

# 腾冲红花油茶果实桃蛀螟的空间分布及抽样技术

蒋 华<sup>1</sup>, 黄佳聪<sup>1\*</sup>, 谢 胤<sup>2</sup>, 余祖华<sup>2</sup>, 杨继萍<sup>3</sup>

(1. 云南省保山市林业和草原技术推广站, 保山 678000; 2. 云南省腾冲市林业和草原技术推广站, 腾冲 679100; 3. 云南省腾冲市林业和草原生态修复站, 腾冲 679100)

**摘要** 为明确桃蛀螟 *Conogethes punctiferalis* 幼虫在腾冲红花油茶 *Camellia reticulata* 果实上的为害、空间分布和理论抽样技术, 对云南省腾冲市 9 块不同腾冲红花油茶林的桃蛀螟幼虫发生量进行标准地调查, 应用聚集度指标法、Iwao 回归分析法和 Taylor 幂法则, 分析桃蛀螟幼虫的空间分布型, 应用 Iwao 理论抽样和序贯抽样技术, 建立最适腾冲红花油茶桃蛀螟幼虫田间调查的抽样模型和抽样数。结果表明, 桃蛀螟对腾冲红花油茶果实的为害率为 3.07%~99.27%, 适生栽培区植株平均受害率达 34.74%, 林间平均虫口密度 0.07~2.49 头/果。桃蛀螟幼虫在腾冲红花油茶林内总体呈均匀分布, 虫口密度越高分布越均匀, 分布的基本成分是个体群, 且个体间相互吸引; 而虫口密度相对较低时呈聚集分布, 聚集原因主要是某些环境因素。进一步分析提出了不同种群密度下桃蛀螟幼虫的理论抽样模型和基于防治指标的序贯抽样技术, 可为科学开展林间桃蛀螟虫口调查和防治工作提供技术支撑。

**关键词** 桃蛀螟; 腾冲红花油茶; 空间分布; 抽样技术

中图分类号: S 431.16, Q 968.1 文献标识码: A DOI: 10.16688/j.zwbh.2021578

## Spatial distribution of *Conogethes punctiferalis* in the fruit of *Camellia reticulata* and sampling technique

JIANG Hua<sup>1</sup>, HUANG Jiacong<sup>1\*</sup>, XIE Yin<sup>2</sup>, YU Zuhua<sup>2</sup>, YANG Jiping<sup>3</sup>

- (1. Forestry and Grassland Technique Promotion Station of Baoshan City, Yunnan Province, Baoshan 678000, China;  
2. Forestry and Grassland Technique Promotion Station of Tengchong City, Yunnan Province, Tengchong 679100, China;  
3. Forestry and Grassland Ecological Restoration Station of Tengchong City, Yunnan Province, Tengchong 679100, China)

**Abstract** In order to clarify the damage, spatial distribution and theoretical sampling technique of *Conogethes punctiferalis* in the fruit of *Camellia reticulata*, the occurrence of *Co. punctiferalis* was investigated in nine different sample plots of *Ca. reticulata* in Tengchong city, Yunnan province. The spatial distribution pattern of *Co. punctiferalis* was analyzed by using the clump intensity index, Iwao regressive analysis and Taylor power law. Iwao theoretical sampling and sequential sampling techniques were used to establish the most suitable sampling model and sampling size for the field investigation of *Co. punctiferalis* in *Ca. reticulata*. The results showed that the damage rate of *Co. punctiferalis* in the fruit of *Ca. reticulata* was 3.07%–99.27%; the average damage rate of plants in the suitable cultivation area was 34.74%, and the average population density in the forest was 0.07–2.49 individual per fruit. The larvae of *Co. punctiferalis* displayed a uniform distribution in the forest of *Ca. reticulata*. The higher the population density, the more evenly distributed. The basic component of distribution was individual groups, and individuals attracted each other. When the population density was relatively low, it showed aggregation distribution, and the aggregation was mainly caused by environmental factors. Further study should include the theoretical sampling model of *Co. punctiferalis* larvae under different population densities and the sequential sampling technique based on control thresholds, which would provide a technical support for scientific investigation of insect populations in the forest and pest control.

