

烟青虫人工饲料的改进研究

董钧锋* 许晓利 牛东升 楚博

(河南科技大学林学院 洛阳 471003)

摘要 在原有饲料配方的基础上,通过添加适宜浓度的辣椒粉作为取食刺激剂及去除原饲料配方中的番茄酱组分,作者对烟青虫 *Helicoverpa assulta* (Guenée) 幼虫的人工饲料进行了改进研究。测定了 6 种人工饲料对烟青虫生物学参数、营养指标和生命表参数的影响。结果表明,与取食对照饲料相比,取食添加 3% 番茄酱的饲料后,烟青虫的幼虫历期、蛹重和生殖力无显著差异。在试验浓度内,取食添加辣椒粉的饲料后烟青虫幼虫存活率、幼虫相对取食量和蛹重均显著高于取食对照饲料的相应指标。但饲料中辣椒粉浓度达到或超过 2% 时烟青虫幼虫的消化能力降低,达到 4% 时成虫交配力显著降低。在 6 种供试饲料中,配方 II 即添加 1% 辣椒粉的饲料为最佳配方饲料,与取食其他饲料相比,取食配方 II 饲料后烟青虫生殖力和内禀增长率均显著提高。改进的人工饲料可大量饲养烟青虫以满足室内试验及工厂化生产核多角体病毒的需要。

关键词 烟青虫, 人工饲料, 辣椒粉, 营养指标, 生命表参数

Research on developing an improved artificial diet for *Helicoverpa assulta*

DONG Jun-Feng* XU Xiao-Li NIU Dong-Sheng CHU Bo

(College of Forestry, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

Abstract Based on the original artificial diet formulation, an improved artificial diet for *Helicoverpa assulta* (Guenée) larvae was developed by incorporating a proportion of chili powder as a feeding stimulant, and removing the tomato paste included in the original diets. The effects of six artificial diets on biological parameters, nutritional indices and life table parameters of *H. assulta* were investigated. The results indicate that there was no significant difference between an artificial diet with 3% tomato paste and the control diet with respect to larval developmental period, pupa weight and fecundity. However, larvae fed the artificial diet containing chili powder (from 0.5% to 4% wet weight) had significantly higher survival rate, relative consumption rate and pupal weight than those on the control diet. The digestion of *H. assulta* larvae was inhibited by the addition of $\geq 2\%$ chili powder and adult mating ability significantly decreased when fed a diet containing 4% chili powder. The optimum formulation was the control diet plus 1% chili powder. *H. assulta* fed on this diet exhibited significantly higher fecundity and intrinsic rate of increase than those fed on other diets. The improved artificial diet was suitable for rearing *H. assulta* in the laboratory and mass rearing for the commercial production of nuclear polyhedrosis *H. assulta* viruses.

Key words *Helicoverpa assulta*, artificial diet, chili powder, nutritional indices, life table parameters

烟青虫 *Helicoverpa assulta* (Guenée) 属鳞翅目,夜蛾科,铃夜蛾属,在田间主要为害辣椒和烟草,是一种重要的寡食性农业害虫。近年来,随着作物布局的改变和抗药性的提高(辛海军等, 2005; Xia *et al.*, 2009), 烟青虫的危害逐年加重。长江中下游各烟区每年因该虫危害造成的烟草产

量损失达 5% ~ 10%, 大发生年份可超过 15% (谢立群等, 1997), 危害辣椒造成的产量损失也高达 20% ~ 30% (Lee *et al.*, 2006)。为降低烟青虫的危害,亟需对其生物学特性、生态及抗性风险等方面进行系统研究。烟青虫和棉铃虫是可以种间杂交的近缘种 (Wang and Dong, 2001), 因此二者也

