

不同寄主植物对小地老虎生长发育和保护酶活性的影响*

张林林** 李艳红 仵均祥***

(植保资源与害虫治理教育部重点实验室 西北农林科技大学应用
昆虫学重点实验室 杨凌 712100)

摘要 通过室内饲养和生物化学测定,研究了白菜 (*Brassica campestris* ssp. *Pekinensis*)、大豆 (*Glycine max* Merrill)和玉米 (*Zea mays* L.) 3种寄主植物的营养差异及对小地老虎 *Agrotis ypsilon* (Rottemberg) 幼虫发育、成虫产卵、成活率及6龄幼虫体内超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活力的影响。结果表明:供试3种寄主植物的可溶性蛋白、可溶性糖和含水量差异显著。与取食玉米和白菜的个体相比,取食大豆的小地老虎幼虫历期、蛹期较短,分别为43.02 d和11.87 d;雌虫成虫寿命最长,为15.92 d;单雌产卵量最高,为936.67粒。但后代卵的孵化率以取食玉米的最低。取食3种寄主植物的幼虫和蛹的成活率由高到低依次为取食大豆>取食白菜>取食玉米。幼虫体内CAT活力没有显著差异,但SOD、POD活力由高到低依次为取食大豆>取食白菜>取食玉米。

关键词 小地老虎,寄主植物,营养成分,发育,保护酶活力

Effects of various host plants on the development and protective enzyme activity of the black cutworm, *Agrotis ypsilon*

ZHANG Lin-Lin** LI Yan-Hong WU Jun-Xiang***

(Key Laboratory of Plant Protection Resources and Pest Management of the Ministry of Education, Key Laboratory of Applied Entomology, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract The main nutrients of the Chinese cabbage *Brassica campestris* ssp. *Pekinensis*, soybean *Glycine max* Merrill and corn *Zea mays* L. were studied using biochemical analysis. The effects of these host plants on the development, oviposition and survival rate of the black cutworm *Agrotis ypsilon* (Rottemberg), as well as on protective enzyme activity in 6th instar larvae of this species, were compared. There were significant differences in the soluble protein, soluble sugar and water content of Chinese cabbage, soybean and corn. *A. ypsilon* individuals feeding on soybeans had shorter larval and pupal stages than those feeding on corn and Chinese cabbage, and females had greater longevity and laid more eggs. Egg hatching percentage was the lowest on insects feeding on corn. The relative survival rate of larvae and pupae on different host plants was soybean > Chinese cabbage > corn. There was no significant difference in the activity of catalase (CAT), but the activity of superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) activity in 6th instar larvae feeding on different host plants could be ranked soybean > Chinese cabbage > corn.

Key words *Agrotis ypsilon*, host plant, nutrient content, development, protective enzyme activity

小地老虎 *Agrotis ypsilon* (Rottemberg) 俗称土蚕、地蚕、切根虫等,是一种多食性、迁飞性、世界性的重要农业害虫,我国各省区均有分布(向玉勇

和杨茂发,2008a,2008b)。主要为害蔬菜、烟草、棉花等106种作物(魏鸿钧等,1989),是我国20世纪50年代提出的《农业发展纲要》中限期消灭

* 资助项目:公益性行业(农业)科研专项“农田地下害虫综合防控技术研究与示范”(2010030325)。

**E-mail: zhanglin6976090@163.com

*** 通讯作者, E-mail: junxw@nwsuaf.edu.cn

收稿日期:2012-03-16,接受日期:2012-05-03

的重大作物病虫害之一。近年来小地老虎在我国大范围内成灾的势头已明显减少,但局部地区大发生的现象仍时有出现。杨秀丽等(2011)报道2008年小地老虎在山西大发生,严重影响粮食产量。周建军和杨利刚(2011)发现小地老虎在陕西阳县蔬菜田危害严重,造成重大经济损失。