**Key words** *Conogethes punctiferalis*; *Camellia reticulata*; spatial distribution; sampling technique

收稿日期: 2021-10-20 修订日期: 2021-11-23

基金项目: 云南省科技特派员项目(202004BK091581)

\* 通信作者 E-mail: bs\_hjc@126.com

腾冲红花油茶 *Camellia reticulata* Lindl 是云南省特有的云南山茶花原始种,属国家二级保护珍稀植物<sup>[1]</sup>,天然分布仅限滇中、滇西海拔 1 600~2 600 m 温凉湿润地区,是一种具有局限性的生态幅物种<sup>[2]</sup>。其树高可达 14~17 m,为中型乔木,可高产优质食用油,目前云南省自然生长与栽植面积近 2 万 hm<sup>2</sup>,是其适生区发展森林绿化及木本油料的重要树种<sup>[2-3]</sup>。然而,随着规模化纯林增多、树龄老化,各类病虫害种类滋生为害严重<sup>[4]</sup>,尤其以桃蛀螟 *Conogethes punctiferalis* Guenée 幼虫蛀果为害对单位面积的果实质量和籽油产值造成的影响最为突出<sup>[5]</sup>,严重影响腾冲红花油茶产业发展及农户经济收入。

桃蛀螟属鳞翅目螟蛾科,国内分布于华北、华南、中南、西南、西北及台湾地区,国外分布于日本、朝鲜、韩国、尼泊尔、越南、缅甸、泰国、马来西亚、印度、斯里兰卡等国家,已知的寄主植物多达 100 余种<sup>[6]</sup>。印度曾报道桃蛀螟是姜科 Zingiberaceae 植物的毁灭性害虫,可导致姜科植物年产量损失 50%<sup>[7]</sup>。在国内该虫对农业生产已造成巨大威胁,山东泰安地区每年因桃蛀螟为害损失板栗 *Castanea mollissima* 高达 25 万 kg 以上,减产 20%<sup>[6]</sup>;黄淮海地区桃蛀螟为害造成玉米 *Zea mays* 产量损失率达 17.71%<sup>[8]</sup>;浙江丽水、金华等地区桃蛀螟对普通油茶 *Camellia oleifera* 果实的为害率高达 31.27%<sup>[9]</sup>。作者于 2017 年—2020 年调查发现,桃蛀螟为害腾冲红花油茶面积达 443 hm<sup>2</sup>,果实受害率 34.74%,造成年产量减少 36.02%(未发表)。因此,研究明确桃蛀螟对腾冲红花油茶的为害特点、空间分布及抽样技术,对该虫的防控工作有十分重要

的意义。

害虫种群的空间分布型是种群的主要属性之一,可分析出害虫种群的发生、猖獗及扩散趋势,在抽样技术、预测预报和科学防治中发挥着重要作用<sup>[10]</sup>。目前,对害虫种群的空间分布型研究主要采用聚集度指标法和回归模型法两种<sup>[11]</sup>,已广泛应用于桃蛀螟在玉米、板栗等经济作物上的空间分布型分析<sup>[12-14]</sup>,以及油茶<sup>[15-16]</sup>、山核桃 *Carya illinoensis*<sup>[17]</sup>、小粒咖啡 *Coffea arabica*<sup>[18]</sup> 等经济作物主要病虫害的空间分布型及抽样技术研究。而关于桃蛀螟在腾冲红花油茶上的空间分布型及抽样技术未见报道,作者于 2020 年采用标准地随机抽样对腾冲红花油茶分布区的桃蛀螟为害特征、空间分布及抽样技术进行了调查研究,以期为该害虫的监测防控提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 研究方法

2020 年 7 月—9 月在云南省保山市 9 个腾冲红花油茶天然分布及人工种植林分内,每林分采用五点取样法,分别设置单块面积大于 800 m<sup>2</sup> 具有代表性的调查样地 5 块,每块标准地内随机调查 30 株,每株树冠东、西、南、北方向随机调查总共 20 个果实,详细记录每株桃蛀螟幼虫的数量和为害情况。

1.2 空间分布型分析方法

1.2.1 聚集度指标法

根据调查数据,计算各林分内调查样株的平均幼虫量( $m$ )和方差( $S^2$ ),计算分析各项聚集度指标,测定桃蛀螟幼虫的空间分布型<sup>[19]</sup>(表 1)。

表 1 聚集度指标计算公式及判别标准<sup>[19]</sup>

| Table 1 Calculation formula and discrimination criteria for aggregation indexes |                             |                               |                                 |                             |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 聚集度指标<br>Aggregation index                                                      | 计算公式<br>Calculation formula | 判别标准 Discrimination criterion |                                 |                             |
|                                                                                 |                             | 均匀分布<br>Uniform distribution  | 聚集分布<br>Aggregated distribution | 随机分布<br>Random distribution |
| 扩散系数(C) Diffusion coefficient                                                   | $C=S^2/m$                   | $C<1$                         | $C>1$                           | $C=1$                       |
| 丛生指数(I) Clumping index                                                          | $I=(S^2/m)-1$               | $I<0$                         | $I>0$                           | $I=0$                       |
| 久野指数(Ca) Cassie index                                                           | $C_a=(S^2-m)/m^2$           | $C_a<0$                       | $C_a>0$                         | $C_a=0$                     |
| 负二项分布参数(k)<br>Negative binomial distribution index                              | $k=m^2/(S^2-m)$             | $k<0$                         | $0\leq k<8$                     | $k\rightarrow+\infty$       |
| 平均拥挤度( $m^*$ ) Mean crowding                                                    | $m^*=m+(S^2/m)-1$           | $m^*<1$                       | $m^*>1$                         | $m^*=1$                     |
| 聚块性指数( $m^*/m$ ) Patchiness index                                               | $m^*/m=1+(S^2-m)/m^2$       | $m^*/m<1$                     | $m^*/m>1$                       | $m^*/m=1$                   |