*E-mail: junfengdong@126.com

是研究鳞翅目昆虫遗传和子一代不育机理的理想材料。随着对烟青虫毒理和遗传等研究的深入,随时需要提供大量生理状态一致的标准试虫,因而促进了烟青虫人工饲养技术的发展。

长期以来,有关文献一直将番茄列为烟青虫的寄主植物(许明霞等,1958;朱弘复和陈一心,1963),吴坤君等(1990)报道的饲料中加入了番茄酱作为取食刺激物。随后,王方晓等(2006)和李咏军等(2007)发表的烟青虫幼虫人工饲料中仍然添加了番茄酱。经过系统研究吴坤君等(2006)证实番茄并非烟青虫的寄主植物,那么烟青虫幼虫人工饲料中加入番茄酱是否科学?辣椒是烟青虫的最适宜寄主之一,饲料中加入适量的辣椒粉是否有利于烟青虫的生长发育和繁殖?为回答上述问题,作者以吴坤君等(1990)报道的人工饲料配方为基础,设计了4种添加不同浓度的辣椒粉饲料、1种添加番茄酱的饲料和对照饲料,并研究其

对烟青虫生长发育和繁殖的影响,以期筛选出适合饲养烟青虫幼虫的最佳配方。现将研究结果报道如下。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

烟青虫幼虫于2006年7月采自河南洛阳辣椒田,在室内续代饲养。幼虫饲于平底指形管内,饲以对照饲料(表1)。初孵幼虫群体饲养,每管4~5头,在3龄末期,挑选生长一致的幼虫单独饲养以避免自相残杀。成虫以10%蜂蜜水溶液补充营养。饲养条件为:温度(27±1)℃,相对湿度60%~75%,光周期L:D=18:6。

1.2 供试饲料制作方法

6种人工饲料配方见表1,其中配方Ⅰ、配方Ⅱ、配方Ⅲ、配方Ⅳ饲料中分别添加了0.5%、1.0%、2.0%、4.0%的辣椒粉,配方Ⅴ饲料中加入

表 1 供试饲料配方
Table 1 Ingredients and amounts of six artificial diets for *Helicoverpa assulta* caterpillar

成分 Ingredients	对照 CK	配方Ⅰ FormulaⅠ	配方Ⅱ FormulaⅡ	配方Ⅲ FormulaⅢ	配方Ⅳ FormulaⅣ	配方Ⅴ FormulaⅤ
蒸馏水(mL) Distilled water (mL)	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0	300.0
琼脂粉(g) Agar powder (g)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
熟大豆粉(g) Cooked soybean powder (g)	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0
麦芽粉(g) Wheat germ powder (g)	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0
酵母粉(g) Yeast powder (g)	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
山梨酸(g) Ascorbic acid (g)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
尼泊金(g) Nipagin (g)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
抗坏血酸(g) Ascorbic acid (g)	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
亚油酸(mL) Linoleic acid (mL)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
氯化钠(g) Sodium chloride (g)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
辣椒粉(g) Chill powder	—	2.0	4.1	8.2	16.7	—
番茄酱(g) Tomatopaste (g)	—	—	—	—	—	12.5

了 3.0% 的番茄酱。试验中加入的辣椒粉纯度为 100% (福运辣椒王粉,市售),番茄酱浓度为 20% ~22% (梅林牌,市售)。配方中的麦芽粉为小麦催芽后晒干粉碎而成,熟大豆粉为市售大豆粉经高压灭菌 30 min 后重新粉碎而成,酵母粉为市售安琪高活性干酵母,其余成分均购自试剂公司。

称取饲料所需各成分后,将 300 mL 蒸馏水和琼脂粉倒入不锈钢容器中,在电磁炉上加热至沸腾后倒入电动搅拌杯中。随后加入麦芽粉、熟大豆粉、酵母粉,搅拌 2 min。待温度降至 55℃ 时,加入其余组分,搅拌 2 min。将搅匀的饲料倒入培养皿中,冷却后放入冰箱备用。

1.3 试验方法

1.3.1 幼虫和蛹期生物学指标测定 将烟青虫初孵幼虫接入指形管内,每管一头并逐一编号,饲养条件同 1.1。每处理饲养 60 头,设 3 次重复。每天检查幼虫蜕皮及死亡情况。每 4 d 更换与之前相同的人工饲料。记录试虫化蛹日期,计算幼虫发育时间。

