

C₃ 和 C₄ 植物寄主对华北地区棉铃虫越冬代和第一代的影响

叶乐夫¹, 付雪^{1,2}, 戈峰^{1*}

(1 中国科学院动物研究所, 农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室, 北京 100101; 2 黑龙江大学, 农业资源与环境学院 150086)

摘要: 确定华北越冬代棉铃虫虫源及其对第一代棉铃虫种群的影响是制定棉铃虫防治策略的基础。以越冬代棉铃虫蛾翅的稳定同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 为天然标记直接判定这些成虫的幼虫期寄主类型, 并将雌虫接到春小麦植株上, 调查其产卵、孵化、幼虫发育至化蛹、羽化等特征。结果表明, 越冬代来自 C₃ 植物 (主要为棉花) 的成虫个体数量占全部越冬羽化种群的 53.1%, 所产生的下一代老熟幼虫也较 C₄ 来源的多 (55.1%); 雌蛾受精率都比较高; 卵孵化率较高 (52.9% > 41.6%); 幼虫发育在低龄阶段较后者快, 存活率低, 但在高龄幼虫阶段相对后者慢, 存活率高; 与 C₄ 植物 (主要玉米) 的来源个体后代的幼虫发育总历期接近, 总存活率也相近。显示寄主植物小麦提供的营养条件在第一代棉铃虫的幼虫发育中具有决定性意义, 即小麦只在特定阶段才适合幼虫的发育; 而且不论是 C₃ 还是 C₄ 寄主来源的越冬代棉铃虫已经适应了这一限制。有效地评价了玉米和棉花等寄主植物对华北地区越冬代和次年第一代棉铃虫的影响, 对于分析越冬代棉铃虫的虫源性质和第一代棉铃虫的防治及 Bt 抗性的治理有重要参考价值。

关键词: 碳稳定同位素; C₃ 和 C₄ 植物寄主; 棉铃虫; 越冬代; 第一代; 春小麦

Contribution of C₃ and C₄ host plants for the overwintering and 1st generation of *Helicoverpa armigera* (Hübner) in Northern China

YE Lefu¹, FU Xue^{1,2}, GE Feng^{1*}

1 State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2 College of Agricultural Resource and Environment, Heilongjiang University, Harbin 150086, China

Abstract It is a key step for cotton bollworm (CBW) management to determine the ratio of moths of cotton bollworm originating from C₃ and C₄ host plants for the overwintering generation and their contribution to the next spring first generation in North China. In this study, the development times of larva from the female moths captured in wheat field in 2007 were observed systematically. Moreover, $\delta^{13}\text{C}$ values in the wings of each female moth were tested with GC-MS apparatus to determine larval host plant type. Results showed that 53.1% of moths trapped during spring emergence (the overwintering generation CBW) came from larva grown in late autumn C₃ host plants (cotton), 46.9% came from larva grown in late autumn C₄ host plants (corn). 57.9% of eggs laid by the overwintering generation moths were determined as progeny of C₃ phenotype via stable isotope examination on the wings of moth individually. Significantly higher hatching rate were observed in the eggs laid by the moths from larva grown in C₃ host plants than C₄ host plants. Furthermore, about 63.7% first instar larva on spring wheat was determined as progeny of C₃ phenotype moths. Moreover, about 47.9% larva at the third instar, 45.5% fourth instar larva, 46.9% fifth instar larva, 55.1% last instar larva of 1st generation of CBW originated from C₃ host plants. The larva from first instar to third instar of moths from C₃ phenotype develop quicker compared with from C₄ phenotype. However, larva from fourth instar to sixth instar from C₃ phenotype developed slowly than

基金项目: 国家重点基础研究发展 973 计划资助项目 (2006CB102006); 国家科技支撑计划资助 (2006BAD08A07-3-2 和 2008BADA5B01-04); 转基因生物新品种培育重大专项课题资助 (2009ZX08012-005B)