1.2.2 回归分析法

Iwao 的  $m^*-m$  回归法<sup>[20]</sup>。根据 Iwao 的回归

关系式: $m^*=\alpha+\beta m$ ,由  $\alpha$  和  $\beta$  值分析种群的分布情况。当  $\alpha>0$  时,分布的基本成分为个体群,且个体

间相互吸引;当 $\alpha=0$ 时,分布的基本成分为单个个体;当 $\alpha<0$ 时,个体间相互排斥。当 $\beta>1$ 时,为聚集分布;当 $\beta=1$ 时,为随机分布;当 $\beta<1$ 时,为均匀分布。

Taylor 幂法则<sup>[21]</sup>。根据 Taylor 的回归关系式: $\lg S^2=\lg a+\lg m$ ,式中 $b$ 表示种群聚集度对密度依赖性测量度。当 $\lg a=0,b=1$ 时,种群为随机分布;当 $\lg a>0,b=1$ 时,为聚集分布,种群聚集度不具有密度依赖性;当 $\lg a>0,b>1$ 时,为聚集分布,种群聚集度具有密度依赖性;当 $\lg a<0,b<1$ 时,为均匀分布,种群密度越高分布越均匀。

1.3 聚集原因分析

采用 Blackith 种群聚集均数 $\lambda=mr/2k$ 分析聚集原因,式中, $m$ 为平均虫口密度, $k$ 为负二项分布指数值, $r$ 是自由度为 $2k,0.5$ 概率值对应的卡方值。当 $\lambda<2$ 时,说明个体的聚集是由环境因素引起;当 $\lambda\geq 2$ 时,说明个体的聚集是由昆虫的自身行为习性和环境因素综合作用引起<sup>[22-23]</sup>。

1.4 理论抽样数的确定

1.4.1 理论抽样技术

采用 Iwao 提出的理论抽样数计算公式: $N=(t/D)^2[(\alpha+1)/m+\beta-1]$ ,计算出腾冲红花油茶桃蛀螟幼虫在不同允许误差下不同虫口密度的最适理论抽样数。公式中, $N$ 为理论抽样数, $D$ 为允许误差(取 $D=0.1,0.2,0.3$ ), $t$ 为保证可靠概率为 $95\%$ 条件下的正态离差值(取 $t=1.96$ ), $\alpha,\beta$ 为 Iwao 回归关系式 $m^*=\alpha+\beta m$ 对应的值<sup>[22-23]</sup>。

1.4.2 序贯抽样技术

采用 Iwao 提出的序贯抽样理论公式: $T_{(n)}=$

$nm_0\pm t\sqrt{n[(\alpha+1)m_0+(\beta-1)m_0^2]}$ ,在指定的防治指标下建立序贯抽样模型,制定序贯抽样表,并以此作为制定防治决策的依据。公式中: $T_{(n)}$ 为理论抽样数上下限, $n$ 为田间累积抽样数, $m_0$ 为达到防治指标的种群密度, $t$ 为相应置信度下的分布值, $\alpha,\beta$ 为 Iwao 的线性回归模型中的参数。抽样过程中,若虫量大于上限则表明种群密度高于防治指标,若虫量低于下限则表明种群密度低于防治指标,若虫量处于上下限之间需继续抽样<sup>[22-23]</sup>。

2 结果与分析

2.1 桃蛀螟幼虫在腾冲红花油茶果实上的发生为害

调查结果显示,腾冲红花油茶果实成熟期的 9 块林中均不同程度发生桃蛀螟幼虫为害,各林分平均虫口密度范围为 $0.07\sim 2.49$ 头/果,果实受害率为 $3.07\%\sim 99.27\%$ ,二者具有显著相关性( $R^2=0.9784,P<0.001$ ,表 2,图 1)。对不同海拔段桃蛀螟幼虫种群密度及果实受害率分析结果表明,海拔 $1\,250\sim 1\,600\text{ m}$ 的腾冲红花油茶林分内幼虫种群密度为 $0.07$ 头/果,果实受害率为 $3.07\%$ ;海拔 $1\,650\sim 1\,980\text{ m}$ 林分幼虫种群密度为 $1.63$ 头/果,果实受害率为 $65.33\%$ ;海拔 $2\,025\sim 2\,300\text{ m}$ 林分幼虫种群密度为 $0.31$ 头/果,果实受害率为 $12.83\%$ 。3 个海拔段的桃蛀螟幼虫种群密度及果实受害率均存在显著差异( $P<0.05$ ,图 2),该虫在 $1\,650\sim 1\,980\text{ m}$ 海拔段的种群密度及果实受害率显著高于其余海拔段, $1\,250\sim 1\,600\text{ m}$ 海拔段的种群密度及果实受害率最低。