化蛹后第 3 天将烟青虫从指形管中取出,辨别性别后称重,然后放入带盖塑料杯(240 mL)中,每天检查并记录成虫羽化日期。

1.3.2 幼虫营养指标测定 营养指标测定参照王琛柱(1997)的方法。试虫用对照饲料饲养至 4 龄末期,严格挑选发育一致刚蜕皮进入 5 龄的幼虫,饥饿 4 ~10 h,称重,然后分别用 6 种人工饲料饲养 48 h。每处理 10 头,设 3 次重复。将各处理的幼虫、粪便及剩余饲料在 50℃ 下烘 24 h,再在 100℃ 下烘至恒重,分别称得幼虫、粪便和剩余饲料干重,并测定各种饲料的干湿比,试前幼虫干鲜比,推算试前饲料干重和试前幼虫干重。根据试前饲料干重(A)、饲后饲料干重(B)、试前幼虫干重(C)、饲后幼虫干重(D)和粪便干重(E),计算以下营养指标:

幼虫相对取食量 = $(A - B) / \{ [(C + D) / 2] \times 2 \}$,
幼虫相对生长率 = $(D - C) / \{ [(C + D) / 2] \times 2 \}$,
近似消化率 = $(A - B - E) / (A - B) \times 100$,
食物利用率 = $(D - C) / (A - B) \times 100$,
食物转化率 = $(D - C) / (A - B - E) \times 100$ 。

1.3.3 成虫寿命和生殖力测定 同日羽化的成虫在交配笼($\Phi = 15$ cm, h = 20 cm)中单对交配,交配笼内壁贴滤纸以供雌蛾产卵,以 10% 蜂蜜水

溶液补充营养。每处理 5 对,设 3 次重复。每天检查卵的数量,记录雌雄虫的死亡日期,计算成虫寿命和雌蛾产卵量。

将当天死亡的雌蛾解剖,根据交配囊内精包的有无和数量判断雌蛾是否交配及交配次数。

将卵纸(受精卵不少于 50 粒)放入培养皿($\Phi = 12$ cm)内,皿底铺有 2% 琼脂以保持湿度,用保鲜膜将培养皿封严,待其孵化,计算受精卵发育时间和孵化率。设 3 次重复。

1.4 统计分析

获得的数据用 SPSS 17.0 软件进行方差分析,并用 Duncan 的新复极差法($P = 0.05$)检验差异显著性。内禀增长率(r_m)、周限增长率(λ)、净生殖率(R_0)、平均世代周期(T)和种群加倍时间(DT)参照 Carey(2001)公式计算。

2 结果与分析

2.1 不同饲料对烟青虫未成熟期各虫态生长发育的影响

如表 2 所示,供试的 6 种饲料对烟青虫卵期和卵孵化率无显著影响。取食配方 II 饲料的烟青虫幼虫历期最短,为 14.1 d,显著低于取食对照饲料和配方 V 饲料的幼虫发育时间。取食配方 III、配方 II 和配方 IV 饲料的烟青虫幼虫存活率分别为 91.8%、91.2% 和 90.4%,显著高于取食对照、配方 I 和配方 V 饲料的幼虫存活率。

烟青虫雄蛹发育时间较雌蛹长 0.9 ~1.2 d,但 6 种供试饲料对烟青虫雌雄蛹发育历期无显著影响。与取食对照和配方 V 饲料相比,幼期取食添加辣椒粉的 4 种饲料后烟青虫雌雄蛹的重量较高,差异达到显著水平。幼期取食配方 I 饲料后,烟青虫雌雄蛹的羽化率最高,分别为 92.9% 和 91.6%,取食配方 V 饲料后烟青虫雌雄蛹的羽化率最低,分别为 83.6% 和 84.2%。