寄主植物作为植食性昆虫的食物来源,其营养成分的变化必然会对昆虫生理生化、繁殖发育等方面产生影响,研究不同植物营养成分差异与害虫种群动态的关系,有助于了解寄主植物对害虫种群消长变化影响的内在原因(李子玲等,2005)。小地老虎的幼虫期是其个体发育过程中唯一的取食期,幼虫期食物的质量是影响其个体生长发育及种群动态的主要因素,决定种群的大小(钦俊德,1987;张娜等,2009)。前人研究表明,利用玉米、烟草和甘蓝均能成功地饲养小地老虎(Luisa and Shield, 1998; 常秀辉等, 2003)。但Busching和Turpin(1976)发现,取食小麦、藜和燕麦的小地老虎发育历期有显著差异,而取食燕麦、紫花苜蓿、玉米和山芥的小地老虎发育历期则没有显著差异(Busching and Turpin, 1976)。刘征涛(1988)报道小地老虎喜欢取食棉花、辣椒、蓖麻和南瓜等含糖量高的植物。但有关寄主植物影响小地老虎生长发育与繁殖的生理生化机制,多年来则鲜见报道。有关保护酶的大量研究表明,昆虫体内的保护酶系统与昆虫的抗逆性和耐药性有密切关系(李周直等,1994;陈尚文,2001;王满和李周直,2002;向玉勇等,2010)。超氧化物歧化酶(SOD)能够清除部分自由基而形成 H_2O_2 ,而过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)又具有分解 H_2O_2 的作用,在这3种酶的共同作用下,生物细胞内的自由基维持在一个较低水平,不会引起对昆虫的伤害(王峰,2001;吴青君等,2011)。鉴于此,本研究选取陕西地区常见的小地老虎寄主植物白菜、大豆和玉米,在室内系统饲养比较不同寄主植物对小地老虎生长发育和繁殖特性影响的基础上,测定了不同寄主植物营养物质的差异及小地老虎取食后对保护酶活力的影响,旨在明确不同寄主植物对小地老虎生长发育与生殖的影响是否与保护酶有关。

1 材料与方法

1.1 材料

供试昆虫:小地老虎在陕西杨凌西北农林科技大学植物保护试验站试验田($34^{\circ}17'N$, $108^{\circ}64'E$)用黑光灯诱集。将黑光灯诱集的成虫放入置有干枯狗尾巴草(*Setaira viridis* (L.) Beauv)的 $38\text{ cm} \times 38\text{ cm}$ 玻璃箱中,将玻璃箱连同成虫一起放置于MGC-450-HP2型人工气候箱(上海一恒科技有限公司)中,在光周期 $L:D=14:10$ 、温度(25 ± 0.5) $^{\circ}C$ 、相对湿度 $75\% \pm 5\%$,以10%蔗糖水作为补充营养饲养待其产卵(刘征涛,1988)。

供试植物:室内种植白菜(*Brassica campestris* ssp. *Pekinensis*) (品种:秦白3号)、大豆 *Glycine max* Merrill (品种:秦豆8号)和玉米 *Zea mays* L. (品种:陕玉1号),待白菜长至4片真叶期、大豆和玉米长至15~20 cm摘取中上部新鲜叶片,用次氯酸浸泡3 min后,清水冲净晾干备用。上述寄主植物生长期禁施任何农药。

1.2 寄主植物可溶性蛋白、可溶性糖和含水量测定

参考邹琦(2000)的方法,其中可溶性蛋白测定采用考马斯亮蓝G-250法,选取上述试验同时期寄主植物的叶片3 g,洗净晾干加入蒸馏水和少许石英砂研磨后倒入离心管,4 000 r/min离心15 min,上清液即为蛋白提取液,在595 nm比色。

可溶性糖测定采用蒽酮比色法。选取叶片同上,加入80%酒精研磨,倒入离心管在80 $^{\circ}C$ 热水浴30 min,然后5 000 r/min离心10 min,重复提取1次,与上清液合并,80 $^{\circ}C$ 水浴脱色30 min,定容至10 mL,用时稀释10~20倍,取1 mL加入蒽酮5 mL,水浴10 min,最后625 nm比色。

含水量测定采用干重法。选取叶片3 g,洗净晾干称重然后置于烘箱烘干后再称重,计算含水量。

每次测定每种寄主植物均重复3次。

1.3 各虫态发育历期观察

1.3.1 幼虫期观察 将黑光灯诱集所得,在人工气候箱中室内培养条件下成虫所产卵在同期(6 h内)孵化的幼虫,移入底部置有约3 cm厚,经20网目筛子过筛的细壤土,大小为 $d=3\text{ cm}$, $h=10\text{ cm}$ 塑料盒中,盒内放入适量(1 g左右)寄主植物叶片进行单头饲养。饲养期间,每天检查记载幼虫发育情况并更换新鲜叶片,直至幼虫化蛹。

