

褐飞虱种群生命系统管理模型的研究*

綦立正 黄方能 (南京农业大学, 南京 210014)

黄建义 李汝铎 (川沙县植保站, 上海 201201)

【摘要】 本文引用太湖稻区单季晚稻褐飞虱种群动态和为害损失研究的结果,以车厢法(boxcar train)原理为基本框架,建立褐飞虱种群动态模拟模型,并结合Bellman的动态规划最优化原理组建褐飞虱种群生命系统管理模型。经川沙县1984—1989年预测圃资料验证,模型模拟值与田间实查值相当吻合,累积虫量误差在1.4%—16.3%之间,平均11.4%;种群管理的模型决策与实际经验决策的准则不同,造成两种决策结果的差异。

关键词 褐飞虱 管理模型

Studies on management model of population life system of brown planthopper. Qi Lizheng, Huang Fangneng (Nanjing Agricultural University, Nanjing 210014), Huang Jianyi, Li Ruduo (Station of Plant Protection, Chuansha County, Shanghai 201201).-Chin. J. Appl. Ecol., 1991, 2(3): 214—220.

According to the survey data of the population dynamics of brown planthopper (BPH) (*Nilaparvata lugens* Stål) in single late rice fields in Tanhu Lake district of Jiangsu province, the simulating model of population dynamics of BPH was obtained with the frame of boxcar train model presented by Goudriaan (1973). Further, based on the population dynamic model, economic losses of rice and cost of control, the management model of BPH was established with the Bellman dynamic programming method. Simulation results show that the models can well describe the population dynamic process according to the verification with observations of BPH in Chuansha county from 1984 to 1989. The error and average error of accumulative population are 1.4%—16.3% and 11.4% respectively. Because of the difference of standards in judgement, the results of two methods are different between experimental and optimal decisions.

Key words Brown planthopper, Management model.

Heong^[11]、Holt等^[12]建立了2个研究热带稻田褐飞虱 [*Nilaparvata lugens* (Stål)] 种群动态的模拟模型,綦立正等^[8]、黄建义等^[6]、程家安等^[7]着眼于我国太湖稻区,分别建立了单季晚稻和双季晚稻的褐飞虱种群动态模型。这些工作对加深害虫种群与环境因素关系及害虫发生规律的认识起着积极的作用,但对害虫种群的为害损失种管理却涉及不多。

本研究以太湖稻区单季晚稻褐飞虱种群动态的研究为基础,结合种群为害损失率测定,组建成一个服务于褐飞虱数量预测和防治决策的管理模型。现将结果报道如下。

1 自然种群动态及其影响因素概述

太湖稻区单季晚稻褐飞虱最初虫源为随西南季风迁入的南方稻田长翅型成虫,迁入期通常发生在6月下旬至8月上旬,主迁峰出现在7月中、下旬。迁入后种群定居繁衍,吸食为害,虫口数量逐代累积,至水稻孕穗后期虫量

*本研究为国家“七五”重点攻关课题“褐飞虱种群预测与管理模型的研究”内容,丁锦华教授给予悉心指导,王海扣、戚伟同志给予热情帮助,谨致谢意。

本文于1990年7月23日收到。

急骤增加, 扬花灌浆后达到高峰。进入9月后, 随着种群密度的迅速增加, 植株营养状况不断恶化, 气温日渐降低, 田间种群大量分化出具有迁飞能力的长翅型成虫, 在上升气流及高空平流的配合下, 陆续向南方稻区回迁。部分没有迁飞能力的成、若虫则受种群高密度的制约、自然天敌的作用和其他生存环境的恶化, 繁殖、存活率日趋降低, 种群开始消亡。从迁入建立种群到种群最终消失, 一般年份可发生3—4个世代。

田间种群数量变动与外来虫源迁入时间的迟早、迁入数量的多少、定居后的发育速率、生殖能力(包括翅型比例和雌雄比例、雌成虫寿命、个体产卵量及产卵量的时间序列分配等)、存活率及后期长翅型成虫迁出的数量等生命参数有关。这些生命参数则受制于水稻食料、气候、天敌、农事措施(品种、播栽时期、栽插密度、水肥状况、农药施用等)以及种群密度自我调节能力等因素的影响。