2.2 不同饲料对烟青虫 5 龄幼虫营养指标的影响

配方 I、配方 II、配方 III 和配方 IV 的饲料分别添加了 0.5%、1.0%、2.0% 和 4.0% 的辣椒粉。取食上述 4 种人工饲料时烟青虫幼虫的相对取食量和相对生长率较高(表 3)。说明在试验浓度内辣椒粉能促进烟青虫幼虫的取食和生长。与取食配方 I 和配方 II 饲料相比,取食配方 III 和配方 IV 饲

表 2 不同饲料对烟青虫未成熟期各虫态生长发育的影响

Table 2 Effect of different artificial diets on growth and development of immature stages of *Helicoverpa assulta*

参数 Parameter	对照 CK	配方 I Formula I	配方 II Formula II	配方 III Formula III	配方 IV Formula IV	配方 V Formula V
卵期 (d) Egg period (d)	2.7 ± 0.3 a	2.8 ± 0.4 a	2.6 ± 0.2 a	2.7 ± 0.3 a	2.6 ± 0.3 a	2.6 ± 0.4 a
卵孵化率 (%) Hatching rate (%)	91.8 ± 2.4 a	89.6 ± 3.8 a	91.2 ± 2.7 a	90.3 ± 3.6 a	92.6 ± 3.2 a	91.3 ± 4.3 a
幼虫期 (d) Larval period (d)	15.4 ± 0.6a	14.7 ± 0.7ab	14.1 ± 0.5b	14.3 ± 0.3b	14.8 ± 0.5ab	15.7 ± 0.5a
幼虫存活率 (%) Larval survival rate (%)	86.4 ± 3.7 b	86.8 ± 3.5 b	91.2 ± 2.4 a	91.8 ± 2.1 a	90.4 ± 2.8 a	87.2 ± 4.3 b
雌蛹历期 (d) Female pupal period (d)	10.6 ± 0.48a	10.5 ± 0.40a	10.4 ± 0.44a	10.5 ± 0.52a	10.7 ± 0.44a	10.5 ± 0.52a
雄蛹历期 (d) Male pupal period (d)	11.5 ± 0.48a	11.6 ± 0.52a	11.5 ± 0.45a	11.5 ± 0.43a	11.8 ± 0.51a	11.7 ± 0.58a
雌蛹重 (g) Female pupal weight (g)	0.29 ± 0.01b	0.32 ± 0.02a	0.32 ± 0.02a	0.31 ± 0.03a	0.33 ± 0.03a	0.29 ± 0.02b
雄蛹重 (g) Male pupal weight (g)	0.28 ± 0.02b	0.31 ± 0.02a	0.30 ± 0.01a	0.30 ± 0.02a	0.31 ± 0.02a	0.28 ± 0.02b
雌蛹羽化率 (%) Female emergence (%)	86.0 ± 4.7ab	92.9 ± 2.3a	91.6 ± 3.2a	88.7 ± 3.8ab	85.8 ± 5.6ab	83.6 ± 4.8b
雄蛹羽化率 (%) Male emergence (%)	88.2 ± 3.5ab	91.6 ± 2.4a	90.8 ± 2.8a	87.5 ± 4.6ab	87.2 ± 4.8ab	84.2 ± 5.7b

注:同行数据 (平均值 ± SE) 后标有不同字母的表示差异显著 ($P < 0.05$, One-way ANOVA, Duncan), 下表同。
Data are mean ± SE, and followed by different letters in the same row indicate significantly different ($P < 0.05$, One-way ANOVA, Duncan). The same below.