收稿日期: 2009-11-27 修订日期: 2010-09-17

* 通讯作者 Corresponding author E-mail: ge@iz.ac.cn

C_4 phenotype. The larva originated from C_3 phenotype displayed lower survival rate at lower instar larva and higher survival rate at higher instar larva while compared to the C_4 phenotype progeny. In the whole, quicker development for lower instar larva with lower survival rate and slower development for large larva with higher survival rate occurred during their larval developmental process. However, total developmental duration and accumulative survival rate of larva as progeny of different phenotype CBW from C_3 and C_4 host plants were not significant. No significant difference of fitness of first generation of CBW from C_3 or C_4 was observed, indicating that the larva of CBW has adapted to this host plant variation. Generally speaking, the overwintering generation CBW, which originated from C_3 or C_4 host plants as pupae, could overwinter successfully in North China and provided equal quantity of moths in the next spring, therefore infested on the spring wheat, contributing comparative number of larva to the first generation CBW. On the other hand, spring wheat as major host plant of first generation CBW in North China could determine the larval developmental process through its nutrition component shift although their moth could come from C_3 host plants or C_4 host plants. Our research provided an effective and direct estimation of contribution by corn and cotton host plants to the overwintering generation and spring first generation CBW population in North China and would be a key reference in making Bt management strategies to prevent local breakout of CBW.

Key Words carbon stable isotope, C_3 and C_4 host plant, cotton bollworm, overwintering generation, first generation, spring wheat

棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) 属鳞翅目, 夜蛾科昆虫, 食性广泛, 是一类最重要的世界性农田作物害虫^[1-2]。由于食物条件适宜, 气候因素有利, 抗药性剧增等因素, 在华北该害虫连年暴发危害, 已成为制约我国棉花生产持续、稳定发展的关键因子^[3]。

棉铃虫每年在华北发生 4 代, 少数第 4 代末龄幼虫可以正常化蛹并产生第 5 代^[1]。它们以蛹的形式进入滞育, 成虫将在来年春天羽化并在小麦上产卵危害。棉花和玉米, 分别为 C_3 和 C_4 植物, 是第 4 代华北棉铃虫幼虫的主要寄主植物^[4]。Li 等^[5]曾研究了不同寄主 (如棉花、玉米、番茄) 对棉铃虫的生长发育的影响; Ge 等^[1]分析了不同作物对越冬代棉铃虫越冬、滞育的影响。但越冬代棉铃虫的虫源性质以及来自不同作物的棉铃虫对来年春天第 1 代的影响还缺乏直接的评估。

近年来, 稳定同位素的发展为定量分析幼虫寄主的类型提供了一个重要的方法^[6]。如 Gould^[7]等用稳定同位素碳分析了美国第 2 代来自 C_3 和 C_4 寄主的棉铃虫成虫虫源。而且, 通过对风险发生区与各个影响因子如气象、耕作制度、高程、一代蛾量等的定性和定量的分析, 认为影响棉铃虫发生的主要因子为温度与降雨等气象因子^[8]。小麦生产水平提高, 也为一代棉铃虫提供了适生环境^[9]。因此, 明确春季羽化的越冬成虫的幼虫寄主类型, 对于防治第 1 代棉铃虫有重要意义。

本文以越冬代棉铃虫蛾翅的稳定同位素 $\delta^{13}C$ 为天然标记, 通过直接判定春季田间采集的成虫的幼虫期寄主类型, 然后将雌虫接到春小麦植株上, 观察记录其生长发育, 旨在明确越冬代棉铃虫成虫的来源及其后代生长发育的特征, 为麦田第 1 代棉铃虫的防治提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 成虫数量监测

在河北省饶阳县植物保护观测站架设 45W 黑光灯 1 盏 (降雨天自动关闭), 自动在黄昏开启, 每日检查并记录所诱杀昆虫种类, 2007 年监测全年棉铃虫成虫数量发生动态。

1.2 田间成虫采集

自 20 世纪 50 年代以来, 我国已经成功地应用杨树把诱蛾技术进行棉铃虫的预测预报及防治。在华北棉区, 棉农主要用黑杨 *Populus spp* 来制作枝把诱杀棉铃虫成虫^[10]。参考多年黑光灯监测的情况, 选择从 2007 年 4 月下旬至 5 月上旬在田间 (小麦田) 设置杨树把诱集并用网捕获活体越冬代棉铃虫成虫。共设 21 个杨树