表 2 桃蛀螟在腾冲红花油茶林分中的发生为害情况<sup>1)</sup>

Table 2 Occurrence and damage of *Conogethes punctiferalis* in *Camellia reticulata* forest stands

| 林分编号<br>Stand no. | 地名<br>Place name | 年均温/℃<br>Annual mean temperature | 海拔/m<br>Altitude | 寄主面积/hm <sup>2</sup><br>Area of host plant | 果实受害率/%<br>Fruit damage rate | 虫口密度/头·果 <sup>-1</sup><br>Insect population density | 为害程度<br>Severity |
|-------------------|------------------|----------------------------------|------------------|--------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------|
| 1                 | 腾越镇西山坝           | 14.5                             | 1 680~1 850      | 21                                         | 99.27                        | 2.49                                                | +++              |
| 2                 | 马站乡和睦村           | 13.8                             | 1 900~1 980      | 100                                        | 55.53                        | 1.13                                                | +++              |
| 3                 | 马站乡朝云村           | 13.2                             | 2 070~2 100      | 60                                         | 30.43                        | 0.67                                                | ++               |
| 4                 | 固东镇鸦乌山           | 13.9                             | 1 950~1 970      | 24                                         | 70.03                        | 1.92                                                | +++              |
| 5                 | 中和镇中营村           | 13.3                             | 1 880~1 920      | 24                                         | 33.50                        | 0.98                                                | ++               |
| 6                 | 中和镇新歧村           | 12.1                             | 2 180~2 300      | 8                                          | 12.73                        | 0.36                                                | +                |
| 7                 | 沙坝林场             | 12.8                             | 2 050~2 180      | 200                                        | 4.23                         | 0.11                                                | +                |
| 8                 | 团田乡弄玲村           | 17.3                             | 1 250~1 400      | 5                                          | 3.07                         | 0.07                                                | +                |
| 9                 | 团田乡清凉寺           | 13.3                             | 2 025~2 050      | 3                                          | 3.90                         | 0.10                                                | +                |

1) +表示轻度为害,++表示中度为害,+++表示重度为害。  
+ indicates slight damage; ++ indicates moderate damage; +++ indicates severe damage.

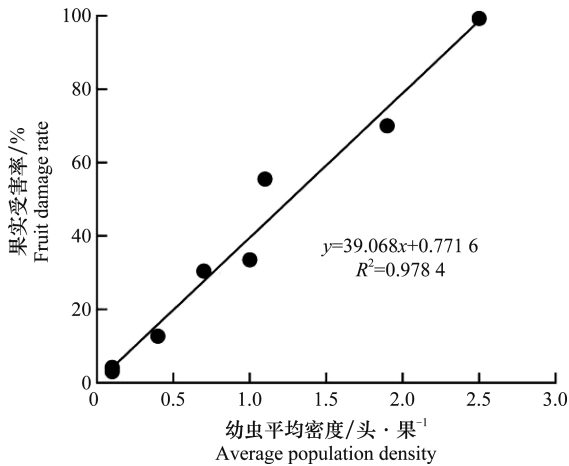


图 1 桃蛀螟幼虫密度与果实受害率的关系

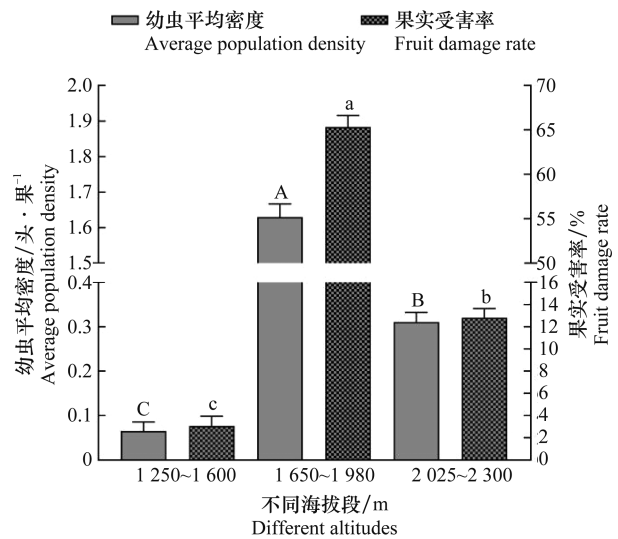
Fig. 1 Relationships between *Conogethes punctiferalis* larval density and fruit damage rate