表 3 不同饲料对烟青虫 5 龄幼虫营养指标的影响

Table 3 Nutritional indices of the fifth instar larvae of *Helicoverpa assulta* feeding on different artificial diets

营养指标 Nutritional indices	对照 CK	配方 I Formula I	配方 II Formula II	配方 III Formula III	配方 IV Formula IV	配方 V Formula V
相对取食量 ($\text{mg} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$) Relative consumption rate ($\text{mg} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$)	2.85 ± 0.05b	2.98 ± 0.05a	3.02 ± 0.05a	3.11 ± 0.04a	3.07 ± 0.07a	2.82 ± 0.04b
相对生长率 ($\text{mg} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$) Relative growth rate ($\text{mg} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$)	0.65 ± 0.02b	0.69 ± 0.02a	0.69 ± 0.01a	0.69 ± 0.02a	0.68 ± 0.02a	0.65 ± 0.02b
近似消化率 (%) Approximate digestibility (%)	40.6 ± 0.8ab	41.6 ± 0.5a	41.7 ± 0.6a	39.1 ± 0.7b	38.8 ± 0.6b	40.4 ± 0.6ab
食物利用率 (%) Efficiency of conversion of digested food (%)	22.8 ± 0.4a	23.2 ± 0.3a	22.8 ± 0.3a	22.2 ± 0.4b	22.1 ± 1.4b	23.0 ± 0.3a
食物转化率 (%) Efficiency of conversion of ingested food (%)	56.2 ± 1.1a	55.6 ± 0.6a	54.8 ± 0.9a	56.7 ± 0.8a	57.1 ± 2.2a	57.0 ± 1.0a

料后烟青虫幼虫的近似消化率显著降低,说明辣椒粉浓度过高会抑制烟青虫幼虫的消化功能。供试 6 种饲料对烟青虫幼虫的食物利用率和食物转化率无显著影响。

2.3 不同饲料对烟青虫生殖力和成虫寿命的影响

由表 4 所示,幼期饲料对成虫交配力和产卵量有显著影响。幼期取食配方Ⅱ饲料后,烟青虫成虫的交配力最高,交配率和平均交配次数分别

为 80.0% 和 1.74 次,平均产卵量也高达 972.8 粒。幼期取食配方Ⅴ饲料后,成虫交配率和平均交配次数最低,分别为 46.7% 和 0.68 次,平均产卵量也低至 561.5 粒。

幼期取食不同饲料后,烟青虫雌蛾寿命最短 16.8 d,最长 18.5 d,但差异未达到显著水平。幼期取食配方Ⅳ和配方Ⅱ饲料后,雄蛾寿命分别为 21.6 d 和 19.8 d,显著高于幼期取食其他饲料的雄蛾寿命。

表 4 不同饲料对烟青虫生殖力和成虫寿命的影响
Table 4 Effect of different artificial diets on adult fecundity and longevity of *Helicoverpa assulta*

参数 Parameter	对照 CK	配方Ⅰ FormulaⅠ	配方Ⅱ FormulaⅡ	配方Ⅲ FormulaⅢ	配方Ⅳ FormulaⅣ	配方Ⅴ FormulaⅤ
交配率(%) Mating rate (%)	66.7 ± 6.7ab	66.7 ± 6.7ab	80.0 ± 11.5a	66.7 ± 6.7ab	53.3 ± 6.7ab	46.7 ± 13.3c
平均交配次数 Mean mating number	1.17 ± 0.24b	1.13 ± 0.20b	1.74 ± 0.29a	1.26 ± 0.29b	0.92 ± 0.34c	0.68 ± 0.19d
平均产卵量 Fecundity (eggs laid/female)	627.4 ± 58.2c	754.9 ± 62.6b	972.8 ± 94.3a	785.1 ± 77.6b	829.1 ± 83.7b	561.5 ± 69.9c
雌蛾寿命(d) Female adult longevity (d)	16.8 ± 2.86a	17.7 ± 2.74a	17.8 ± 2.39a	18.5 ± 2.33a	18.4 ± 2.02a	17.6 ± 2.88a
雄蛾寿命(d) Male adult longevity (d)	17.4 ± 1.90b	18.2 ± 2.18b	19.8 ± 2.36a	18.0 ± 2.53b	21.6 ± 2.51a	18.1 ± 2.01b