1.3.2 蛹期观察 待幼虫完全化蛹后,将取食同种

寄主植物、同一天化蛹的个体放在一起,置于 $d = 10\text{ cm}$, $h = 4.5\text{ cm}$ 的塑料盒中,每天观察记录一次蛹的发育情况,直至所有蛹全部羽化。

1.3.3 成虫期观察 将幼虫期取食同种寄主植物,同一时间段(12 h 内)羽化的成虫按雌雄比(1:2)配对,放入 1 000 mL 烧杯中,杯内放置蘸有 10% 蔗糖水的棉球补充营养,杯底放入干枯的狗尾巴草供其产卵。每天观察记录成虫的存活情况,直至成虫全部死亡。每个处理 36 头,重复 3 次。

1.3.4 卵期观察 取幼虫期取食 3 种不同寄主植物所得成虫同一时间段(6 h 内)所产的卵各 40 粒,分别放入 $d = 7\text{ cm}$, $h = 10\text{ cm}$,底部置有湿纱布保湿的罐头瓶内,瓶口用黑纱布覆盖,皮筋固定,以防卵孵化后的初孵幼虫逃逸。每天观察记载 1 次卵的发育情况,记载孵化卵数。直至全部卵孵化。每个处理重复 3 次。

各虫态发育历期观察的温湿度与光照条件同黑光灯诱集所得成虫的饲养条件。

1.4 老熟幼虫和蛹的重量测定

幼虫老熟后化蛹前,不食不动时用 AUY-220, MGC-HP 电子天平,对用于观察不同寄主植物对幼虫发育影响的全部供试幼虫个体逐一称重记载。待幼虫老熟化蛹 2 d 后,同法称量蛹的重量。

1.5 成虫繁殖力观察

1.3.3 成虫期观察的同时,每天将所产卵移出,放置未经产卵的狗尾巴草,仔细检查并记载成虫的产卵量,直至成虫全部死亡。

1.6 保护酶活性测定

分别参照李周直等(1994)、王峰(2001)的方法。

1.6.1 酶液提取 取不同寄主植物饲喂的小地老虎 6 龄幼虫各 3 头,放入 -20°C 冰箱中冷冻 3 min 后加入 pH 7.0 0.05 mol/L 磷酸缓冲液和少许石英砂,在匀浆器中冰上研磨后倒入 1.5 mL 离心管中,12 000 r/min 冷冻离心 10 min,取上清液置 -20°C 冰箱中保存待用。

1.6.2 超氧化物歧化酶(SOD)活性测定 反应体系为 3 mL 反应混合液(pH 7.0 0.05 mol/L 磷酸缓冲液 0.7 mL,13 mmol/L Met 1.2 mL,75 $\mu\text{mol/L}$ NBT 0.4 mL,0.1 mmol/L EDTA 0.1 mL,酶液 0.3

mL,最后加入核黄素 0.3 mL),光下反应 14 min,立即放入黑暗环境 30 s,然后在 560 nm 下比色。一个酶活力单位相当于 50% 抑制剂所需的酶量。

1.6.3 过氧化物酶(POD)活性测定 反应体系为 3.0 mL 反应混合液(pH 6.0 0.2 mol/L 磷酸缓冲液 0.5 mL,30% H_2O_2 28 μL ,愈创木酚 19 μL ,加入 50 μL 酶液),在 470 nm 处反应 1 min 测定 OD 值,作为酶活表示。

1.6.4 过氧化氢酶(CAT)活性测定 取 3 mL OD 值在 0.5 ~ 0.55 之间的 30% H_2O_2 与 pH 7.0 0.05 mol/L 磷酸缓冲液底物溶液,加入 10 μL 酶液,混匀后在 230 nm 下测定 OD 值。按照公式 $\text{CAT} = 2.303/60 \times \log_{10}(A_1/A_2)$ 计算(A_1 是反应 30" 的 OD 值, A_2 是反应 90" 的 OD 值)。

每个处理重复测试 3 次,取平均值。

1.7 数据处理

不同寄主之间营养成分、取食不同寄主的卵和幼虫历期、成虫寿命、产卵量差异均用 SPSS16.0 软件中的方差分析(ANOVA)和多重比较(LSD)进行分析。卵孵化率、幼虫存活率和蛹存活率在方差分析前转化为反正弦平方根。