2.2 桃蛀螟幼虫的空间分布型

2.2.1 聚集度指标分析

桃蛀螟幼虫在腾冲红花油茶所有调查林分内聚集度指标分别为  $C<1$ 、 $I<0$ 、 $C_a<0$ 、 $k<0$ 、 $m^*<1$ 、 $m^*/m<1$ ，表明该虫在腾冲红花油茶整体上呈均匀分布。在调查的 9 个林分中，1~5 林分的桃蛀螟幼虫聚集度指标  $C<1$ 、 $I<0$ 、 $C_a<0$ 、 $k<0$ 、 $m^*/m<1$ ，说明在 1~5 各林分内桃蛀螟幼虫的空间分布型为均匀分布；6~9 林分的聚集度指标  $C>1$ 、

$I>0$ 、 $C_a>0$ 、 $m^*<1$ 、 $m^*/m>1$ ，并且  $0<k<8$ ，说明在 6~9 各林分内桃蛀螟幼虫的空间分布型为聚集分布（表 3）。



图中数据为平均值±标准误。柱上的不同大、小写字母分别表示不同海拔段间的虫口密度、果实受害率经LSD多重比较后在0.05水平差异显著

Data in the figure are mean±SE. Different lowercase and capital letters indicate significant difference in the population density and fruit damage rate at different altitudes, respectively, at 0.05 level by LSD test

图 2 不同海拔段桃蛀螟幼虫的发生与为害

Fig. 2 Occurrence and damage of *Conogethes punctiferalis* larvae at different altitudes

表 3 腾冲红花油茶林分中桃蛀螟幼虫聚集度指标

Table 3 Aggregation indices of *Conogethes punctiferalis* larvae in *Camellia reticulata* forest stands

| 林分编号<br>Stand no. | 平均密度/<br>头·果 <sup>-1</sup><br>Average density | 方差 S <sup>2</sup><br>Variance | C       | I        | C <sub>a</sub> | k        | m <sup>*</sup> | m <sup>*</sup> /m | 种群聚集均数 λ<br>Average population<br>aggregation index |
|-------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|---------|----------|----------------|----------|----------------|-------------------|-----------------------------------------------------|
| 1                 | 2.49                                          | 0.528                         | 0.212 0 | −0.788 0 | −0.316 4       | −3.161 0 | 1.703 0        | 0.683 6           | —                                                   |
| 2                 | 1.13                                          | 0.449                         | 0.398 2 | −0.601 8 | −0.533 7       | −1.873 7 | 0.525 9        | 0.466 3           | —                                                   |
| 3                 | 0.67                                          | 0.244                         | 0.366 0 | −0.634 0 | −0.951 0       | −1.051 5 | 0.032 7        | 0.049 0           | —                                                   |
| 4                 | 1.92                                          | 0.482                         | 0.251 1 | −0.748 9 | −0.390 2       | −2.562 9 | 1.170 4        | 0.609 8           | —                                                   |
| 5                 | 0.98                                          | 0.415                         | 0.423 8 | −0.576 2 | −0.588 4       | −1.699 5 | 0.403 1        | 0.411 6           | —                                                   |
| 6                 | 0.36                                          | 0.427                         | 1.176 3 | 0.176 3  | 0.485 7        | 2.058 9  | 0.539 3        | 1.485 7           | 0.295 9                                             |
| 7                 | 0.11                                          | 0.112                         | 1.043 8 | 0.043 8  | 0.408 2        | 2.449 6  | 0.151 1        | 1.408 2           | 0.095 3                                             |
| 8                 | 0.07                                          | 0.066                         | 1.015 4 | 0.015 4  | 0.236 7        | 4.225 0  | 0.080 4        | 1.236 7           | 0.056 5                                             |
| 9                 | 0.10                                          | 0.124                         | 1.162 1 | 0.162 1  | 1.519 6        | 0.658 1  | 0.268 8        | 2.519 6           | 0.036 9                                             |
| 1~9               | 0.87                                          | 0.740                         | 0.851 0 | −0.149 0 | −0.171 4       | −5.834 9 | 0.720 6        | 0.828 6           | —                                                   |

2.2.2 Iwao 和 Taylor 回归分析

根据桃蛀螟幼虫在腾冲红花油茶各林分的虫口密度调查结果，将 1~5 林分定为高虫口林分，6~9 林分定为低虫口林分，分别建立 Iwao 和 Taylor 回归模型（表 4）。结果显示，在虫口密度高的林分  $\alpha>0$ 、 $\beta<1$ ，表明桃蛀螟幼虫呈均匀分布，分布的基本成分是个体群，且个体间相互吸引；同时  $\lg\alpha<0$ 、 $b<1$ ，也同样表明桃蛀螟幼虫呈均匀分布，并且虫口密度越高分布