2.4 不同饲料对烟青虫生命表参数的影响

内禀增长率是评估昆虫种群增长潜力的主要参数。在本试验中,取食配方Ⅱ饲料的烟青虫内禀增长率最高,取食配方Ⅰ、配方Ⅲ和配方Ⅳ饲料

的次之,取食对照饲料和配方Ⅴ饲料的最低(表 5)。取食配方Ⅱ饲料的烟青虫周限增长率最高(1.18),取食对照和配方Ⅴ饲料的最低(1.15)。

表 5 烟青虫在不同饲料上的生殖生命表参数
Table 5 Life table parameters of *Helicoverpa assulta* on different artificial diets

参数 Parameter	对照 CK	配方Ⅰ FormulaⅠ	配方Ⅱ FormulaⅡ	配方Ⅲ FormulaⅢ	配方Ⅳ FormulaⅣ	配方Ⅴ FormulaⅤ
内禀增长率 Intrinsic rate of increase	0.14	0.15	0.16	0.15	0.15	0.14
周限增长率 Finite rate of increase	1.15	1.16	1.18	1.17	1.16	1.15
净增殖率 Net reproductive rate	203.11	219.29	333.86	226.17	229.15	206.64
平均世代周期(d) Mean generation time (d)	37.20	36.05	35.69	35.29	36.86	37.71
种群加倍时间(d) Doubling time (d)	4.85	4.64	4.26	4.51	4.70	4.90

净增殖率表示每个雌性成虫经历一个世代可繁殖的雌性后代数量。从表 5 可以看出,取食配方 II 饲料的烟青虫净增殖率最高,达 333.86,取食对照饲料的最低,仅为 203.11。

取食配方 II 饲料的烟青虫平均世代周期和种群加倍时间均最短,分别为 35.69 d 和 4.26 d,取食对照饲料的最长,分别为 37.20 d 和 4.85 d。

3 讨论

已有的研究表明,寄主植物中往往含有昆虫的取食刺激物质,单食性和寡食性昆虫寄主植物的取食刺激作用尤为明显。这些植物源取食刺激物虽无营养价值,但作为引诱昆虫取食的“信号”,有促进取食作用。例如黑芥子硫苷酸钾及其分解物烯丙异硫氢酸对大菜粉蝶幼虫、甘蓝种蝇、甘蓝蚜有吸引力;芥子油糖对小菜蛾幼虫和其它鳞翅目昆虫以及几种蚜虫也有刺激取食的功能(忻介六和邱益三,1986)。董钧锋等(2002)和 Ahn 等(2011)的研究表明,在一定浓度内辣椒素对烟青虫有显著的取食刺激作用。Lee 等(2006)的研究证实,(Z)-辣椒素对烟青虫还有强烈的刺激产卵作用。辣椒粉中含有丰富的辣椒素,因此在饲料中加入适量辣椒粉可促进烟青虫的生长发育和繁殖。番茄不是烟青虫的寄主植物,以番茄叶片或幼果饲喂烟青虫往往导致低龄幼虫死亡(吴坤君等,1990)。本研究也证实饲料中添加番茄酱对烟青虫的生长和繁殖并无有利影响,为降低成本,以饲料中去除番茄酱为宜。

研究结果表明,取食添加辣椒粉的饲料后,烟青虫幼虫历期缩短,幼虫死亡率降低,相对取食量、相对生长率和雌雄蛹重均显著提高,平均世代周期和种群加倍时间缩短。但饲料中辣椒粉浓度达到或超过 2% 时会抑制烟青虫对饲料的消化吸收。当辣椒粉浓度达到 4% 时显著降低成虫的交配力,所以饲料中添加辣椒粉以不超过 2% 为宜。

烟草也是烟青虫的适宜寄主,在人工饲料种添加烟叶粉也能促进烟青虫的生长发育和繁殖(张勇等,2002;王方晓等,2006)。但已有的研究表明,辣椒叶片上饲养的烟青虫幼虫发育时间较烟草叶片上饲养的短 2.3 d,蛹重重 35.7 mg,幼虫存活率高 9.1%,平均产卵量多 86.9 粒,说明烟青虫在辣椒上的生存适合度高于在烟草上的适合度(Wang *et al.*, 2008)。与烟叶粉相比,辣椒粉成本