2 结果与分析

2.1 不同寄主植物营养成分比较

由表 1 知,3 种寄主植物的可溶性蛋白、可溶性糖、含水量差异显著(可溶性蛋白: $F_{2,6} = 193.881, P < 0.001$;可溶性糖: $F_{2,6} = 820.177, P < 0.001$;含水量: $F_{2,6} = 41.584, P < 0.001$)。可溶性蛋白含量以大豆的最高,平均为 24.98 mg/mL,玉米的可溶性蛋白最低为 14.14 mg/mL,可溶性总糖以玉米最高,可达 23.61 mg/mL,白菜的最低为 3.39 mg/mL,两者相差 6.96 倍。白菜的含水量最高,为 91.76%,含水量排序为白菜 > 玉米 > 大豆。

2.2 不同寄主植物对小地老虎生长发育和繁殖影响

由表 2 知,小地老虎幼虫取食供试 3 种寄主植物,其雄虫寿命在 9.83 ~ 11.42 d 之间,不同寄主植物之间没有显著差异($F_{2,33} = 0.705, P = 0.502$),但卵期($F_{2,6} = 13.00, P = 0.007$)、幼虫历期($F_{2,262} = 74.623, P < 0.001$)、蛹期($F_{2,214} = 25.602, P < 0.001$)、老熟幼虫重($F_{2,262} = 270.394,$

表 1 供试 3 种寄主植物可溶性蛋白、可溶性总糖和含水量的比较

Table 1 Contents of soluble protein, soluble sugar and water in 3 species of tested host plants

测定指标 Measured index	可溶性蛋白 Soluble protein (mg/mL)	可溶性糖 Soluble sugar (mg/mL)	含水量 Water content (%)
玉米 <i>Z. mays</i>	14. 14 ± 0. 53c	23. 61 ± 0. 53a	82. 00 ± 0. 01b
大豆 <i>G. max</i>	24. 98 ± 0. 41a	6. 77 ± 0. 32b	75. 80 ± 0. 01c
白菜 <i>B. campestris</i>	18. 92 ± 0. 09b	3. 39 ± 0. 27c	91. 76 ± 0. 01a

注:表中数据为平均数 ± 标准误,同列数据后标有不同小写字母表示差异显著 ($P < 0. 05$)。下表同。
Data in the table are mean ± SE, and followed by different letters within the same column indicate significant difference ($P < 0. 05$). The same below.

$P < 0. 001$)、蛹重 ($F_{2,214} = 135. 638, P < 0. 001$)、雌虫寿命 ($F_{2,33} = 9. 269, P = 0. 001$)、产卵量 ($F_{2,33} = 240, P < 0. 001$)、产卵前期 ($F_{2,33} = 5. 917, P = 0. 006$)和产卵期 ($F_{2,33} = 5. 728, P = 0. 007$) 差异显著。其中,幼虫期取食白菜,成虫所产卵的历期最短,为 4. 0 d,显著低于取食玉米和大豆的个体。幼虫历期看,取食大豆的幼虫历期最短,平均为 43. 02 d,取食玉米的小地老虎幼虫历期最长,达 46. 46 d,两者相差 3. 44 d,差异显著。取食 3 种寄主植物幼虫历期长短依次为大豆 < 白菜 < 玉米。蛹期也以取食大豆的最短,为 11. 87 d,取食玉米可长达 14. 17 d。雌蛾寿命以取食大豆的最长,平均可达 15. 92 d,取食玉米的最短,为 10. 67 d,相差达 5. 25 d,差异显著。取

食 3 种寄主植物雌蛾寿命长短排序依次为大豆 > 白菜 > 玉米,排序与幼虫历期有差异。取食大豆的产卵量最多,平均为 936. 47 粒,取食玉米产卵量最少,为 561. 58 粒,相差高达 374. 89 粒,取食 3 种植物产卵期排序由多到少为大豆 > 白菜 > 玉米,排序与雌蛾寿命一致。老熟幼虫和蛹重均以取食大豆最重,分别为 0. 67 g 和 0. 35 g,与取食玉米和白菜的有显著差异,分别为 0. 41 g 和 0. 23 g,0. 43 g 和 0. 24 g。产卵前期以取食玉米的最短,平均为 4. 00 d,取食大豆和白菜的没有差异,分别为 5. 00 d 和 5. 58 d。但产卵期以取食大豆的最长,达 11. 83 d,取食玉米和白菜的个体没有差异,分别为 8. 92 d 和 9. 00 d。