越均匀。在虫口密度低的林分  $\alpha>0$ 、 $\beta>1$ ，表明桃蛀螟幼虫呈聚集分布，分布的基本成分是个体群，且个体间相互吸引； $\lg\alpha>0$ 、 $b>1$ ，表明种群呈聚集分布，并且具有密度依赖性，幼虫聚集度随虫口密度的升高而上升。从整体林分构建的模型上看， $\alpha>0$ 、 $\beta<1$  且  $\lg\alpha<0$ 、 $b<1$ ，说明桃蛀螟幼虫在腾冲红花油茶林分整体上呈均匀分布，且虫口密度越高分布越均匀。同时，也验证了聚集度指标分析结果。

表 4 腾冲红花油茶桃蛀螟幼虫的 Iwao 和 Taylor 回归模型

Table 4 The Iwao and Taylor models of *Conogethes punctiferalis* larvae in *Camellia reticulata* forest stands

| 林分编号<br>Stand no. | 划分类型<br>Division type     | Iwao $m^* - m$ 模型<br>Iwao's $m^* - m$ model       |  | Taylor 幂法则<br>Taylor's power law                            |  |
|-------------------|---------------------------|---------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------|--|
|                   |                           |                                                   |  |                                                             |  |
| 1~5               | 高虫口林分 High-density stands | $m^* = 0.506\ 9 + 0.886\ 6m$ ( $R^2 = 0.996\ 6$ ) |  | $\lg S^2 = -0.441\ 7 + 0.497\ 7 \lg m$ ( $R^2 = 0.754\ 5$ ) |  |
| 6~9               | 低虫口林分 Low-density stands  | $m^* = 0.032\ 8 + 1.415\ 0m$ ( $R^2 = 0.915\ 1$ ) |  | $\lg S^2 = 0.108\ 6 + 1.076\ 7 \lg m$ ( $R^2 = 0.996\ 2$ )  |  |
| 1~9               | 整体林分 Overall stands       | $m^* = 0.026\ 6 + 0.592\ 3m$ ( $R^2 = 0.843\ 2$ ) |  | $\lg S^2 = -0.414\ 4 + 0.534\ 3 \lg m$ ( $R^2 = 0.868\ 1$ ) |  |

2.2.3 聚集原因分析

根据 Blackith 种群聚集均数  $\lambda$  理论公式<sup>[22-23]</sup>计算得到,桃蛀螟幼虫在腾冲红花油茶 6~9 林分中的种群聚集均数  $\lambda$  均小于 2(表 3),表明桃蛀螟幼虫在腾冲红花油茶林分中的聚集可能是由某些环境因素作用引起的,比如树龄、挂果量、海拔、温度等。

2.3 抽样技术

2.3.1 理论抽样数模型

根据 Iwao 提出的理论抽样数计算公式,将腾冲红花油茶整体调查林分桃蛀螟幼虫种群的 Iwao 回归模型  $\alpha = 0.026\ 6, \beta = 0.592\ 3$  代入理论抽样公式

得到桃蛀螟幼虫的最适理论抽样模型为  $N = (3.84/D^2)(1.026\ 6/m - 0.407\ 7)$ 。基于该模型,可计算出当允许误差  $D$  为 0.1、0.2、0.3 时,桃蛀螟幼虫在相应虫口密度  $m$  时的最适理论抽样数  $N$ (表 5)。

2.3.2 序贯抽样技术

根据 Iwao 提出的序贯抽样计算公式,已知  $\alpha = 0.026\ 6, \beta = 0.592\ 3$ ,初步拟定防治指标  $m_0$  为 0.3 头/果,得到桃蛀螟幼虫的序贯抽样模型为  $T_{(n)} = 0.3n \pm 1.020\ 9\sqrt{n}$ ,根据模型制定桃蛀螟幼虫序贯抽样表(表 6)供防治参考。抽样过程中,若幼虫数量大于上限,则需要防治;若虫量小于下限则不需要防治;若虫量处于上下限之间则需继续抽样。

表 5 腾冲红花油茶林分内不同虫口密度桃蛀螟幼虫的理论抽样数

Table 5 Theoretical sampling sizes of *Conogethes punctiferalis* larvae at different population densities

| 允许误差 D<br>Permissible variation | 虫口密度/头·果 <sup>-1</sup> Larval density |       |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------------|---------------------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                 | 0.1                                   | 0.3   | 0.6 | 0.9 | 1.2 | 1.5 | 1.8 | 2.1 | 2.4 |
| 0.1                             | 3 786                                 | 1 158 | 501 | 282 | 172 | 106 | 63  | 31  | 8   |
| 0.2                             | 946                                   | 289   | 125 | 70  | 43  | 27  | 16  | 8   | 2   |
| 0.3                             | 421                                   | 129   | 56  | 31  | 19  | 12  | 7   | 4   | 1   |