低廉,购买方便,并能刺激烟青虫幼虫的取食和生长,所以是饲料中理想的添加组分。用配方 II 饲料,即添加 1% 辣椒粉的人工饲料连续饲养烟青虫 10 代后,其蛹重没有显著下降,平均产卵量亦能保持在 700 粒左右。说明该饲料可大量饲养烟青虫以满足科学研究和工厂化生产核多角体病毒的需要,是较为实用的人工饲料。

参考文献 (References)

- Ahh SJ, Badenes-Pérez FR, Heckel DG, 2011. A host-plant specialist, *Helicoverpa assulta*, is more tolerant to capsaicin from *Capsicum annuum* than other noctuid species. *J. Insect Physiol.*, 57(9):1212–1219.
- Carey JR, 2001. Insect biodemography. *Annu. Rev. Entomol.*, 46:79–110.
- Lee K, Hieu TT, Ahn YJ, 2006. Oviposition-stimulating activity of (E)-capsaicin identified in *Capsicum annuum* fruit and related compounds towards *Helicoverpa assulta* (Lepidoptera: Noctuidae). *Chemoeology*, 16:153–157.
- Wang CZ, Dong JF, 2001. Interspecific hybridization of *Helicoverpa armigera* and *H. assulta* (Lepidoptera: Noctuidae). *Chin. Sci. Bull.*, 46(6):489–491.
- Wang KY, Zhang Y, Wang HY, Xia XM, Liu TX, 2008. Biology and life table studies of the oriental tobacco budworm, *Helicoverpa assulta* (Lepidoptera: Noctuidae), influenced by different larval diets. *Insect Sci.*, 15(6):569–576.
- Xia XM, Wang KY, Wang HY, 2009. Resistance of *Helicoverpa assulta* (Guenée) (Lepidoptera: Noctuidae) to fenvalerate, phoxim and methomyl in China. *Crop Prot.*, 28:162–167.
- 董钧锋, 张继红, 王琛柱, 2002. 植物次生物质对烟青虫和棉铃虫食物利用及中肠解毒酶活性的影响. *昆虫学报*, 45(3):296–300.
- 李咏军, 吴孔明, 罗术东, 2007. 烟青虫人工大量饲养技术的研究. *核农学报*, 21(1):75–78.
- 王琛柱, 1997. 棉酚和单宁酸对棉铃虫幼虫生长和消化生理的影响. *植物保护学报*, 24(1):13–18.
- 王方晓, 薛泽春, 徐庆丰, 2006. 烟青虫人工饲料的筛选. *安徽农业科学*, 34(4):700–701.
- 吴坤君, 龚佩瑜, 阮永明, 2006. 番茄是烟青虫的寄主植物吗? *昆虫学报*, 49(3):421–427.
- 吴坤君, 龚佩瑜, 李秀珍, 1990. 烟青虫人工饲料的研究. *昆虫学报*, 33(3):301–308.
- 谢立群, 杨效文, 张孝曦, 1997. 烟青虫主要生物学特性及防治方法的研究现状. *烟草科技*, 2:46–47.

辛海军, 张勇, 王开运, 王刚, 顾春波, 2005. 我国中东部烟区烟青虫抗药性检测. 山东农业大学学报(自然科学版), 36(2):205 – 208.

忻介六, 邱益三, 1986. 昆虫、蜡类和蜘蛛的人工饲料(续篇). 北京:科学出版社. 1 – 211.

许明霞, 张广学, 朱弘复, 1958. 棉铃虫研究. 应用昆虫学报, 1(1):18 – 30.

张勇, 王开运, 原晓玲, 庞云红, 马惠, 2002. 人工饲料与天然饲料饲养条件下烟青虫的生长发育和繁殖力比较. 昆虫知识, 43(4):545 – 548.

朱弘复, 陈一心, 1963. 中国经济昆虫志第三册 鳞翅目夜蛾科(一). 北京:科学出版社. 54 – 55.