表 2 不同寄主植物对小地老虎生长发育的影响

Table 2 Effects of different host plants on development of *Agrotis ypsilon*

植物 Host plant	玉米 <i>Z. mays</i>	大豆 <i>G. max</i>	白菜 <i>B. campestris</i>
卵期 Egg duration(d)	5. 33 ± 0. 30a	5. 00 ± 0. 00a	4. 00 ± 0. 00b
幼虫期 Larval duration(d)	46. 46 ± 0. 24a	43. 02 ± 0. 17c	44. 30 ± 0. 18b
蛹期 Pupal duration(d)	14. 17 ± 0. 30a	11. 87 ± 0. 18c	12. 82 ± 0. 19b
雌蛾寿命 Female adult longevity(d)	10. 67 ± 0. 72b	15. 92 ± 1. 10a	12. 25 ± 0. 78b
雄蛾寿命 Male adult longevity(d)	9. 83 ± 0. 81a	11. 42 ± 1. 36a	11. 00 ± 0. 59a
产卵量 Total eggs per female	561. 58 ± 3. 83c	936. 47 ± 5. 35a	582. 83 ± 3. 47b
老熟幼虫重 Mature larval weight(g)	0. 41 ± 0. 00b	0. 67 ± 0. 02a	0. 43 ± 0. 17b
蛹重 Pupal weight(g)	0. 23 ± 0. 00b	0. 35 ± 0. 01a	0. 24 ± 0. 00b
产卵前期 Preoviposition period(d)	4. 00 ± 0. 26b	5. 00 ± 0. 35a	5. 58 ± 0. 36a
产卵期 Oviposition period(d)	8. 92 ± 0. 53b	11. 83 ± 0. 74a	9. 00 ± 0. 79b

2. 3 不同寄主植物对小地老虎成活率的影响

由表 3 可知,取食不同寄主植物,小地老虎卵的孵化率、幼虫和蛹的存活率存在显著差异(卵: $F_{2,6} = 27. 410, P = 0. 001$;幼虫: $F_{2,6} = 304. 847, P < 0. 001$;蛹: $F_{2,6} = 109. 921, P < 0. 001$)。

其中取食玉米的卵孵化率最低,为 71. 08%;取食大豆的幼虫和蛹的成活率最高,分别为 71. 56% 和 70. 55%;取食玉米的小地老虎同取食白菜和大豆的处理相比,卵的孵化率、幼虫和蛹的存活率显著降低。

表 3 不同寄主植物对小地老虎存活的影响

Table 3 Effects of different host plants on survival rate of *Agrotis ypsilon*

寄主植物 Host plants	存活率 Survival rate (%)		
	卵 Egg	幼虫 Larvae	蛹 Pupae
玉米 <i>Z. mays</i>	71.08 ± 0.49b	55.08 ± 0.27c	58.10 ± 0.68c
大豆 <i>G. max</i>	76.80 ± 0.88a	71.56 ± 0.68a	70.55 ± 0.63a
白菜 <i>B. campestris</i>	77.48 ± 0.57a	63.73 ± 0.35b	64.19 ± 0.44b

2.4 寄主植物对小地老虎幼虫保护酶的影响

由表 4 知,小地老虎取食白菜、大豆和玉米叶片至 6 龄,其体内 SOD 和 POD 保护酶活力有显著差异(SOD: $F_{2,6} = 76.697, P < 0.001$; POD: $F_{2,6} = 124.591, P < 0.001$),但 CAT 活力没有差异($F_{2,6} = 2.432, P = 0.168$)。本文中 3 种保护酶活力表示单头幼虫的平均值,在 3 种供试寄主植物上,取

食大豆的小地老虎 SOD 活力最高,为 0.55 (OD/mg pro·min),取食玉米的小地老虎 SOD 活力最低,平均为 0.33 (OD/mg pro·min),取食大豆的是取食玉米 SOD 活力的 1.67 倍;POD 活力以取食存在显著差异,取食大豆的小地老虎是取食玉米的 1.38 倍,活力排序与 SOD 一致。

表 4 取食不同寄主植物的小地老虎 6 龄幼虫保护酶活力

Table 4 Difference of protective enzyme activities in the 6th instar larvae of *Agrotis ypsilon* feeding on different host plants