把,呈“H”字母形分布于 3km 范围的 7块麦田中。

1.3 接虫试验

根据杨树把诱集棉铃虫蛾数量,在 2007年 4月 27至 5月 9日随机地选取 20% 由杨树把采集的棉铃虫雌蛾 32只,单只释放于单丛小麦植株(检查清除原有虫卵并疏苗至每丛 20棵)上,以纱网(长×宽×高 = 40cm × 40cm × 60cm)作罩笼,每 2d调查 1次标记各个笼罩内棉铃虫所产的卵,孵化,干瘪,及幼虫发育情况。各个笼罩内棉铃虫雌蛾产卵 2d后回收,标记,待进行稳定同位素碳的检测。

为了解棉铃虫在自然状态下交配的实际状况,从田间采集的雌蛾 2h内即单雌放入小麦田罩笼中——没有进行配对(通过产卵量的观察及其它个体精苞检查可以知道,这一时期田间活动的雌蛾受精率比较高(88%))。

考虑标卵和跟踪幼虫发育的工作量,每笼内小麦疏苗为 20株;为避免落卵太多影响幼虫发育,仅释放雌蛾于罩笼内产卵 2d 把鉴定为同寄主来源的棉铃虫蛾落卵累计起来计算相对产卵量,相对后代数量(从而计算两种来源棉铃虫的整体相对贡献率)并获得各自的孵化率,各龄幼虫存活率及发育历期等。

1.4 稳定同位素碳 $\delta^{13}\text{C}$ 测定

使用菲尼根气谱-质谱联用仪 253型,标准物质采用实验室标准物氨基乙酸或纤维素^[7],测定(接虫实验中)蛾翅碳稳定同位素比值,测试精度为 1‰。

1.5 数据分析

应用 SPSS软件,对两种来源(C₃植物来源的棉铃虫与 C₄植物来源)数量和存活率之间的差异显著性用卡方检验判定,发育进度比较用 LSD检验,显著性差异水平为 0.05。

2 结果与分析

2.1 黑光灯监测

2007年黑光灯监测结果表明,在华北的全年 4代的棉铃虫发生中,相对于第 1、2、3代,越冬代与第 4代数量极少(图 1a);春季羽化的越冬代在 4月 16日见蛾,蛾峰期在 4月下旬到 5月上旬之间(图 1a')。