2 建模数据、子模型的来源

2.1 实验种群参数

温度、食料条件对褐飞虱实验种群增长影响的数据、子模型, 引自陈若麓等的研究结果^[4], 并参照李汝铎的工作^[3]。在不同食料条件下, 温度与各虫期的发育速率均呈逻辑斯蒂曲线关系。在褐飞虱发生季节, 温度和水稻生育期条件对卵的孵化率无明显影响, 均在92%左右; 若虫成活率、不同翅型雌成虫寿命及总产卵量与温度、食料条件均呈抛物线关系, 即

$$y = a + bx + cx^2$$

式中 x 为温度值或生育期值(秧苗、分蘖、拔节、孕穗和抽穗成熟期取值分别为1—5)。

2.2 田间种群参数

田间种群的生殖力、卵及若虫存活率、成虫寿命、长翅型成虫迁出率等, 引自丁宗泽等^[1,2]的工作。其中, 寄生性天敌引起的寄

生卵量为

$$y = 0.1969x^{0.9311}$$

式中 x 为褐飞虱总卵粒数。1—5龄若虫存活率(y_1 — y_5)与温度 T 的关系为

$$y_1 = 35.4921T - 0.7126T^2 - 353.111$$

$$y_2 = 6.5386T - 0.1584T^2 + 7.1144$$

$$y_3 = 2.7415T - 0.0572T^2 + 35.85$$

$$y_4 = 3.6913T - 0.0727T^2 + 22.0138$$

$$y_5 = 5.408T - 0.112T^2 + 13.7223$$

受天敌等因素影响, 褐飞虱雌成虫在田间平均仅成活8天; 不同日龄雌成虫的累积产卵量为

$$y = (12.54I - 25.4)C/100$$

式中 I 为日龄数, C 为实验种群雌虫在同等温度、食料条件下第8天的累积产卵量。水稻生长后期长翅型成虫的迁出率为

$$y = 100/(1 + 5.88e^{-0.435x})$$

式中 x 为5龄以上虫态的总头数。

翅型比例及雌雄比例来自川沙县植保站1984—1989年预测圃(品种为“秀水04”)3天进行一次粘胶盘拍资料的统计分析。在整个褐飞虱发生季节内, 长翅型成虫占总成虫头数的85%左右; 两种翅型的性比都比较稳定, 长翅型为1:1, 短翅型为1:0.15。

2.3 为害损失参数

都健、丁锦华通过测定蜕重、虫体增重、CO₂释放量、虫体失水量、蜜露排泄量以及雌成虫产卵重量估算出褐飞虱各虫期的总吸食量: 1头1龄若虫为6.596mg, 2龄为12.585mg, 3龄为24.453mg, 4龄为32.925mg, 雌性5龄为58.295mg, 雄性5龄为40.583mg, 长翅型雌虫为206.133mg, 雄虫为45.725mg, 短翅型雌虫为230.755mg, 雄虫为31.985mg。根据以上结果, 用卵巢发育处于幼嫩阶段的短翅型雌成虫分期连续接虫, 测定为害损失情况, 发现褐飞虱对水稻产量造成的损失与虫口密度、吸食量(反映虫龄结构)、水稻生育期等因素相关。水稻一生的累积被害量 x 与吸食量、生育期效应系数的关系为

$$x = \sum_{i=1}^n A_i \sum_{i=1}^i B_i M_i$$

式中 n 为水稻初始受害日至终止受害日的天数, A_j 为第 j 个生育期的效应系数, B_i 为第 i 个虫态(龄)的平均日吸食量, M_i 为第 i 个虫态(龄)的虫量, s 为直接吸食为害的虫态(龄)数。累积被害量与产量损失百分率 y 的关系为

