

# 颗粒体病毒对小菜蛾自然种群的控制作用模拟\*

何余容<sup>1</sup> 吕利华<sup>2\*\*</sup>

(<sup>1</sup>华南农业大学昆虫生态室, 广州 510642; <sup>2</sup>广东省农业科学院植物保护所, 广州 510640)

**【摘要】** 利用作用因子组配的生命表和种群系统控制理论, 模拟了小菜蛾颗粒体病毒不同浓度和不同施用次数组合对菜心地小菜蛾自然种群的控制作用. 结果表明, 在蔬菜生态系统天敌作用得到逐渐恢复的前提下, 如果不采用任何防治措施, 春季菜心地小菜蛾自然种群经第一代的繁殖, 第二代卵和幼虫数量为第一代的 4.1 倍; 在小菜蛾第一代低龄幼虫期, 喷施 0.25 LE/L 病毒 2 次, 小菜蛾第二代卵和幼虫数量比对照显著下降, 但下代小菜蛾种群增长仍保持在 1 以上; 而喷施 0.5 LE/L 病毒 2 次, 1 LE/L 病毒 1 次两种组合处理, 小菜蛾第二代种群增长倍数仅为 0.13, 显著降低田间小菜蛾种群数量, 达到控制小菜蛾为害的目的.

**关键词** 小菜蛾 颗粒体病毒 自然种群 控制

**文章编号** 1001-9332(2005)01-0129-04 **中图分类号** Q968.1 **文献标识码** A

**Simulation of *Plutella xylostella* population control by granulosis virus.** HE Yurong<sup>1</sup>, LÜ Libua<sup>2</sup> (<sup>1</sup>Laboratory of Insect Ecology, South China Agricultural University, Guangzhou 510642; <sup>2</sup>Plant Protection Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2005, 16(1):129~132.

By means of the life table of acting factors combinations and the theory of modern population system control, this paper evaluated the efficacy of different combinations of application dosage and times of granulosis virus on *Plutella xylostella* control. The results showed that with gradually recovered natural enemies, the second generation of *Plutella xylostella* in the field of spring flowering Chinese cabbage would increase 4.1 times if no control methods were carried out to the first generation. After applying a suspension of 0.25LE/L (Larval equivalent) two times, the egg and larval numbers of the second generation *Plutella xylostella* were reduced significantly, but the index of population increase was still beyond 1, while applying a suspension of 0.5 LE/L two times or 1LE/L one time at the peak of 2nd instar larvae of the 1st generation could significantly reduce the egg and larval numbers, and the index of population increase was only 0.13. Therefore, if used appropriately, the granulosis virus originated from *Plutella xylostella* could control the damage of *Plutella xylostella* effectively.

**Key words** *Plutella xylostella*, Granulosis virus, Population control, Simulation.

## 1 引言

小菜蛾(*Plutella xylostella*)是十字花科蔬菜上的一种重要害虫, 广谱性化学杀虫剂的广泛使用, 不仅使小菜蛾产生了严重的抗药性, 而且大量杀伤了天敌, 削弱了生态系统的自然控制作用, 使小菜蛾为害逐年加重, 已成为阻碍十字花科蔬菜生产的主要问题. 小菜蛾颗粒体病毒(*Plutella xylostella* Granulosis Virus (PxGV))是影响小菜蛾种群数量的一个重要生物因子, 对减轻小菜蛾为害有明显效果<sup>[1,11]</sup>. 作为一种杆状病毒, 小菜蛾颗粒体病毒具有较强的专化性, 对其它动物和环境安全, 害虫对其不易产生抗性; 病毒制剂生产容易, 使用方便, 成本低廉; 使用的后效作用非常明显, 患病虫体可成为再次

侵染源, 当遇到适当条件后可造成再次大流行等优点<sup>[14]</sup>. 应用以作用因子组配的生命表方法和干扰作用控制指数, 华南农业大学生态室评价了颗粒体病毒以及与其它生物因子对小菜蛾种群的联合控制作用<sup>[15,16]</sup>, 结果表明, 在大量施用化学杀虫剂、天敌作用尚未恢复的生态系统中, 单独使用颗粒体病毒一次不能有效地控制小菜蛾种群增长. 在小菜蛾颗粒体病毒的实际应用中, 最佳施用浓度和施用次数的确定, 是确保其田间使用效果而又不造成人力物力浪费, 取得较好经济效益的前提条件, 然而这方面的研究至今未见报道. 本文以停止施用化学杀虫剂, 天敌作用得以恢复的春季菜心地小菜蛾自然种群连续

\* 国家自然科学基金重点资助项目(39930120).