2.2 杨树把采集棉铃虫

在田间用杨树把采集结果也表明:越冬代羽化的高峰期出现在 4月底 5月初之间,蛾量高峰值出现在 5

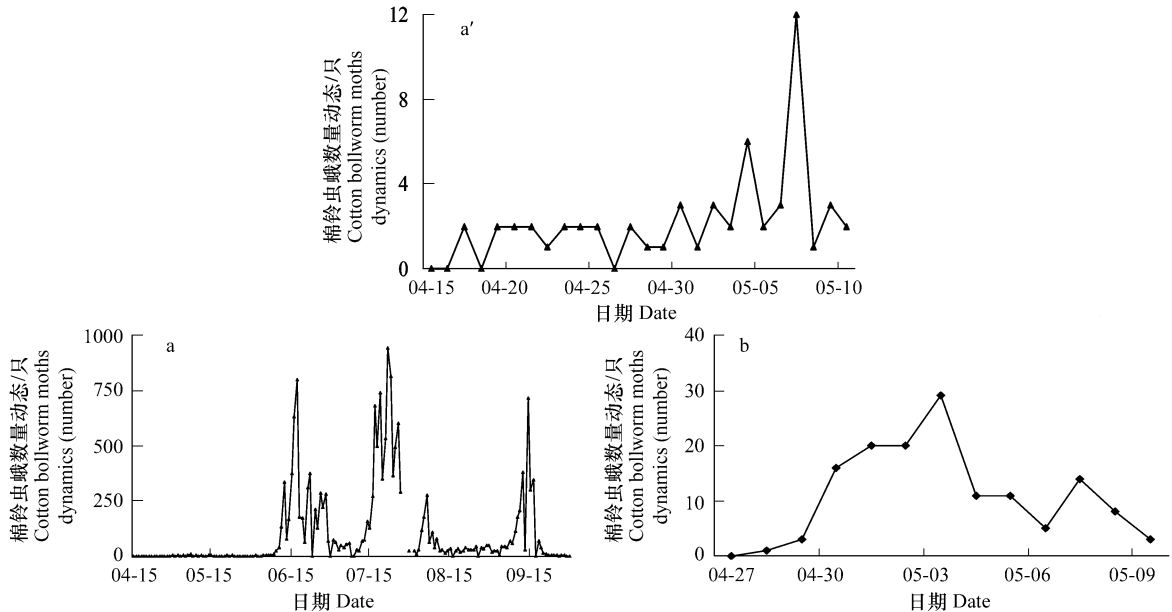


图 1 2007年黑光灯上棉铃虫蛾(a)和越冬代春季羽化棉铃虫数量动态(a')及 2007年杨树把诱集越冬代棉铃虫春季羽化数量动态(b)
Fig 1 Dynamics of CBW moths(a) and spring emergency of CBW for the overwintering generation on black light trap in 2007(a'),
Dynamics of spring emergency of CBW for the overwintering generation on poplar trap in 2007(b)

月3日(图1b)。

2.3 碳稳定同位素比值的测定

根据杨树把采集棉铃虫雌蛾数量动态,测定了小麦田接虫试验中的32只棉铃虫雌蛾翅稳定同位素碳比值,其分布图如图2所示。参考Goull^[7]对美洲棉铃虫的检测结果及对华北棉铃虫的测定数据,蛾翅的稳定同位素碳比值位于 $-29.67 \sim -23.45$, -26.11 ± 1.55 范围的个体被判断为来自 C_3 植物寄主的棉铃虫,共17只;另外,翅样的稳定同位素碳比值位于 $-16.71 \sim -10.92$, -13.09 ± 1.43 范围的个体被视为来自 C_4 植物寄主的棉铃虫,共15只(图2),两来源的蛾量比例无显著差异($\chi^2 = 0.250$, $P = 0.617$)。

2.4 越冬代 C_3 来源个体对第1代各阶段贡献率

从田间对32只越冬代成虫的后代发育调查结果来看, C_3 植物寄主来源的棉铃虫成功越冬并能在来年春天羽化的数量百分比为53.1%,与 C_4 植物寄主来源的棉铃虫相比无显著差异($\chi^2 = 0.250$, $P = 0.617$),产卵总数量百分比为57.9% ($\chi^2 = 61.380$, $P < 0.001$),1龄幼虫后代数量百分比为63.7% ($\chi^2 = 88.067$, $P < 0.001$),3龄幼虫数量百分比为47.9% ($\chi^2 = 0.601$, $P = 0.438$),4龄幼虫百分比为45.5% ($\chi^2 = 2.545$, $P = 0.111$),5龄幼虫百分比为46.9% ($\chi^2 = 0.617$, $P = 0.432$),6龄幼虫百分比为55.1% ($\chi^2 = 1.020$, $P = 0.312$)(图3)。

2.5 越冬代中 C_3 和非 C_3 来源的个体后代发育进度

跟踪调查32只越冬代棉铃虫雌蛾的全部后代发育历期表明, C_3 和 C_4 寄主来源的棉铃虫后代比较而言,落卵时间基本一致($F = 0.553$, $P = 0.463$),发育到老熟幼虫的时间也基本相同($F = 0.085$, $P = 0.772$)。但幼虫发育过程有所不同,来自 C_3 寄主植物棉铃虫后代孵化早($F = 27.498$, $P < 0.001$),在1—3龄发育快,较早进入第3龄($F = 16.946$, $P < 0.001$),在4—6龄发育比较慢,仍然较早进入第4龄($F = 10.595$, $P = 0.001$),而进入第5龄的时间基本一致($F = 0.588$, $P = 0.446$)(图4)。

2.6 越冬代 C_3 和 C_4 来源个体后代发育的累积存活率

C_3 和 C_4 寄主来源的棉铃虫后代比较而言, C_3 来源的卵孵化率高($0.53 > 0.42$) ($\chi^2 = 15.419$, $P < 0.001$),从1龄到3龄存活率将近低一半($0.206 < 0.392$) ($\chi^2 = 24.001$, $P < 0.001$),3到4龄存活率来源都比较高($0.897 < 0.988$) ($\chi^2 = 6.428$, $P = 0.014$),4到5龄存