$$y = 4.689 \times 10^{-4} x^{1.0741}$$

关于褐飞虱为害损失率的研究,我们将在另文详细阐述。

2.4 温度资料

模型组建后对川沙县植保站预测圃历史虫情资料作模拟验证所必需使用的温度数据,由川沙县气象站提供。

3 种群管理模型的组建

3.1 种群动态模型

设 y_t 为 t 时刻的种群数量, $x_{t,i}$ 为该时刻影响褐飞虱种群增长的各种内在和外因素,则 $t+1$ 时刻的种群数量 y_{t+1} 应为

$$y_{t+1} = F(y_t, x_{t,i})$$

根据这一原理,应用车厢法(boxcar train)模型^[10]作为构建种群动态模型的基本框架。按照褐飞虱的发育阶段,将种群分为卵、1—5龄若虫、长短翅型成虫共8个状态,每个状态划分为10个年龄等级,整个世代共80个等级。由于许多子模型的因果数量关系是以日历时间作为尺度的,为了便于直接使用,因此在模拟时以日历时间作为计算单位。计算时首先考虑某状态的发育速率,依据发育速率决定发育进程,使状态的各年龄级向前推进。各年龄级在推进的同时还必须考虑:(1)处于卵及1—4龄若虫状态时,推进过程仅考虑存活率子模型;(2)5龄若虫状态不仅考虑存活率,还需计算进入成虫状态后的翅型分化和性别分化情况;(3)成虫状况则需要加入成虫寿命、长短翅型雌虫各年龄级的产卵量、初羽化长翅型成虫迁出率等项参数。

3.2 种群管理的最优化方法

目前太湖稻区防治褐飞虱的主要手段仍为化学防治。参照各地常用农药品种的防治效果、投入费用和稻谷价格,设定产量目标,在上述种群动态模拟时增加防治效果和为害损失运算,并应用Bellman动态规划最优化原理,对防治方案进行决策,实现对种群的管理。

根据褐飞虱发生的地方规律和生产实际,在进行模型设计时作了以下规定:(1)药剂限制在8月15日—9月24日之间施用;(2)每5天为1个决策阶段,每项决策方案只能选择1个农药品种,施用不得超过2次;(3)用纯经济收入的多少作为优化标准,即

$$F_t(V_t) = \max[p \cdot y_i(D_i, V_i) - C_i(V_i)]$$

作为目标函数。式中 F_t 为所有方案中最大的纯经济收入, V_i 为第 i 个决策方案, p 为水稻单价, y_i 为实施该方案后挽回的产量损失, C_i 为实施该方案的投入费用, D_i 为选用该方案后的虫口密度。

4 微机技术处理

以上结果用BASIC语言编制成“褐飞虱预测和管理模型应用系统”,该系统可在IBM-PC及其兼容机上运行,软件环境是CCDOS。程序框图见图1。

本系统具有如下功能。

4.1 全屏幕参数维护

对种群动态、为害损失、防治决策等各项参数根据操作人员的需要,作全屏幕显示,提供功能键,便于查询、修改和新参数文件的生成、贮存,为不熟悉计算机编程人员提供操作、研究条件,有利于模型的通用化。