\*\* 通讯联系人.

2003-12-12 收稿, 2004-04-16 接受.

世代生命表<sup>[2]</sup>种群为例,利用状态空间方程中的作用因子添加分析法<sup>[8]</sup>,模拟施用颗粒体病毒不同浓度和次数组合对第一代小菜蛾自然种群的控制作用,筛选出田间能有效控制小菜蛾种群增长的颗粒体病毒的最佳施用浓度和次数组合。

## 2 材料与方法

### 2.1 供试材料

**2.1.1 PxGV 菌株来源** PxGV 菌株最初采自于田间感病的小菜蛾幼虫,在室内用小菜蛾幼虫繁殖转接多代,低温保存于华南农业大学昆虫生态室。

**2.1.2 PxGV 的浓度配制** 从冰箱中取出小菜蛾患病死虫,于匀浆器磨碎,以每条4龄幼虫兑水1ml的比例,制成病毒原液,试验过程中再稀释成供试浓度。本研究中PxGV的浓度采用幼虫当量法计量,即以1000ml溶液中含有1头感病的4龄幼虫作为1幼虫当量(Larval equivalent,简称1LE/L),因此本实验中的病毒原液浓度为1000LE/L,加水1000ml后即成了1LE/L的病毒浓度,加水2000ml后即成了0.5LE/L的病毒浓度。

**2.1.3 供试作物** 菜心(*Brassica alboglabra*),供试品种为广东省农业科学院蔬菜研究所出售的“49”菜心,面积约300m<sup>2</sup>。

### 2.2 实验方法

在菜心地小菜蛾二龄幼虫高峰期,选择浓度为0.25LE/L、0.5LE/L、1LE/L的PxGV分别喷施1次或2次,两次施用间隔为4d,每次喷施后的第4天,随机摘取一定数量的各龄幼虫和蛹带回室内培养,逐日观察记录各个虫态的感染率和死亡率,根据庞雄飞<sup>[17]</sup>作用因子添加分析法,统计得到颗粒体病毒不同浓度和次数组合对菜心地小菜蛾种群各虫期的添加作用控制指数AIPC(Addition Index of Population Control)。试验重复3次。

### 2.3 小菜蛾种群系统的结构和控制网络模型

图1的网络模型简明地描述了小菜蛾种群在病毒作用下的网络模型。方框内为小菜蛾种群系统,小菜蛾种群系统按发育阶段划分为7个状态,即卵( $X_E$ )、1龄幼虫( $X_{L1}$ )、2龄幼虫( $X_{L2}$ )、3龄幼虫( $X_{L3}$ )、4龄幼虫( $X_{L4}$ )、蛹( $X_P$ )和成虫( $X_A$ ),各状态间以存活率( $a_E, a_{L1}, \dots, a_A$ )相连。小菜蛾颗粒体病毒作为小菜蛾种群的边界作用因子,以控制信号的形式分散作用于各个相应的状态,即引起各龄幼虫的存活率的降低,进而影响系统的输出。

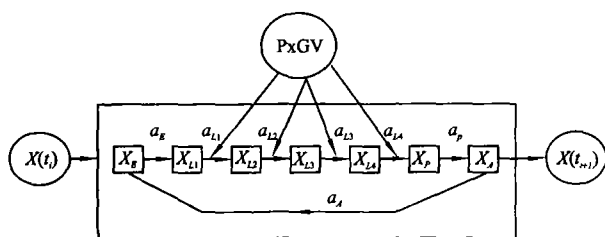


图1 小菜蛾种群系统控制网络模型  
Fig.1 Control model of *Plutella xylostella* population system.

