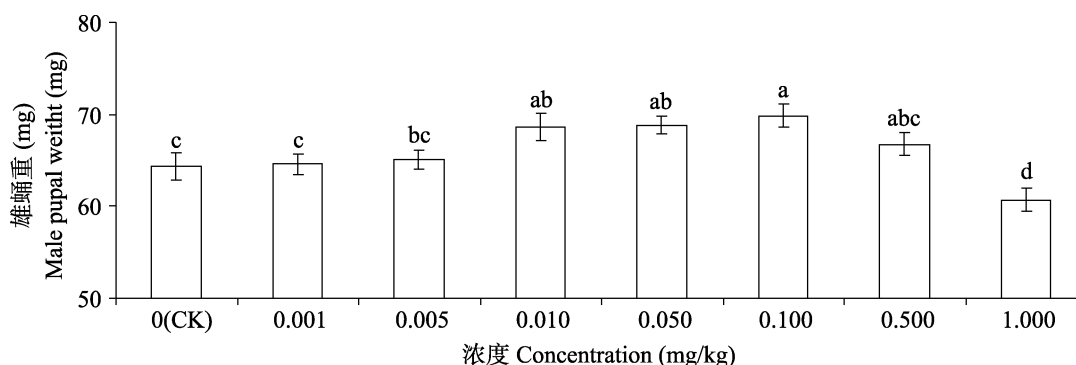


图 2 不同浓度硒对亚洲玉米螟雄蛹重的影响

Fig. 2 Effects of different concentrations of selenium on the male pupal weight of *Ostrinia furnacalis*

图中数据为平均值±标准误, 柱上标有不同字母者表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。图 3 同。

Data in the figure are mean ± SE. Histograms with different letters indicate significant difference among the treatments ($P<0.05$).

The same with Fig.3.

硒浓度为 0.050 mg/kg 时亚洲玉米螟的雌蛹重显著高于对照 (图 3), 硒浓度为 1.000 mg/kg 时, 雌蛹重最小。硒浓度为 0.005 和 1.000 mg/kg 对应的亚洲玉米螟雌蛹重小于对照, 其余浓度均大于对照。

2.3 对亚洲玉米螟蛹历期和成虫寿命的影响

由表 1 可知, 硒浓度为 0.100 mg/kg 的蛹历期最短, 成虫寿命最长, 其中雌、雄蛹历期与对照组相比分别缩短了 0.44 d 和 0.52 d, 显著低于对照组; 雌、雄成虫寿命比对照组分别延长了 0.23 d 和 0.05 d, 与对照组差异不显著。硒浓度在 0.001~0.010 mg/kg 范围内, 雌蛾寿命随硒浓度的增大而延长; 而在 0.100~1.000 mg/kg 浓度

范围内, 随硒浓度的增大而缩短, 且在浓度为 0.100 mg/kg 时雌蛾寿命最长。硒浓度为 0.100 mg/kg 时雄蛾寿命长于对照, 其余浓度均短于对照。

2.4 对亚洲玉米螟化蛹率的影响

随着硒浓度的增加, 亚洲玉米螟的化蛹率呈现出先升高后降低的趋势 (图 4)。在 0.100 mg/kg 浓度下的化蛹率最高, 略高于对照, 与对照差异不显著, 其余浓度表现为抑制作用, 均显著低于对照。1.000 mg/kg 浓度下的化蛹率最低, 显著低于其他处理。