4.2 种群动态预测

输入种群稳定增长阶段初期(8月上旬)田间各虫态(龄)的基数后,系统自行调用和计算各种参数,并根据用户所选温度资料,实现对褐飞虱种群数量的动态预测。预测结果可以屏

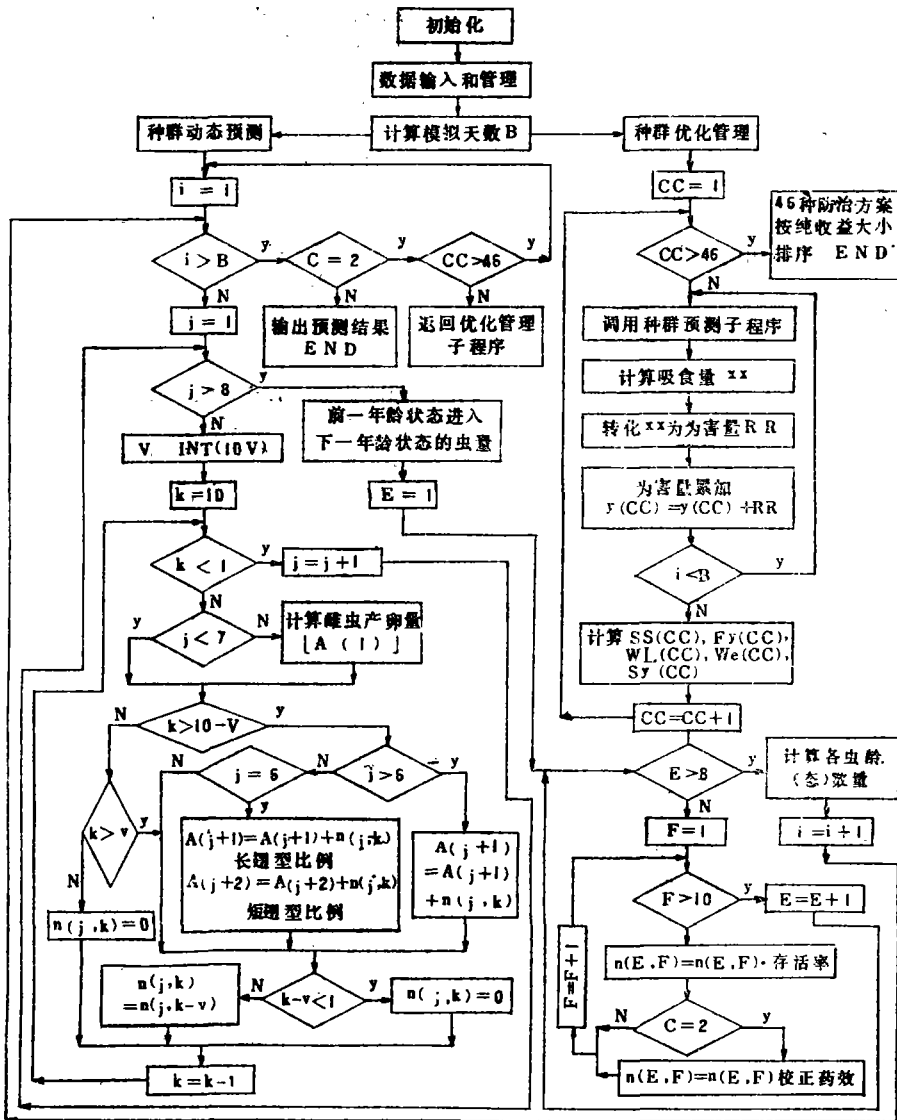


图 1 褐飞虱预测和管理模型应用系统框图

Fig 1. Flow diagram of forecasting and management systems of BPH.

i : 自种群输入日起的天数。 j 或 E : 某虫态(龄), 取值范围为1—8。 k 或 F : 某虫态(龄)的不同年龄组, 取值范围1—10。 v : 某虫态(龄)的发育速率。 $n(j, k)$: 第 j 虫态(龄)第 k 年龄组的虫量。 $A(1) - A(8)$: 前一虫态(龄)进入下一虫态(龄)的数量。 c : 控制预测或管理的开关。 CC : 药剂防治方案。 $ss(CC)$: 第 CC 方案的产量损失。 $FY(CC)$: 第 CC 方案的费用。 $WL(CC)$ 第 CC 方案挽回的产量。 $We(CC)$: 第 CC 方案挽回的金额。 $Sy(CC)$: 第 CC 方案的纯收益。 xx : 吸食量。 RR : 为害量。

Notes: i , number of days from inputting initial population of BPH. j or E : an instar or a stage ($j = 1, 2, \dots, 9$). k or F : an age structure of j ($k = 1, 2, \dots, 10$). v : a development rate. $n(j, k)$: population of j and k . $A(1) - A(8)$: population entered from $j-1$ to j . c : a control key. CC : a scheme for applying pesticides ($CC = 1, 2, \dots, 46$). xx : ingested food of BPH. RR : damaged amount. $ss(CC)$: yield loss of scheme CC . $FY(CC)$: cost of scheme CC . $WL(CC)$: retrieval yield of scheme CC . $We(CC)$: retrieval economic income of scheme CC . $Sy(CC)$: net income of scheme CC .