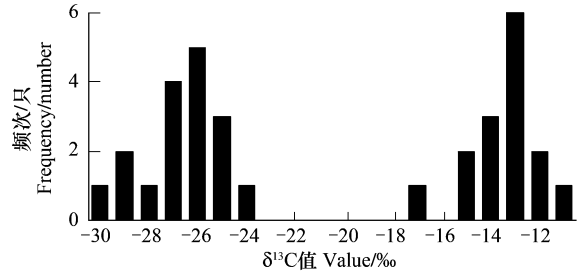


图2 越冬代棉铃虫雌蛾翅稳定同位素碳比值分布图
Fig 2 Distribution plot of the wing $\delta^{13}C$ values for the overwintering generation CBW moths (female)

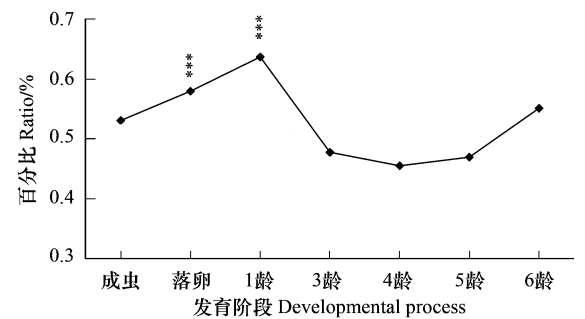


图3 C_3 植物寄主来源的越冬代棉铃虫对第一代各发育阶段贡献比率

Fig 3 Contribution ratio of CBW moths and the progeny from C_3 plant host to the overwintering generation and the 1st generation

*, **, *** 分别表示因子的作用达到了 $P < 0.05$, $P < 0.01$ 和 $P < 0.001$ 的显著水平

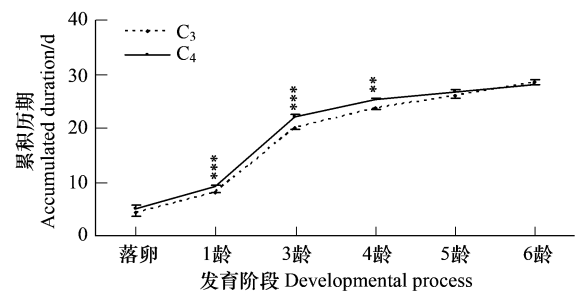


图4 C_3 和 C_4 寄主来源的棉铃虫后代发育进度

Fig 4 Accumulated duration of cotton bollworm larva for progeny of overwintering generation from C_3 and C_4 host plants

*, **, *** 分别表示因子的作用达到了 $P < 0.05$, $P < 0.01$ 和 $P < 0.001$ 的显著水平

活率稍高 ($0.543 > 0.512$) ($\chi^2 = 0.147$, $P = 0.702$), 5到6龄存活率接近显著地高 ($0.711 > 0.512$) ($\chi^2 = 3.339$, $P = 0.068$)。图5显示, C_3 来源的棉铃虫后代卵孵化率高, 低龄幼虫存活率低, 高龄幼虫存活率高, 而整体幼虫阶段存活率稍低 ($7\% < 10\%$) ($\chi^2 = 1.662$, $P = 0.197$)。

3 讨论

试验对越冬代棉铃虫的虫源性质的进行了初步研究, 结果显示, 2007年华北地区春季羽化的越冬代棉铃虫种群来自 C_3 寄主植物 (主要是棉花) 的成虫数量占同期田间活动成虫全部的 53.1%, 其余为 C_4 寄主植物来源 (主要是玉米) 的个体, 表明两类作物来源的越冬代棉铃虫成虫数量比例相近。以往的研究^[11]表明, 来自于棉花和玉米作物的华北第4代棉铃虫成功越冬并在来年春天羽化的比率分别为 28.0% 和 14.5%。综合这些研究的结果, 如果种植面积没有很大变化, 那么两类寄主的第4代棉铃虫幼虫阶段数量比例大致为 1:1.70 即第4代棉铃虫主要为 C_4 (玉米等) 上的种群。说明在华北棉铃虫第4代, 作为 Bt 敏感棉铃虫的天然庇护所的玉米等作物还能够提供大量的敏感个体稀释 Bt 棉田中可能产生的抗性基因。