图1中的网络模型如用状态方程来表达,则有:

$$X(t_{i+1}) = (A + B)X(t_i) \tag{1}$$

$$Y(t_i) = CX(t_i) \tag{2}$$

式中, $X(t_{i+1})$ 、 $X(t_i)$ 分别是时间 $t_{i+1}$ 、 $t_i$ 时的状态向量, $A$ 为小菜蛾中种群的系统矩阵, $B$ 为不同浓度和次数组合的小菜蛾颗粒体病毒组成的控制矩阵, $C$ 为输出矩阵。

系统矩阵的标准形式是Leslie矩阵,该矩阵由两大部分组成,第一部分由矩阵中的第一行生殖力向量组成,生殖力向量 $F_i, i = F P_F P_P P_L (i = m, m + 1, \dots, n)$ 。式中 $i$ 为成虫期的状态变量, $m$ 为成虫开始产卵时的状态变量。第二部分为存活率矩阵,由7个分块矩阵组成,除成虫期分块矩阵外,每一分块矩阵均为对角矩阵,细分为1d为单位的等期状态,假定同一虫期内不同状态的数量是均匀分布的,其存活率是相等的,即每一分块矩阵内对角元素的值相等,则 $a_{i1} = a_{i2} = a_{i3} = \dots = a_{ik} = S_i^{1/k}$ 。而成虫期分块矩阵为对角矩阵加上最后一列(全部为零)组成,元素值为1。

控制矩阵与系统矩阵在结构上相同,根据庞雄飞<sup>[3]</sup>作用因子的添加分析法,控制指数 $S_a$ 的输入方式采用乘法输入,得到的结果为 $S_a S_i$ ,即对角矩阵内对角元素的值为: $b_{i1} = b_{i2} = b_{i3} = \dots = b_{ij} = (S_a S_i)^{1/k}$ 。

输出矩阵C为:

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}_{2 \times N}$$

## 3 结果与分析

### 3.1 小菜蛾种群控制系统中各矩阵元素值

不同浓度和施用次数病毒对菜心地小菜蛾种群的控制指数见表1。根据菜心地春季第一代(4~6月)小菜蛾自然种群生命表(表2)调查的小菜蛾各虫期的实际发育历期,以1d作为1个状态变量,将小菜蛾系统的状态变量划分如下(表3);根据生命表中小菜蛾各虫期的存活率,可以得到小菜蛾种群的系统矩阵中各个分块矩阵的元素值(表4),系统矩阵中成虫生殖力向量由室内成虫逐日产卵观察所得(表5)。将各处理组合中病毒作用后的控制指数添加到对应虫期,可以得到其控制矩阵中分块矩阵的对角元素值(表6)。

表1 颗粒体病毒施用浓度和次数组合对小菜蛾种群的添加作用控制指数

Table 1 AIPC of different combination of PxGV dosage and times on *P. xylostella* population

浓度×次数 Dosage × times	添加作用控制指数 AIPC Addition index of population control		
	2龄幼虫 2nd larva	3龄幼虫 3rd larva	4龄幼虫 4th larva
0.25LE/L × 2	0.667	0.444	0.823
0.5LE/L × 1	0.253	0.348	0.510
1LE/L × 1	0.326	0.462	0.353

表 2 春季菜心地小菜蛾第一代自然种群生命表

Table 2 Natural population life table of *P. xylostella* first-generation in the field of flowering Chinese cabbage

虫期(x) Stage	各期存活率 Survival rate
卵 Egg	0.7560
1 龄幼虫 1 <sup>st</sup> larva	0.6590
2 龄幼虫 2 <sup>nd</sup> larva	0.7072
3 龄幼虫 3 <sup>rd</sup> larva	0.8073
4 龄幼虫 4 <sup>th</sup> larva	0.2633
蛹 Pupa	0.3410
成虫期参数 Adult parameter	133.3
种群趋势指数 Index of population increase	3.4

表 3 小菜蛾种群系统状态变量的划分

Table 3 State variables of *P. xylostella* population

虫期 Stages	历期 Duration (d)	变量数 No. of variable	状态变量(X <sup>T</sup> ) State variable
卵 Egg	3	3	X <sub>1</sub> (t), ..., X <sub>3</sub> (t)
1 龄幼虫 1 <sup>st</sup> larva	2	2	X <sub>4</sub> (t), ..., X <sub>5</sub> (t)
2 龄幼虫 2 <sup>nd</sup> larva	2	2	X <sub>6</sub> (t), ..., X <sub>7</sub> (t)
3 龄幼虫 3 <sup>rd</sup> larva	2	2	X <sub>8</sub> (t), ..., X <sub>9</sub> (t)
4 龄幼虫 4 <sup>th</sup> larva	3	3	X <sub>10</sub> (t), ..., X <sub>12</sub> (t)
蛹 Pupa	4	4	X <sub>13</sub> (t), ..., X <sub>16</sub> (t)
成虫 Adult	13	13	X <sub>16</sub> (t), ..., X <sub>29</sub> (t)