幕列表、作图、打印和存档4种方式输出。

4.3 优化决策

对用户所选常规农药品种进行46种施用方案的纯经济效益分析,按大小排列输出。

5 模型的验证

5.1 种群动态模拟

图2给出1984—1989年川沙县褐飞虱种群动态模型模拟与实查结果的比较。6年的模拟值与实查值均达到显著相关水平(表1),说明

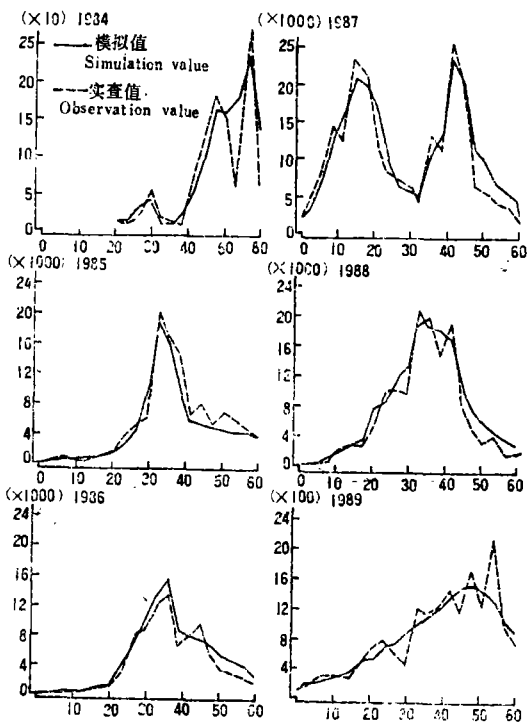


图2 1984—1989年川沙县褐飞虱田间实查值与模型模拟值的比较 横座标为8月10日以后的天数,纵座标为百穴虫量。
Fig.2 Comparison of observation and simulation values from 1984 to 1989 in Chuansha county, Shanghai.

Abscissa represents number of days from Aug.10. Ordinate represents accumulative densities per 100 hills.

种群动态变化趋势基本一致。同日虫量数值也很接近,每年8月10日至10月10日3天一次的百穴虫量累积值误差在1.4%—16.3%之间,平均为11.4%(表2)。

6年资料具有较好的代表性。就发生程度

表1 百穴虫量实查值与模拟值的相关系数及显著性测定
Tab.1 Correlation coefficients of simulation and observation values of accumulative densities per 100 hills and significance tests

年份 Year	相关系数 r Coefficient correlative	显著水平 P Significance level	取样次数 Sampling times
1984	0.86815	<0.01	14
1985	0.97440	<0.01	21
1986	0.98049	<0.01	21
1987	0.94344	<0.01	21
1988	0.96848	<0.01	21
1989	0.89862	<0.01	21

表2 百穴累积虫量的实查值与模拟值比较

Tab.2 Comparison of observation and simulation values of accumulative densities per hills

年份 Year	实查值 Observation value	模拟值 Simulation value	模拟值比实查值相差 Relative error(±%)
1984	1 017	1 149	12.9
1985	114 879	100 022	-12.9
1986	88 893	103 416	16.3
1987	213 272	232 554	9.0
1988	140 605	162 983	15.9
1989	17 298	17 052	-1.4
平均 Average			11.4

而言,1984和1989年为轻发生年,1986年为中等发生年,1985和1988年为大发生年,1987年为特大发生年。就发生期而言,1987年迁入特别早,迁入主峰出现在7月2—4日,为早发年,田间种群出现2个明显的虫量高峰;1984年迁入特别晚,迁入峰出现在8月4日,为迟发年;其余4年迁入期正常,主迁峰出现在7月中、下旬,田间种群仅出现1个虫量高峰。就影响种群增长的主导因素而言,1985年为温度促进型造成大发生;1987和1988年为迁入量大造成大发生。尽管各年发生情况不同,但模拟结果都令人满意,表明模型具有比较广泛的适宜性。

5.2 防治决策模拟

选择1984、1986和1988年分别代表轻发生年、中等发生年和大发生年,以8月10日田间种群密度为初始基数,输入川沙县水稻历年平均单产(7 500kg/ha)、稻谷单价(1元/kg)和

防治费用(63.6元/ha)。模型优化结果表明, 1984年外地虫源迁入晚, 迁入量少, 种群高峰期虫量在防治指标以下, 46种管理方案中以不防治的纯经济收入为最高。1986年在中等发生情况下, 防治决策以9月5日和9月10日2次施药的纯经济收入最高, 可达373.5元/ha; 1988年也以2次用药(9月2日和9月7日)的为最高获益, 达592.65元/ha。以上结果与实际决策相比, 1984年完全一致, 1988年实际防治2次, 时间是9月8日和9月18日, 模型决策施药时间早于经验决策; 1986年实际用药1次, 模型决策要求用药2次。两种决策差异的原因, 将在讨论中分析。

6 讨 论

以褐飞虱种群数量动态模型为基础组建的生命系统管理模型, 模拟田间种群数量动态和农药防治优化决策, 结果与实际情况接近, 表明模型用于太湖稻区单季晚稻对褐飞虱进行预测和管理是适合的。本节仅对模型模拟与实际发生和防治情况之间的差异及模型通用性进行讨论。