与室内试验相比较^[11-12], 本实验越冬代棉铃虫后代在春小麦上的生长发育历期偏长, 各龄期存活率远低于室内试验观察的比率, 推测原因主要有两方面: 所饲喂的材料不同, 寄主植物的繁殖器官营养价值高能导致幼虫较高的存活率; 另外, 室内试验设定的较高温度会导致较快的发育, 而在早春田间气温远远低于室内试验中设定的温度。试验中还观察到低龄幼虫发育缓慢, 高龄期发育相对较快, 这可能与环境温度逐渐上升相关。两类幼虫的发育进度和死亡率比较而言是发育快, 死亡率就高一些, 或许可以解释为种群里那些发育过快的容易死掉, 剩下发育相对较慢, 而营养良好的个体决定着发育进度。有研究显示, 取食不同寄主植物的棉铃虫体内羧酸酯酶活性不仅存在量的差异, 而且存在质的差异, 寄主植物对棉铃虫谷胱甘肽 S 转移酶, 乙酰胆碱酯酶活性有显著影响^[13], 而昆虫体内酶活性的差异是否会造成后代适合度的差异, 从而影响了卵孵化率, 幼虫发育进度及各阶段存活率还有待研究。另外, 研究结果还表明来自不同寄主作物的棉铃虫后代幼虫不同龄期在小麦上的发育表现差别显著, 但幼虫发育累积历期和最后存活率在整体上没有显著区别。换言之, 上一代的幼虫期寄主类型会影响到下一代的幼虫各龄期对寄主的反应, 但整体上没有显著区别, 说明整体适合度没有显著差别。

结果显示, C_3 和 C_4 寄主植物来源的棉铃虫对春季第1代的贡献率大体相当, 越冬代的 C_3 寄主贡献比例在第1代最大是初孵幼虫阶段, 最少是4龄幼虫阶段, 在大龄 (5-6龄) 幼虫阶段所占的比例又有所上升 (在1龄幼虫阶段贡献率最大, 占 63.7%; 到了4龄幼虫阶段贡献下降到最低, 为 45.5%; 以后回升, 老熟幼虫阶段贡献回升为 55.1%)。

综上所述, 2006年的华北越冬代棉铃虫来自 C_3 和 C_4 植物寄主的个体对来年 (2007年) 春天第一代提供的基本相同数量水平的有效 (受精的雌蛾) 成虫个体, 两来源的成虫在春小麦上产卵、生长、发育均没有明显差异。推测在其它年份华北地区两类作物来源的棉铃虫数量比例会因为作物种植面积不同, 耕作制度差异及天气状况变化等原因而有所不同^[8]。本试验初步证实两类寄主来源的棉铃虫后代都对小麦寄主有了相近水平的适合度, 同时它们适应的策略也有些类似, 表现出发育快时, 死亡率高; 发育慢时, 死亡率低等特征。为适应寄主的发育进度, 不同寄主来源的昆虫后代发育都必须在发育进度和存活率之间权衡, 总体上达到一个比较稳定的适应水平。本研究也再次证实了广食性的棉铃虫对寄主的适应性很强, 具有很大的可塑性^[14]。研究结果也提示, 在采用非 Bt 玉米作为庇护所的棉铃虫抗性治理过程中, 对于棉铃虫种群最小的越冬代, 玉米

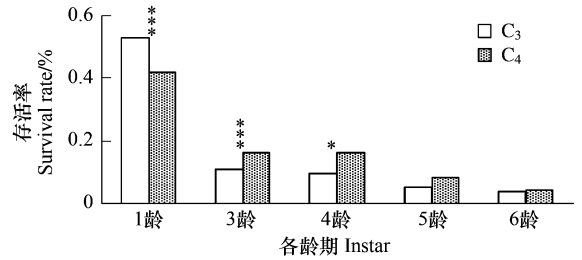


图5 C_3 和 C_4 寄主来源的棉铃虫后代幼虫累积存活率
Fig 5 Accumulative survival rate of larva for progeny of overwintering generation CBW from C_3 and C_4 host plants separately

*, **, *** 分别表示因子的作用达到了 $P < 0.05$, $P < 0.01$ 和 $P < 0.001$ 的显著水平

等 C₄ 作物相对于 Bt 棉花仍然有一个最小的种植面积比例, 这一面积比例或许还会高于第 3 代棉铃虫对庇护所面积的最低要求; 在华北地区现有的各类作物种植面积比例下, C₄ 植物在棉铃虫越冬代中只能提供与 C₃ 植物大体相当数量的成虫个体, 而是否已经接近有效庇护所的最低警戒线有待进一步研究。