表 4 小菜蛾各虫期存活率与系统矩阵中分块矩阵的元素值

Table 4 Survival rates of each *P. xylostella* stage and element of sub-matrix in system matrix

分块矩阵 Sub-matrix	对角元素个数 No. of diagonal elements	虫期存活率 Survival rate	系统矩阵元素值 Elements of system matrix
S <sub>E</sub>	3	0.785	0.922
S <sub>L1</sub>	2	0.697	0.835
S <sub>L2</sub>	2	0.678	0.823
S <sub>L3</sub>	2	0.718	0.848
S <sub>L4</sub>	3	0.240	0.621
S <sub>P</sub>	4	0.205	0.673

### 3.2 小菜蛾颗粒体病毒对小菜蛾种群系统的控制作用模拟

按式(1)和(2)运算,运行 25 d,得到春季菜心地小菜蛾自然种群自第一代幼虫高峰起 25 d 内的卵、

表 5 系统矩阵中的小菜蛾成虫生殖力元素值

Table 5 Reproductive elements in system matrix of *P. xylostella* population

	成虫寿命 Adult longevity (d)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
逐日产卵量 Daily fecundity (eggs·d <sup>-1</sup> )	69.2	61.6	18.7	20.7	20.1	15.2	11.1	5.1	2.7	3.3	4.9	2.4	4.8

表 6 小菜蛾第一代种群控制矩阵中分块矩阵元素值

Table 6 Elements of sub-matrix in system matrix of first-generation *P. xylostella*

分块矩阵 Sub-matrix	对角元素个数 No. of diagonal elements	对照(CK)		0.25×2 LE/L		0.5×1 LE/L		1×1 LE/L	
		S <sub>i</sub>	b <sub>i</sub>	S <sub>i</sub>	b <sub>i</sub>	S <sub>i</sub>	b <sub>i</sub>	S <sub>i</sub>	b <sub>i</sub>
S <sub>E</sub>	3	0.785	0.922	0.785	0.922	0.785	0.922	0.785	0.922
S <sub>L1</sub>	2	0.697	0.835	0.697	0.835	0.697	0.835	0.697	0.835
S <sub>L2</sub>	2	0.678	0.823	0.452	0.672	0.172	0.414	0.221	0.470
S <sub>L3</sub>	2	0.718	0.848	0.319	0.565	0.254	0.504	0.332	0.576
S <sub>L4</sub>	4	0.240	0.621	0.197	0.582	0.122	0.496	0.085	0.439
S <sub>P</sub>	4	0.205	0.673	0.205	0.673	0.205	0.673	0.205	0.673
S <sub>A</sub>	13	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

S<sub>i</sub>:各虫期存活率 Survival rates of each stage; b<sub>i</sub>:控制矩阵元素值 Elements of control matrix.

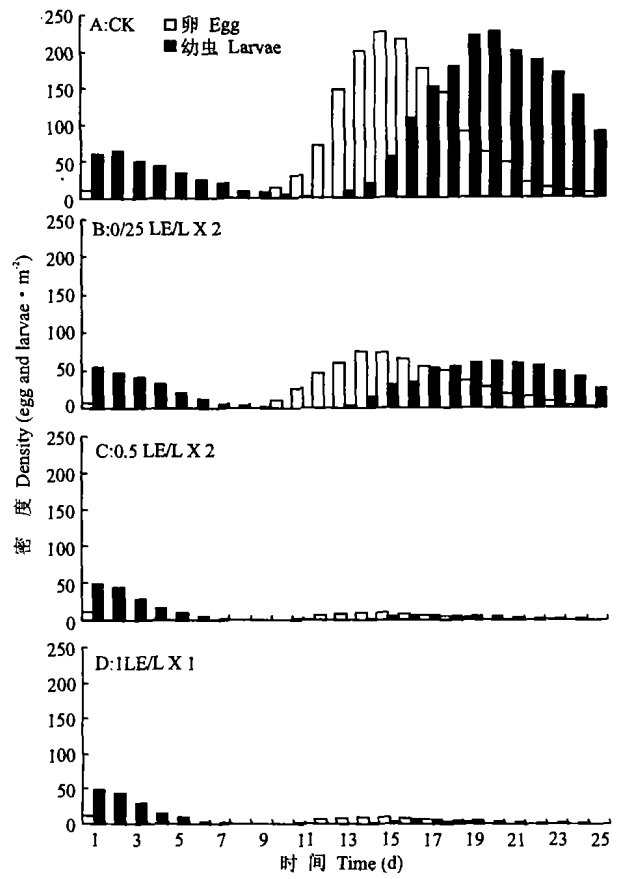


图 2 不同小菜蛾颗粒体病毒的浓度和次数对小菜蛾种群系统的控制模拟

Fig.2 Simulation of population dynamics after *P. xylostella* controlled by various combination of PxGV dosage and time.