表 6 腾冲红花油茶桃蛀螟幼虫种群序贯抽样表

Table 6 Sequential sampling table of *Conogethes punctiferalis* larval population in *Camellia reticulata* forest stands

| 抽样果数(n)/个<br>Number of sampled fruits | 累计幼虫数/头<br>Accumulative number of larvae |                        | 抽样果数(n)/个<br>Number of sampled fruits | 累计幼虫数/头<br>Accumulative number of larvae |                              |
|---------------------------------------|------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------|
|                                       | 上限 $T_{1(n)}$<br>Upper                   | 下限 $T_{2(n)}$<br>Lower |                                       | 上限 $T_{1(n)}$<br>Upper limit             | 下限 $T_{2(n)}$<br>Lower limit |
|                                       |                                          |                        |                                       |                                          |                              |
| 20                                    | 11                                       | 1                      | 120                                   | 47                                       | 25                           |
| 30                                    | 15                                       | 3                      | 130                                   | 51                                       | 27                           |
| 40                                    | 18                                       | 6                      | 140                                   | 54                                       | 30                           |
| 50                                    | 22                                       | 8                      | 150                                   | 58                                       | 32                           |
| 60                                    | 26                                       | 10                     | 160                                   | 61                                       | 35                           |
| 70                                    | 30                                       | 12                     | 170                                   | 64                                       | 38                           |
| 80                                    | 33                                       | 15                     | 180                                   | 68                                       | 40                           |
| 90                                    | 37                                       | 17                     | 190                                   | 71                                       | 43                           |
| 100                                   | 40                                       | 20                     | 200                                   | 74                                       | 46                           |
| 110                                   | 44                                       | 22                     | 210                                   | 78                                       | 48                           |

3 结论与讨论

粮油安全是关乎民生的重大战略问题,保障腾冲红花油茶等木本油料安全生产对粮油健康发展及山区农林增收至关重要<sup>[2,5,9]</sup>。本研究发现,桃蛀螟可严重为害腾冲红花油茶果实造成减产,对油茶产

业构成了威胁。滇西主要栽培及分布区油茶果受害率为 3.07%~99.27%,虫口密度为 0.1~2.5 头/果,平均受害率达 34.74%,发生量远高于桃蛀螟对国内部分省区的普通油茶及其他经济作物的为害<sup>[8,9,12-14]</sup>。因此,需及时开展该害虫在腾冲红花油茶主产区的种群监测,掌握害虫的空间分布及抽样

技术,指导做好害虫的监测防控。

本研究通过 6 个不同聚集度指标并应用  $Iwao\ m^* - m$  回归模型和 Taylor 幂法则分析结果均表明,桃蛀螟幼虫在滇西腾冲红花油茶的适生及栽培区内总体呈均匀分布,分布的基本成分是个体群,且个体间相互吸引,虫口密度越高分布越均匀;而虫口密度相对较低时呈聚集分布,聚集原因主要是由某些环境因素引起的。研究结果与前人在浙江普通白花油茶桃蛀螟幼虫的分布及为害调查结果类似<sup>[9]</sup>,但与桃蛀螟幼虫在板栗果实上呈高度聚集的结果有明显不同<sup>[14]</sup>,这可能与桃蛀螟对不同寄主植物果实营养成分及挥发物的选择行为有关<sup>[24-25]</sup>。

选择合理的抽样技术既能有效提高调查质量,还能节约人力物力资源,对害虫的监测与防治工作具有重要的指导意义<sup>[22]</sup>。本研究通过对滇西腾冲红花油茶桃蛀螟幼虫空间分布型分析,建立了适应滇西地区开展腾冲红花油茶桃蛀螟的监测调查理论抽样数模型和序贯抽样模型。基于桃蛀螟幼虫整体呈均匀分布的研究结果,实践中,调查员可根据理论抽样模型计算理论抽样数,例如在桃蛀螟幼虫种群密度为 0.6 头/果的林分(果实受害率约为 30%),建议每林分调查 501 个果实,可保证误差 $\leq 0.1$ ;种群密度达到 1.2 头/果的林分(果实受害率约为 50%),建议每林分调查 172 个果实,可保证误差 $\leq 0.1$ ;既可避免调查工作量大,又可保证调查结果精准。同时,可基于指定的防治指标按照序贯抽样模型及抽样表开展虫量调查,来决定是否需要进行防治作业。本文所用的桃蛀螟幼虫的防治指标阈值(0.3 头/果),来自前期大量的调查分析拟定,目前国内外没有关于桃蛀螟为害油茶类型树种的防治阈值界定。我们在调查中发现当林分内虫口密度达到拟定指标时,果实受害率超过 10%,并极易引起果实炭疽病的发生和大量落果,所以建议该虫在腾冲红花油茶上的防治指标采用 0.3 头/果。由于桃蛀螟幼虫对腾冲红花油茶果实的为害受立地环境、气候条件及天敌种类等多种因素影响<sup>[6,9]</sup>,防治指标应充分结合实际及相关考核指标,进一步研究和优化序贯抽样技术。