References

- [1] Ge F, Chen F J, Parajulee M N, Yarden E N. Quantification of diapausing fourth generation and suicidal fifth generation cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*, in cotton and corn in northern China. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2005, 116(1): 1-7.
- [2] Wu K M, Guo Y Y. The evolution of cotton pest management practices in China. *Annual Review of Entomology*, 2005, 50: 31-52.
- [3] Wu K M, Guo Y Y, Gao S S. Evaluation of the natural refuge function for *Helicoverpa armigera* (Hübner) within Bt transgenic cotton growing areas in north China. *Journal of Economic Entomology*, 2002, 95(4), 8: 32-837.
- [4] Wu K M, Feng H, Guo Y Y. Evaluation of maize as a refuge for management of resistance to Bt cotton by *Helicoverpa armigera* (Hübner) in the Yellow River cotton farming region of China. *Crop Protection*, 2004, 23(6): 523-530.
- [5] Liu Z D, Gong P Y, Wu K J, Li D M. Effects of parental exposure to high temperature on offspring performance in the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae): adaptive significance of the summer diapause. *Applied Entomology and Zoology*, 2004, 39(3): 373-379.
- [6] Ge F. *Principle and Methods of Entomological Ecology*. Beijing: Higher Education Press, 2008.
- [7] Gould F, Blair N, Reid M, Rennie T L, Lopez J, Micinski S. *Bacillus thuringiensis* toxin resistance management: stable isotope assessment of alternate host use by *Helicoverpa zea*. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 2002, 99(26): 16581-16586.
- [8] Wang Z J, Li D M, Xie B Y. Determination and assessment for risk areas of the *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(12): 2642-2652.
- [9] Sun Y C. Causes analysis of firestorm of *Helicoverpa armigera* (Hübner) in Cashi region and management strategies. *China Cotton*, 2001, 3: 38-39.
- [10] Xiao C, Hu C H, Du J W, Zhang Z N. Behavioral responses of adult *Helicoverpa armigera* to the odors of wilted leaves of Chinese wung nut tree, *Pterocarya stanoptera*. *Entomological Knowledge*, 2001, 38(4): 278-281.
- [11] Tang B S. Studies of *Helicoverpa armigera* (Hübner) reared on different host plants. *China Cotton*, 1997, 24(5): 15-16.
- [12] Xia J Y, Ma Y, Wang C Y. Effects of different host plants at various rates of nitrogen fertilizer on development and fecundity of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Entomological Journal*, 1997, 40(spp1): 95-102.
- [13] Wang J J, Dai Z Y. Effects of host plants on the activity of detoxification enzyme in *Helicoverpa armigera*. *Jiangsu Agricultural Research*, 2000, 21(2): 58-61.
- [14] Huang L H, Cheng X N. Research progress on interactions between *Helicoverpa armigera* and cotton. *Entomological Knowledge*, 2001, 38(6): 401-405.

参考文献:

- [6] 戈峰. 昆虫生态学原理与方法. 北京: 高等教育出版社, 2008.
- [8] 王正军, 李典谟, 谢宝瑜. 棉铃虫风险发生区的确定与评估. *生态学报*, 2003, 23(12): 2642-2652.
- [9] 孙运村. 喀什地区棉铃虫大发生原因及其防治对策. *中国棉花*, 2001, 3: 38-39.
- [10] 肖春, 胡纯华, 杜家纬, 张钟宁. 棉铃虫对萎蒿枫杨气味的行为反应. *昆虫知识*, 2001, 38(4): 278-281.
- [11] 唐保善. 不同寄主饲养棉铃虫的研究. *中国棉花*, 1997, 24(5): 15-16.
- [12] 夏敬源, 马艳, 王春义. 不同施肥量的寄主植物对棉铃虫发育与繁殖的影响. *昆虫学报*, 1997, 40(增刊): 95-102.
- [13] 王建军, 戴志一. 寄主植物对棉铃虫体内解毒酶活性的影响. *江苏农业研究*, 2000, 21(2): 58-61.
- [14] 黄立华, 程遐年. 棉铃虫与棉花相互作用研究进展. *昆虫知识*, 2001, 38(6): 401-405.