2.5 对亚洲玉米螟羽化率的影响

随着饲料中硒浓度的增加, 亚洲玉米螟的羽

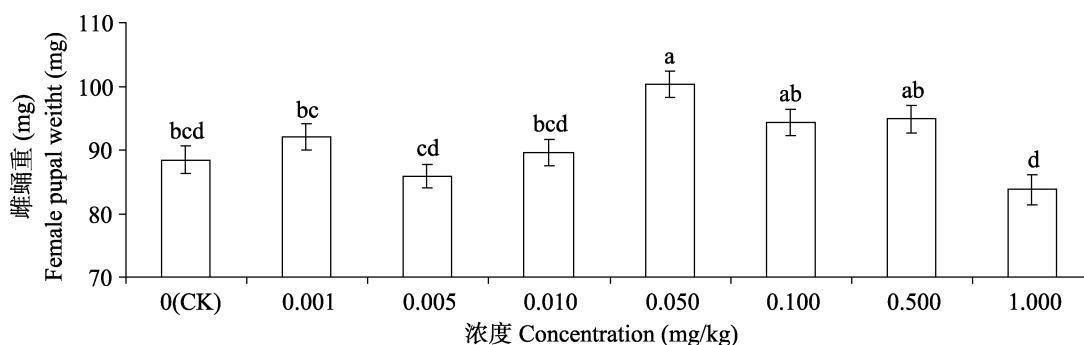


图 3 不同浓度硒对亚洲玉米螟雌蛹重的影响

Fig. 3 Effects of different concentrations of selenium on the female pupal weight of *Ostrinia furnacalis*

表 1 不同浓度硒对亚洲玉米螟蛹历期和成虫寿命的影响

Table 1 Effects of different concentrations of selenium on the pupal duration and adult duration of *Ostrinia furnacalis*

处理浓度 (mg/kg) Treatment concentration (mg/kg)	蛹历期 (d) Pupal duration (d)		成虫寿命 (d) Adult duration (d)	
	雌 Female	雄 Male	雌 Female	雄 Male
0(CK)	7.52±0.08 a	7.94±0.09 ab	6.16±0.15 ab	5.33±0.14 ab
0.001	7.14±0.13 bc	7.43±0.10 c	5.00±0.18 c	4.04±0.11 d
0.005	7.41±0.08 ab	7.83±0.08 b	6.09±0.14 ab	5.25±0.15 ab
0.010	7.15±0.08 bc	7.65±0.10 bc	6.12±0.12 ab	5.00±0.13 bc
0.050	7.41±0.10 ab	7.73±0.08 b	5.77±0.15b	4.84±0.13 c
0.100	7.08±0.10 c	7.42±0.10 c	6.39±0.16 a	5.38±0.11 ab
0.500	7.69±0.14 a	8.14±0.14 a	6.21±0.14 ab	4.64±0.14 c
1.000	7.56±0.08 a	7.94±0.10 ab	6.09±0.16 ab	5.21±0.12 a

表中数据均为平均值±标准误。同列数据后标有不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

Data in the table are mean ± SE, and followed by different letters in the same column indicate significant difference among the treatments ($P<0.05$).

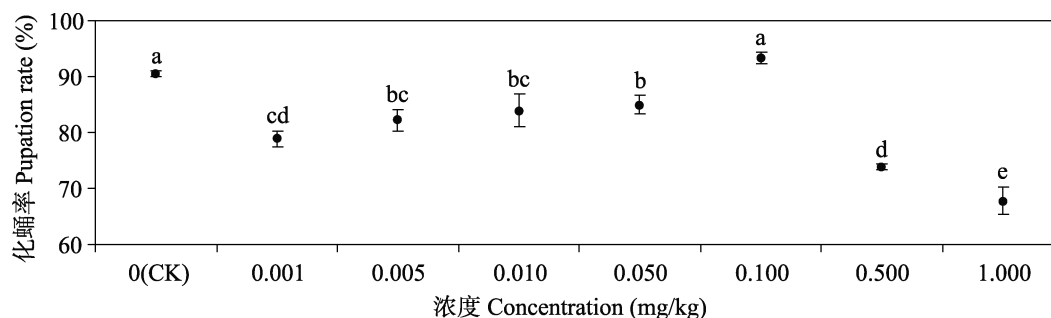


图 4 不同浓度硒对亚洲玉米螟化蛹率的影响

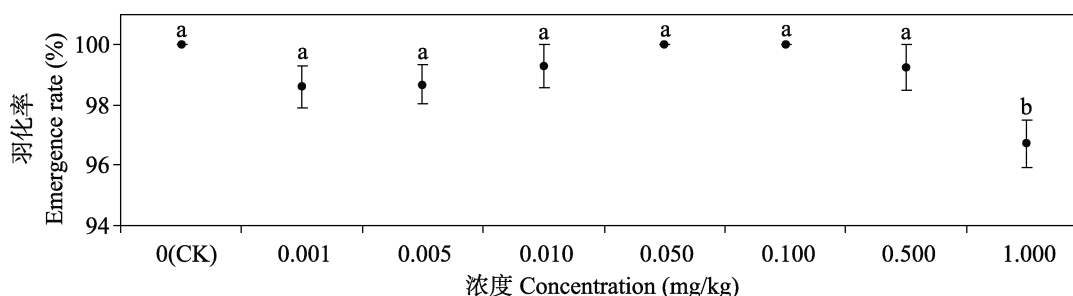
Fig. 4 Effects of different concentrations of selenium on the pupation rate of *Ostrinia furnacalis*