寄主植物 Host plant	超氧化物歧化酶活力 Activity of SOD (OD/mg pro·min)	过氧化氢酶活力 Activity of CAT (k/g·DW)	过氧化物酶活力 Activity of POD (OD470/g·DW)
玉米 <i>Z. mays</i>	0.33 ± 0.01c	0.0005 ± 0.0001a	0.13 ± 0.00c
大豆 <i>G. max</i>	0.55 ± 0.01a	0.0007 ± 0.0001a	0.18 ± 0.00a
白菜 <i>B. campestris</i>	0.43 ± 0.04b	0.0006 ± 0.0001a	0.16 ± 0.00b

3 讨论

寄主植物营养状况是影响植食性昆虫生长发育和繁殖的主要因素之一(Hódar *et al.* ,2006; 曹凤勤等,2011;郭建英等,2011)。钦俊德(1987)认为对昆虫生长发育起主要作用的是寄主植物蛋白质和碳水化合物的含量,而不同植物由于化学成分不同对幼虫生长发育的影响也不同。Busching 和 Turpin(1976)等发现小地老虎在取食玉米、甘蓝和小麦时的发育历期、死亡率、蛹重和化蛹率明显不同。本研究结果表明,小地老虎取食白菜、大豆和玉米时,其卵期、幼虫历期、雌虫寿命、老熟幼虫重、蛹重、产卵前期、产卵期、单雌产卵量和成活率均具有显著差异,供试 3 种寄主植物比较,大豆对小地老虎来讲,是较适宜的寄主植物。这一结论与前人研究结果完全一致。但向玉勇等(2010)发现取食菜叶的小地老虎的雌虫寿命、产卵前期、产卵期和单雌产卵量依次为 10.53、3.94、8.38 d

和 1 626.25 粒,与本研究所得数据差异较大。这可能是因为试验过程中实验室环境条件的差异所致。

营养成分在昆虫体内通过代谢进行转化,但植物所含的营养成分比例上的不平衡会对昆虫发育产生影响(Hódar *et al.* ,2006)。本研究中供试 3 种寄主植物的可溶性蛋白、可溶性糖和含水量均有显著差异。大豆可溶性蛋白含量最高,玉米最低,取食大豆的小地老虎幼虫发育历期最短,幼虫重和蛹重最大,可见寄主植物较高的蛋白质含量有利于小地老虎的发育。但刘征涛(1988)报道含糖量高的植物对小地老虎取食和生长发育有利。供试植物的含水量以白菜最高,大豆最低,取食白菜的小地老虎蛹重很低、幼虫发育历期很长,说明含水量高的植物不利于小地老虎的发育,这与钦俊德和王琛柱(2001)报道的棉铃虫和玉米螟生长发育与取食的植物组织含水量的关系也不一致。这些差异可能与昆虫种类和不同时期对营养成分

需求的比例不同有关。

昆虫取食植物,并将植物体的营养物质转化为自身的营养物质以满足生长发育的需要,在这一过程中,保护酶起着非常重要的作用。本研究表明,不同寄主植物对小地老虎 6 龄幼虫 SOD 活性和 POD 活性有显著影响,但对 CAT 活性没有明显影响。供试 3 种寄主植物比较,大豆可以较强的诱导 SOD 和 POD 的活性,对小地老虎的抗性优于白菜和玉米,小地老虎的发育适合度也以大豆最优,白菜、玉米次之。由此可见,小地老虎幼虫在不同寄主植物上的发育适合度同保护酶活力呈现正相关性。这与张娜等(2009)报道的植物营养物质同消化酶活力呈现正相关一致。

综上所述,寄主植物对小地老虎的影响主要取决于植物的营养物质含量,尤以可溶性蛋白的含量最为重要。本试验供试 3 种寄主植物中,以大豆的可溶性蛋白最高,取食大豆的小地老虎幼虫保护酶活力均高于取食白菜和玉米的小地老虎幼虫。所以,大豆是最适宜小地老虎生长发育的寄主植物。但寄主植物次生物质、温度和水分也会对昆虫的生长发育和保护酶活力产生影响(钦俊德,2003;Sosa and Tonn,2008;宋月芹等,2009;党志浩和陈法军,2011),有关这方面的研究本文尚未涉及,有待进一步探讨。

参考文献 (References)