6.1 种群动态模拟

图2表明模拟值与实查值仍然存在一定差异, 造成差异的原因主要来自取样调查的误差。褐飞虱在田间分布不均匀, 在水平上呈集团分布^[9], 取样的代表性较难把握; 在垂直分布上虽然多偏于植株基部, 但当水稻孕穗后由于虫量剧增, 不少个体也会棲息、产卵于植株上部^[5], 这些个体在用瓷盘拍查时上盘率必然很低。上述情况造成后期实查曲线时起时伏, 偏离模拟曲线较大。此外, 种群密度制约、天敌及人为栽培等因素对种群影响的研究也不够详尽。随着研究的不断深入, 模型模拟与田间实际发生虫量的吻合程度将不断提高。

6.2 优化决策是与非的辨析

对3年褐飞虱种群管理的优化决策模拟, 仅1984年两种决策完全一致; 而1986年两

种决策具有较大的差异。出现差异的原因, 我们认为可能与两种决策判断标准的不同有关。实际决策亦即专家的经验决策, 其本身即因人们对害虫的发生消长和为害损失的认识水平、各地区经济水准的不同而不同, 通常仅要求田间不出现明显的为害, 有些地区仅要求不发生“冒穿”倒伏为目标。这种靠人的经验进行的害虫管理决策, 通常具有不同程度的盲目性, 当害虫发生较轻时, 对是否施用农药最容易把握; 当虫情发生严重时, 由于能够引起人们的警惕和重视, 决策亦往往认真和周密, 用药次数通常偏多; 当虫情中等发生时, 如何防治则最难把握, 容易产生盲目施药的情况。模型决策则以获得最大纯经济效益为目标, 只要模型使用的各项参数正确可靠, 完全可以排除人为的思考判断能力造成的误差, 是害虫种群科学管理的方向。

根据上述分析, 如果1986年川沙县按照模型决策结果, 在9月5日和10日防治2次, 将会获得8002.5kg/ha的稻谷产量; 扣除防治费用, 将比经验决策每公顷增收373.5元/ha。

6.3 模型的通用化

我国水稻种植区域辽阔, 影响褐飞虱种群增长的生态环境差别很大。为了拓宽模型应用覆盖面积, 适应不同稻区的建模需要, 避免程序编写的重复劳动, 我们将模型源程序与数据分开处理, 模型所用的全部参数以文件形式独立存贮于磁盘之中, 用全屏幕方式进行访问和管理。研究人员只要按照屏幕显示的“菜单”和最下一行提示的功能键操作, 即可便利地进行参数修改, 建立新的参数文件, 适合于新的稻区应用。

主要参考文献

- 1 丁宗泽等. 1987. 褐飞虱种群动态的研究 I. 影响田间种群数量变动的一些生物学参数. 南京农业大学学报, (4): 42—47.
- 2 丁宗泽等. 1988. 太湖稻区褐飞虱天敌及其控制作用. 江苏农业学报, 4(1): 37—42.
- 3 李汝铎. 1984. 温度对褐飞虱种群增长的影响. 植

- 物保护学报, 11(2):101—107.
- 4 陈若麓等. 1986. 褐飞虱种群动态的研究. I. 温度、食料条件对种群增长的影响. 南京农业大学学报, (3):23—33.
 - 5 浦茂华等. 1980. 水稻穗期褐飞虱产卵部位转换观察. 昆虫知识, 17(1):1—3.
 - 6 黄建义等. 1989. Weibull分布函数和Rayleigh密度函数在组建褐飞虱种群预测模型中的应用. 中国水稻科学, 3(2):134—136.
 - 7 程家安等. 1989. 水稻褐飞虱种群动态模拟模型及其有效性检验. 浙江农业大学学报, 15(2):131—136.
 - 8 蒯立正等. 1988. 褐飞虱数量动态预测模型的BASIC程序及其操作. 昆虫知识, 25(5):257—261.
 - 9 蒯立正等. 1988. 褐飞虱稳定增长初期种群空间分布格局及抽样技术的研究. 中国水稻科学, 2(3):117—122.
 - 10 Goudriaan, J. 1973. Dispersion in simulation models of population growth and salt movement in the soil. Neth. J. Agric., Sci., 21:269—281.
 - 11 Heong, K. L. 1982. Population model of the brown planthopper (*Nilaparvata lugens*). MARDL Res., Bull., 10:195—209.
 - 12 Holt, J. et al. 1987. Simulation analysis of brown planthopper (*Nilaparvata lugens*) population dynamics on rice in the Philippines. J. App. Ecol., 24(1):87—102.