图 5 不同浓度硒对亚洲玉米螟羽化率的影响

Fig. 5 Effects of different concentrations of selenium on the emergence rate of *Ostrinia furnacalis*

化率变化较平稳,但同样表现出先升高后降低的趋势(图5)。0.001~0.500 mg/kg 浓度硒处理后,亚洲玉米螟的羽化率与对照相似,差异不显著;而 1.000 mg/kg 浓度硒处理后,羽化率明显降低,显著低于其他处理。

3 讨论

昆虫受外界因子胁迫后,生长发育和生殖参数等会发生一系列的变化,如发育历期、化蛹率、死亡率(Mousavi *et al.*, 2003; Hayford and Ferrington, 2005)、产卵量、产卵天数、卵孵化率和卵质量等(舒迎花等, 2012)。本文研究结果表明,适量的硒能够促进亚洲玉米螟的生长发育,表现为幼虫和蛹历期缩短、蛹重增加、化蛹率和羽化率提高、成虫寿命延长,大部分指标表现出随硒浓度的增大而变化的剂量关系。Popham 等(2005)发现补充硒能够提高粉纹夜蛾的蛹重以及感染病毒后的存活率;Lalitha 等(1994)也发现取食 4 mg/kg 硒的米蛾 *Corcyra cephalonica* Stainton 体重提高了 30%,取食 2 mg/kg

后体重显著高于对照,以上结果均与本文结果相一致。

硒过量会引起生物体的不良反应,硒的营养与中毒剂量之间的范围很小(Fordyce *et al.*, 2000; Ellis and Salt, 2003)。昆虫在幼虫阶段取食过量的硒后,虽然一部分硒可通过粪便、脱皮等排出体外,但大部分仍存留在虫体内,体内积累的硒过量后,会引起昆虫的硒中毒,其生长发育也会受到影响。本文研究发现,高浓度(1.000 mg/kg)硒能够抑制亚洲玉米螟的生长发育,表现为幼虫和蛹的发育历期显著延长,成虫寿命缩短,化蛹率和羽化率显著降低。与此类似,Shelby 和 Popham(2007)研究发现饲料中补充高浓度的硒(60 和 125 mg/kg)后,烟芽夜蛾的生长速率显著低于低浓度硒(10 和 20 mg/kg);补充硒超过 25 mg/kg 后会抑制粉纹夜蛾 *T. ni* 的生长发育(Popham *et al.*, 2005);黄粉虫幼虫饲料中硒含量为 15 和 20 mg/kg 时,幼虫的增重幅度显著低于不添加硒的对照组,且幼虫取食量和特定生长率随硒浓度的增大而降低,死亡率随硒浓度的增

大而升高(高红莉等, 2007);夏婧等(2013)同样发现微量元素锌能够影响生物体的生长发育和存活,低浓度时增加黑水虻的体重,缩短幼虫、蛹和成虫的历期,高浓度时使体重显著减少并延长其发育历期,这一现象与本文结果类似。昆虫的这种低剂量刺激高剂量抑制的现象可能是昆虫对外来物质刺激作用的一种表现,是动态平衡被破坏后作为一种补偿机制的适应性反应(Gintenreiter *et al.*, 1993; 张征田等, 2011)。

本研究发现,不同浓度硒处理亚洲玉米螟幼虫后,当硒处于低浓度(≤ 0.100 mg/kg)时对亚洲玉米螟的生长发育具有促进作用;而处于高浓度(≥ 0.500 mg/kg)后则为抑制作用,说明硒能够影响亚洲玉米螟的生长发育,且硒的营养与毒性与其浓度密切相关。

参考文献 (References)