- Busching MK, Turpin FT, 1976. Survival and development of black cutworm (*Agrotis ypsilon*) larvae on various species of crop plants and weeds. *Environ. Entomol.*, 1:63–65.
- Hódar JA, Regino A, Jorge C, 2006. Host utilization by moth and larval survival of pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* in relation to food quality in three *Pinus* species. *Ecol. Entomol.*, 27(3):292–301.
- Luisa S, Shield E J, 1998. Temperature and diet effect on black cutworm (Lepidoptera: Noctuidae) larval development. *J. Ecol. Entomol.*, 91(7):267–273.
- Sosa ME, Tonn CE, 2008. Plant secondary metabolites from Argentinean semiarid lands: bioactivity against insects. *Phytochem. Rev.*, 7:3–24.
- 曹风勤, 崔志富, 刘万学, 符悦冠, 但建国, 刘文庆, 2011. 螺旋粉虱对不同甜椒品种的产卵选择性及与植物中化学物质的相互关系研究. *植物保护*, 37(5):77–80.
- 常秀辉, 宋玉泉, 何淑文, 郭桂荣, 王军锋, 2003. 小地老虎的人工饲养研究. 中国化工学会第五届新农药创制交

- 流会. 第五届新农药创制交流会论文集(2). 沈阳:中国化工学会出版社. 136–138.
- 陈尚文, 2001. 马尾松毛虫过氧化氢酶及过氧化物酶与耐药性的关系. *昆虫学报*, 44(1):9–14.
- 党志浩, 陈法军, 2011. 昆虫对降雨和干旱的响应与适应. *应用昆虫学报*, 48(5):1161–1169.
- 郭建英, 杨洋, 丛林, 陈婷, 万方浩, 2011. 不同寄主植物对 B 型烟粉虱发育适合度的影响. *应用昆虫学报*, 48(1):43–47.
- 李周直, 沈慧娟, 蒋巧很, 嵇保中, 1994. 几种昆虫体内保护酶系统活力的研究. *昆虫学报*, 37(4):399–403.
- 李子玲, 韦绥概, 韦飏, 梁忠毅, 杨海菊, 王仕红, 2005. 寄主植物对甜菜夜蛾的发育和繁殖及体内酯酶活性的影响. *昆虫知识*, 42(3):284–289.
- 刘征涛, 1988. 不同食料对小地老虎生长发育与繁殖的影响. *江西植保*, 2:9–11.
- 钦俊德, 1987. 昆虫与植物的关系. 北京:科学出版社. 133–146.
- 钦俊德, 2003. 论植食性昆虫是怎样选择食料植物的. *生物学通报*, 38(6):1–3.
- 钦俊德, 王琛柱, 2001. 论昆虫与植物的相互作用和进化的关系. *昆虫学报*, 44(3):360–365.
- 宋月芹, 孙会忠, 仵均祥, 刘延虹, 2009. 不同温度对甜菜夜蛾保护酶活性的影响. *西北农业学报*, 18(3):285–288.
- 王峰, 2001. 粘虫体内保护酶系统活力的研究(鳞翅目夜蛾科). 硕士学位论文. 西安:陕西师范大学.
- 王满, 李周直, 2002. 滞育期间鞭角华扁叶蜂保护酶系统活力. *林业科学*, 38(4):100–104.
- 魏鸿钧, 张治良, 王荫长, 1989. 中国地下害虫. 上海:上海科学技术出版社. 273–276.
- 吴青君, 张友军, 徐宝云, 张文吉, 2011. 保护酶系在小菜蛾对阿维菌素抗性中的作用. *应用昆虫学报*, 48(2):291–295.
- 向玉勇, 杨茂发, 李子忠, 2010. 交配对小地老虎寿命和繁殖的影响. *四川动物*, 29(1):85–88.
- 向玉勇, 杨茂发, 2008a. 小地老虎在我国的发生危害及防治技术研究. *安徽农业科学*, 36(33):14636–14639.
- 向玉勇, 杨茂发, 2008b. 小地老虎的交配行为和能力. *昆虫知识*, 45(1):50–54.
- 杨秀丽, 赵飞, 李捷, 2011. 山西地下害虫发生情况及其防治措施. *农业技术与装备*, 6:65–68.
- 张娜, 郭建英, 万方浩, 吴刚, 2009. 寄主植物对甜菜夜蛾生长发育和消化酶活性的影响. *植物保护学报*, 36(2):146–150.
- 周建军, 杨利刚, 2011. 小地老虎发生为害规律及防治策略. *西北园艺*, 6:37–38.
- 邹琦, 2000. 植物生理学实验指导. 北京:中国农业出版社. 11–129.