## 参考文献

- [1] 冯国楣. 云南山茶花[M]. 昆明: 云南人民出版社, 1981.
- [2] 黄佳聪, 何俊, 尹瑞萍, 等. 腾冲红花油茶自然和人工种群种实性状变异研究[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(5): 94-101.
- [3] 陈璐, 赵琳, 李甜江, 等. 云南省油茶产业发展概况[J]. 山东林业科技, 2012(5): 112-116.
- [4] 伍建榕, 穆丽娇, 林梅, 等. 滇西地区红花油茶主要病虫害种类调查[J]. 中国森林病虫, 2012, 31(1): 22-26.
- [5] 黄佳聪, 阚欢, 伍建榕. 腾冲红花油茶栽培与籽油制取技术[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 112-120.
- [6] 鹿金秋, 王振营, 何康来, 等. 桃蛀螟研究的历史、现状与展望[J]. 植物保护, 2010, 36(2): 31-38.
- [7] KOYA K M A, BALAKRISHNAN R, DEVASAHAYAM S, et al. Assessment of yield loss caused by ginger shoot borer *Dichrocis punctiferalis* Guenée [R]. Annual report 1985, Central Plantation Crops Research Institute, India, 1985:173-181.
- [8] 杨硕, 石洁, 张海剑, 等. 桃蛀螟为害夏玉米果穗对产量的影响[J]. 植物保护学报, 2015, 42(6): 991-996.
- [9] 王芳, 付红梅, 胡松余, 等. 油茶桃蛀螟生物学特性及灯光诱杀技术研究[J]. 浙江林业科技, 2020, 40(4): 54-59.
- [10] 张孝羲. 昆虫生态及预测预报[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2002: 84-124.
- [11] 于新文, 刘晓云. 昆虫种群空间分布格局的研究方法评述[J]. 西北林学院学报, 2001, 16(3): 83-87.
- [12] 周洪旭, 乔晓明, 孙立宁. 桃蛀螟越冬幼虫在玉米田的空间格局[J]. 华北农学报, 2004, 19(3): 106-109.
- [13] 黄建荣, 李国平, 黄博, 等. 田间玉米植株上桃蛀螟卵的空间分布[J]. 植物保护, 2018, 44(3): 177-181.
- [14] 陈炳旭, 董易之, 陆恒, 等. 桃蛀螟幼虫在板栗上的空间分布型研究[J]. 环境昆虫学报, 2008, 30(4): 301-304.
- [15] 刘君昂, 潘华平, 伍南, 等. 油茶主要病害空间分布格局规律的研究[J]. 中国森林病虫, 2010, 29(5): 7-10.
- [16] 宋海天, 蔡守平, 何学友, 等. 油茶林中茶天牛幼虫的发生特点及空间分布型[J]. 福建林业科技, 2019, 46(3): 86-89.
- [17] 刘凯舟, 曹霞, 巨云为, 等. 山核桃透翅蛾幼虫空间分布型及抽样技术[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2019, 43(3): 23-27.
- [18] 龙亚芹, 刘杰, 邓家有, 等. 不同小粒咖啡品种叶锈病在叶片上的空间分布型研究[J]. 中国农学通报, 2017, 33(34): 147-152.
- [19] 徐汝梅. 昆虫种群生态学[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1987: 8-60.
- [20] IWAO S. A new regression method for analyzing the aggregation pattern of animal populations [J]. Researches on Population Ecology, 1968, 10(1): 1-20.
- [21] TAYLOR L R. Aggregation, variance and the mean [J]. Nature, 1961, 189(4766): 732-735.
- [22] 杨现明, 孙小旭, 赵胜园, 等. 小麦田草地贪夜蛾的发生为害、空间分布及抽样技术[J]. 植物保护, 2020, 46(1): 10-16.
- [23] 唐雅文, 李艺琼, 金启安, 等. 椰子木蛾幼虫在椰子树上的空间分布型及抽样技术[J]. 植物保护, 2017, 43(2): 107-111.
- [24] 汤金荣, 董少奇, 李为争, 等. 寄主植物对桃蛀螟生长发育及产卵选择行为的影响[J]. 华中昆虫研究, 2019, 15(0): 336.
- [25] 陈炳旭, 董易之, 梁广文, 等. 板栗挥发物对桃蛀螟成虫寄生选择行为的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(2): 464-469.

(责任编辑: 田 喆)