- Bañuelos GS, Vickerman DB, Trumble JT, Shannon MC, Davis CD, Finley JW, Mayland HF. 2002. Biotransfer possibilities of selenium from plants used in phytoremediation. *International Journal of Phytoremediation*, 4(4): 315–329.
- Ellis DR, Salt DE. 2003. Plants selenium and human health. *Current Opinion in Plant Biology*, 6(3): 273–279.
- Fordyce FM, Zhang GD, Green K, Liu XP. 2000. Soil, grain and water chemistry in relation to human selenium-responsive diseases in Enshi District, China. *Applied Geochemistry*, 15(1): 117–132.
- Gao HL, Zhou WZ, Zhang L, Li HT. 2007. The selenium bioaccumulation of *Tenebrio molitor* larva. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(6): 886–890. [高红莉, 周文宗, 张璐, 李洪涛. 2007. 黄粉虫幼虫对硒的生物积累. 昆虫知识, 44(6): 886–890.]
- Gintenreiter S, Ortel J, Nopp HJ. 1993. Effects of different dietary levels of cadmium, lead, copper and zinc on the vitality of the forest pest insect *Lymantria dispar* L. (Lymantriidae, Lepidoptera). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 25(1): 62–66.
- Hanson B, Garifullina GF, Lindblom SD, Wangeline A, Ackley A, Kramer K, Norton A, Lawrence C, Pilon-Smits EAH. 2003. Selenium Accumulation Protects Brassica juncea from invertebrate herbivory and fungal infection. *New Phytologist*, 159(2): 461–469.
- Hayford BL, Ferrington LC. 2005. Biological assessment of Cannon Creek, Missouri by use of emerging Chironomidae (Insecta: Diptera). *Journal of the Kansas Entomological Society*, 78(2): 89–99.
- Lalitha K, Rani P, Narayanaswami V. 1994. Metabolic relevance of selenium in the insect *Corcyra cephalonica*: uptake of ^{75}Se and subcellular distribution. *Biological Trace Element Research*, 41(3): 217–233.
- Li J, Zhang ZC. 2011. Trace element selenium and human health. *Studies of Trace Elements and Health*, 28(5): 59–63. [李军, 张忠诚. 2011. 微量元素硒与人体健康. 微量元素与健康研究, 28(5): 59–63.]
- Li SN, Yue SZ, Qiao YH, Li HF. 2014. Studies on se-enriched maize production. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 30(30): 6–10. [李圣男, 岳士忠, 乔玉辉, 李花粉. 2014. 中国富硒玉米的生产与富硒效应. 中国农学通报, 30(30): 6–10.]
- Lin KF, Xu XQ, Zheng L, Xiang YL, Li ZH, Jiang DB. 2004. Eco-toxicological effects of selenium on inhibition of seed germination and root elongation of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agro-Environment Science*, 23(5): 885–889. [林匡飞, 徐小清, 郑利, 项雅玲, 李志红, 姜达炳. 2004. Se 对小麦种子发芽与根伸长抑制的生态毒理效应. 农业环境科学学报, 23(5): 885–889.]
- Martin-Romero FJ, Kryukov GV, Lobanov AV, Carlson BA, Lee BJ, Gladyshev VN, Hatfield DL. 2001. Selenium metabolism in *Drosophila*: Selenoproteins, selenoprotein mRNA expression, fertility, and mortality. *Journal of Biological Chemistry*, 276(32): 29798–29804.
- Mousavi SK, Primicerio R, Amundsen PA. 2003. Diversity and structure of Chironomidae (Diptera) communities along a gradient of heavy metal contamination in a subarctic watercourse. *Science of the Total Environment*, 307(1/3): 93–110.
- Popham HJR, Shelby KS, Popham TW. 2005. Effect of dietary selenium supplementation on resistance to baculovirus infection. *Biological Control*, 32(3): 419–426.
- Qiao L, Zheng JW, Cheng WN, Li YP. 2008. Impact of 4 different artificial fodders on life span of asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée). *Journal of Northwest A&F University (Nat. Sci. Ed.)*, 36(5): 109–112. [乔利, 郑坚武, 成卫宁, 李怡萍. 2008. 不同饲料配方对亚洲玉米螟生长发育和繁殖的影响. 西北农林科技大学报: 自然科学版, 36(5): 109–112.]
- Shelby KS, Popham HJR. 2007. Increased plasma selenium levels correlate with elevated resistance of *Heliothis virescens* larvae against baculovirus infection. *Journal of Invertebrate Pathology*, 95(2): 77–83.
- Shu YH, Du Y, Wang JW. 2012. Effects of lead stress on the growth and reproduction of *Spodoptera litura* Fabricius (Lepidoptera: Noctuidae). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 23(6): 1562–1568. [舒迎花, 杜艳, 王建武. 2012. 铅胁迫对斜纹夜蛾生长发育与生殖的影响. 应用生态学报, 23(6): 1562–1568.]