幼虫的数量动态,以及作用因子添加后小菜蛾的种群数量动态.动态模拟结果见图 2.

结果表明,如果不采用任何防治措施,春季菜心地小菜蛾种群经第一代的繁殖,下一代幼虫在高峰期时可高达 225 头·m<sup>-2</sup>左右(图 2A),是第一代低龄期时(55 头·m<sup>-2</sup>)的 4.1 倍;在小菜蛾第一代低龄

幼虫期, 喷施 0.25 LE/L 病毒 2 次, 小菜蛾第二代卵和幼虫的数量比对照显著下降, 但小菜蛾幼虫在高峰期时仍可达  $62 \text{头} \cdot \text{m}^{-2}$  左右, 略高于第一代(图 2B), 即下代小菜蛾种群增长仍保持在 1 以上, 而其余两处理组合(0.5 LE/L  $\times$  2 次, 1 LE/L  $\times$  1 次)下代小菜蛾幼虫在高峰期时幼虫数量仅为  $7 \text{头} \cdot \text{m}^{-2}$ , 能显著降低田间小菜蛾种群数量, 使下代小菜蛾的种群增长倍数仅为 0.13, 有效地控制了小菜蛾种群的增长(图 2C、图 2D)。

#### 4 讨 论

在十字花科蔬菜生态系统中, 小菜蛾种群系统受到许多因素的影响, 这些因素分为可控与不可控两类, 其中包括病原微生物在内的生物因素是维持自然生态系统中小菜蛾虫口密度处于低水平的一个重要因子。由于生物因素是可控的, 在维持天敌群落的稳定性、发挥系统自然控制作用的前提下, 在小菜蛾生态系统中通过添加和调控生物因素<sup>[17]</sup>, 可以达到小菜蛾种群控制的目的。

利用颗粒体病毒防治小菜蛾田间试验研究<sup>[3, 6, 7, 9~11, 14]</sup>表明, 小菜蛾颗粒体病毒确实能压低田间小菜蛾种群数量, 但在蔬菜生态环境中天敌作用尚未恢复时, 只有和其它生物措施相结合才能控制小菜蛾种群增长<sup>[16]</sup>, 这主要是由于化学农药杀死了小菜蛾的大多数天敌, 破坏了蔬菜生态系统本来的平衡所致<sup>[5, 6, 8, 12]</sup>。自 1997 年以来, 华南农业大学昆虫生态室致力于蔬菜害虫生态控制的研究, 在深圳龙岗生态示范村, 通过各种生物和非化学方法防治蔬菜害虫。通过多年试验表明, 利用生态控制方法不仅可以有效地控制害虫的为害<sup>[2, 4, 7, 9]</sup>, 同时生态系统中天敌作用也逐渐得到恢复<sup>[10]</sup>。本研究结果表明, 当蔬菜生态系统天敌作用得到逐渐恢复后, 在小菜蛾低龄幼虫期, 单独施用一定浓度的小菜蛾颗粒体病毒(0.5 LE/L  $\times$  2 次, 1 LE/L  $\times$  1 次), 能压低小菜蛾田间种群卵和幼虫的数量, 使下代小菜蛾种群增长保持在 1 以下, 这为小菜蛾颗粒体病毒的田间实际应用提供了科学根据。

在一造菜心上(从种植到收获 50 d 左右), 小菜蛾基本能完成完整的两个世代, 第一代数量较少, 但通过一代的积累, 第二代数量增加, 二代幼虫高峰期正值开花和收获期, 二代幼虫不仅对菜心造成直接为害, 而且造成外观质量的损失, 使菜心的经济价值降低。因此, 在对田间小菜蛾种群实行防治措施时, 最好在发生的第一代就对其进行控制, 通过对一代