- Sun CF, Guo N, 2007. Physiological functions of trace element selenium. *Studies of Trace Elements and Health*, 24(6): 67–68. [孙长峰, 郭娜, 2007. 微量元素硒的生理功能. 微量元素与健康研究, 24(6): 67–68.]
- Vickerman DB, Young JK, Trumble JT, 2002. Effect of selenium-treated alfalfa on development, survival, feeding, and oviposition preferences of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Physiological and Chemical Ecology*, 31(6): 953–959.
- Wang GZ, Niu ZX, 2010. Research progress on the toxicity of trace element selenium. *Northwest Pharmaceutical Journal*, 25(3): 237–238. [王广珠, 牛作霞, 2010. 微量元素硒的毒性研究进展. 西北药学杂志, 25(3): 237–238.]
- Wang ZY, Lu X, He KL, Zhou DR, 2000. Review of history, present situation and prospect of the Asian maize borer research in China. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 31(5): 402–412. [王振营, 鲁新, 何康来, 周大荣, 2000. 我国研究亚洲玉米螟历史、现状与展望. 沈阳农业大学学报, 31(5): 402–412.]
- Xia Q, Dan JL, Zhu W, Liao Y, Yu GH, Chen YF, 2013. Effects of Zinc on the growth and development of black soldier fly *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae). *Journal of Environmental Entomology*, 35(3): 294–299. [夏婧, 但家立, 朱伟, 廖业, 喻国辉, 陈远风, 2013. Zn²⁺胁迫对黑水虻生长发育的影响. 环境昆虫学报, 35(3): 294–299.]
- Yang ML, Yang W, Zhou ZJ, 2005. Study on bioenrichment to selenium and zinc of the larva of *Tenebrio molitor* L. *Journal of Tarim University*, 17(3): 5–7. [杨明禄, 杨伟, 周祖基, 2005. 黄粉虫幼虫对硒的耐受性及富集能力. 塔里木大学学报, 17(3): 5–7.]
- Zhang C, Liu XP, Zhou DZ, Gui GQ, Zhu YC, 2007. Study on the distribution and combined forms of microelement selenium in corn. *Food Research and Development*, 28(9): 25–27. [张驰, 刘信平, 周大寨, 贵国强, 朱玉昌, 2007. 营养元素硒在富硒玉米中的赋存形态及分布研究. 食品研究与开发, 28(9): 25–27.]
- Zhang ZT, Zhang HC, Wang QL, Pang ZL, Liang ZA, Xia M, Du RQ, 2011. Changes in developmental duration, starvation tolerance and cadmium content in *Pirata subpiraticus* (Araneae: Lycosidae) fed on diets with cadmium. *Acta Entomologica Sinica*, 54(9): 997–1002. [张征田, 张虎成, 王庆林, 庞振凌, 梁子安, 夏敏, 杜瑞卿, 2011. 取食加 Cd²⁺食物后拟水狼蛛发育历期、耐饥力和体内 Cd²⁺含量的变化. 昆虫学报, 54(9): 997–1002.]
- Zhao SH, Yu WT, Zhang L, Shen SM, Ma Q, 2005. Biogeochemical cycling of selenium, nutrition adjustment and differentiation cause in environment. *Chinese Journal of Ecology*, 24(10): 1197–1203. [赵少华, 宇万太, 张璐, 沈善敏, 马强, 2005. 环境中硒的生物地球化学循环和营养调控及分异成因. 生态学杂志, 24(10): 1197–1203.]