的控制作用间接压低第二代的数量, 最终达到既压低虫口又降低为害的目的。

#### 参考文献

- Asayama T. 1986. Pathology and morphogenesis of a granulosis virus of the diamondback moth. In: Talekar NS and Griggs TD, eds. Management of Diamondback Moth and Other Crucifer Pests: Proceedings of the First International Workshop. Taiwan: Asian Vegetable Research and Development Center. 205~212
- Chen K-W (陈科伟), Huang S-S (黄寿山), He Y-R (何余容). 2002. Analysis of the reproductive potential of two *Trichogramma* species on the eggs of diamondback moth. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 22(8): 1293~1296 (in Chinese)
- He Y-R (何余容), Lü L-H (吕利华), Pang X-F (庞雄飞). 2000. Construction and analysis of the natural population life table for continuous generation of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.). *J South China Agric Univ* (华南农业大学学报), 21(1): 34~37 (in Chinese)
- He Y-R (何余容), Lü L-H (吕利华), Pang X-F (庞雄飞). 2000. Simulation of control effectiveness of several parasitoids against population of the diamondback moth (*Plutella xylostella* L.). *J South China Agric Univ* (华南农业大学学报), 21(2): 18~23 (in Chinese)
- Hou YM, You MS, Pang XF, et al. 2002. Characteristics of arthropod community and their diversity restoration in leafy vegetable fields. *Ent Sin*, 9(2): 35~42
- Hou Y-M (侯有明), Pang X-F (庞雄飞), Liang G-W (梁广文), et al. 2000. Arthropod diversity in leafy vegetable field and sampling technology. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 11(5): 753~756 (in Chinese)
- Hou Y-M (侯有明), Pang X-F (庞雄飞), Liang G-W (梁广文), et al. 2001. The evaluation of control effect of plant protector Bioact-T35 against the diamondback moth (DBM) *Plutella xylostella* L. *Ent J East China* (华东昆虫学报), 10(2): 81~85 (in Chinese)
- Hou Y-M (侯有明), Pang X-F (庞雄飞), Liang G-W (梁广文), et al. 2001. Effect of chemical insecticides on the diversity of arthropods in vegetable fields. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 21(8): 1262~1268 (in Chinese)
- Hou Y-M (侯有明), Pang X-F (庞雄飞), Liang G-W (梁广文). 2002. Effects of azadirachtin against the diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Acta Ent Sin* (昆虫学报), 45(1): 47~52 (in Chinese)
- Huang S-S (黄寿山), Chen K-W (陈科伟), Shen S-P (沈叔平). 2002. Natural increase of parasitoids population of diamondback moth *Plutella xylostella* under ecological control condition. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 13(11): 1449~1451 (in Chinese)
- Kadir HA. 1992. Potential of several baculoviruses for the control of diamondback moth and *Crociodomia binotalis* on cabbage. In: Talekar NS ed. Management of Diamondback Moth and Other Crucifer Pests: Proceedings of the Second International Workshop. Taiwan: Asian Vegetable Research and Development Center. 185~192
- Liu X (刘新), You M-S (尤民生). 2003. Construction and important factors analysis of natural life table of diamondback moth, *Plutella xylostella* under pesticides treatment. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 14(8): 1395~1397 (in Chinese)
- Lü H-S (吕鸿声). 1985. Entomo-pathogenic Virus and Virus Disease of Insect. Beijing: China Science and Technology Press. (in Chinese)
- Meng X-L (孟小林), Li G-H (李广宏), Liang D-R (梁东瑞). 1996. Studies on the best formulation of compound microbial insecticides of PxGV and *Bacillus thuringiensis*. In: Integrated Management of Pest in China. Beijing: China Agricultural Press. 731 (in Chinese)
- Mo M-H (莫美华), Pang X-F (庞雄飞). 1999. Evaluation of the effectiveness of PxGV on the population dynamics of *Plutella xylostella* L. *Acta Ecol Sin* (生态学报), 19(5): 724~727 (in Chinese)
- Mo M-H (莫美华), Shen C-P (沈长朋), He Y-R (何余容). 2000. Evaluation the effectiveness of PxGV and other biological control agents on the dynamic of *Plutella xylostella*. *Nat Enemies Insects* (昆虫天敌), 22(1): 26~32 (in Chinese)
- Pang X-F (庞雄飞), Liang G-W (梁广文). 1995. Controls on Population System of Insect Pests. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press. 24~30 (in Chinese)

作者简介 何余容, 女, 1963 年生, 博士, 副教授, 主要从事昆虫生态和害虫生物防治研究, 发表论文 20 多篇. E-mail: yrhe@scau.edu.cn