

文章编号: 1007-4619(2004)05-0475-06

基于 GIS 的马尾松毛虫灾害空间扩散规律分析

武红智¹, 陈改英²

(1. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;

2. 北京农学院 园林系, 北京 102206)

摘要: 主要利用 GIS 的空间分析技术, 探讨了松毛虫灾害的发生发展与地形、道路、居民地等的相关关系, 科学地验证了松毛虫常发区的地理分布、发展过程等经验知识, 充分肯定和展示了 GIS 用于松毛虫灾害定量、定位预测预报的可行性。

关键词: 地理信息系统(GIS); 马尾松毛虫; 森林病虫害; 空间扩散; 空间分析

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A

1 前言

马尾松毛虫(*Dendrolimus punctatus* Walker)是危害中国南方地区的主要森林虫害之一, 每年受灾面积往往近万公顷, 造成巨大的经济损失。因而掌握该虫的扩散、蔓延规律对于实施马尾松毛虫治理和防治显得极为重要。

地理信息系统技术是融计算机图形和数据管理于一体, 自动处理空间信息和解决空间相关问题的技术。目前 GIS 技术已被应用于森林病虫害的综合治理中, 例如比较不同时期的病虫害发生和环境动态信息, 把病虫害与分布类型、环境类型、气候、水系分布、植被等存储在一起, 可以得到病虫害时空变化规律, 确定影响和制约病虫害变化的多种因素以及引起各种变化的主导因子, 建立病虫害发生与空间数据的相关模型, 预测虫害的发展趋势、危害区域等, 为制定病虫害治理和防治措施提供依据。

本文主要利用 GIS 的空间分析功能, 包括叠加处理、邻域分析、空间统计分析方法, 以安徽省潜山县作为试验区, 研究病虫害扩散、蔓延与环境因子之间的相关关系, 旨在掌握马尾松毛虫的空间发展规律, 为预测预报、早期防治提供科学依据。

2 试验区概况

本文选择位于安徽省西南部的潜山县作为研究

示范区, 该县介于东经 116°16'—116°47', 北纬 30°27'—31°04', 属大别山脉向南延伸部分, 以中低山为主, 西北山区, 东南丘圩, 最高海拔 1539m, 最低海拔 16m, 属亚热带季风气候区, 四季分明, 气候温和, 雨量充沛, 水热资源丰富, 有复杂的植被类型和多种植物种类。

潜山县地带性的植被类型为中亚热带常绿阔叶林带, 是垂直带谱的基带, 海拔 400m 以下水平植被带是常绿阔叶林, 常绿、落叶阔叶混交林位于海拔 600—1000m, 马尾松与阔叶树混交为暖性针、阔混交林, 分布在 600m 以下的低山丘陵区, 亚热带山地针叶林主要由马尾松和杉木构成, 分布在 700m 以下的山地丘陵区。

马尾松毛虫是该县的主要森林病虫害, 常常周期性发生, 且丘陵地区发生次数比山区多。尤其是在山地和丘陵的过渡地带, 避风向阳, 冬季不太寒冷, 山洼利于松毛虫越冬, 翌年扩散危害^[1]。

3 研究数据

3.1 森林分布数据

我们收集了该县最新的 1:7.5 万森林分布图, 经数字化后制作了数字森林分布图, 得出全县的有林地面积为 69944hm², 其中松林占 87.6%。本研究只提取了松林分布区的遥感影像和森林病虫害数据, 因此本文的研究对象为马尾松林。

收稿日期: 2003-05-16; 修订日期: 2003-08-11

基金项目: 国家“十五”攻关项目“基于航天航空遥感的灾害监测技术研究(2001BA509B0904)”和“863”项目“重大病虫害遥感监测与预警技术研究(2001AA245032)”的资助。

作者简介: 武红智(1973—)女, 山西祁县人, 2003 年获中国科学院地理科学与资源研究所地图学与地理信息系统专业硕士学位, 研究方向为 Web 地理信息系统。现为中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境国家重点实验室博士研究生, 从事 GIS 研究。

3.2 遥感监测数据

为了研究 1993—1996 年松毛虫灾害空间发展过程,收集了安徽省潜山县 1993、1995 和 1996 三年度的美国陆地卫星 TM 数据,经配准、几何精校正、辐射归一化等图像预处理,最后由森林质量变化的专用遥感监测模型得到了分析数据——基础灾害数据,这些数据经过了地面核查,并剔除了因火灾、造林、砍伐等原因引起的松林区域森林质量的变化信息^[2]。灾害按针叶损失率的大小分为重灾区(针叶损失率 > 70%)、中灾区(针叶损失率在 40%—70%)、轻灾区(针叶损失率 < 40%)和健康林。

3.3 基础地理数据

基础地理数据包括道路、居民地、行政区划等经济社会类要素数据以及 1:5 万地形图的数字等高线。

4 研究方法

4.1 地形主导因子相关分析法

在影响地表生态环境形成的各因素中,地形无疑是一个主导性因素。它决定了地表水、热、能量等的重新分配,从而引起地表结构的分异。地形因子主要包括高程、坡度和坡向等地形特征因素。这些因子关系到马尾松树种的分布,松毛虫虫源地的形成和松毛虫灾害的扩散区域。利用 ArcGIS 软件^[3]获取坡度信息,具体做法是在 3D Analyst 扩展模块中,应用 Surface Analysis 中的工具 Slope 和 Aspect 两个命令生成坡度和坡向数据。本研究根据潜山县的地形地貌特征和森林分布特点,将坡度数据分为 6 级,具体面积及其分布见表 1;根据太阳光辐射差异

将坡向分为 5 类,分别是平地、阳坡、半阳坡、阴坡和半阴坡,具体面积及其分布见表 2。在此基础上研究坡度、坡向等地形因子与各级灾害的关系,从而得出各级灾害在空间上的分布规律,验证经验知识的正确性,以便科学地掌握松毛虫灾害的分布和发展规律,及时准确地监测灾害的孕育环境和空间发生范围,以及预测灾害可能发生的空间区域。

4.2 叠加分析

叠加分析是 GIS 空间分析的重要组成部分,也是开展松毛虫灾害动态变化分析的不可或缺的手段。它通过在同一区域多重属性间找出区域间多要素之间的相互关系与作用结果,建立一事物与它事物的关系模型与发展变化规律。空间位置不仅仅表示具体的经纬度,而且还代表着地理区域内的气候、地形、道路、交通、人居环境以及人为影响等的效果。在本文的分析中,首先通过叠加显示初步筛选影响因子,然后通过叠置操作对有关的因子进行深入分析,比如在研究各级灾害与地形因子和人文环境等的相关关系时,就是通过显示功能确定了各因子对灾害的影响程度,即关联性,尔后对它们进行叠置操作和定量计算,最终获取它们之间的相互关系和作用结果。

4.3 邻域分析

邻域分析是确定同一图层或两个图层空间要素间的邻近性。本文主要采用了缓冲区分析、点间距离分析等方法来研究空间要素的紧密程度。缓冲区分析是通过点对点、线、面目标划出的一定范围的缓冲区进行分析,以判断同一图层内空间要素的影响范围或不同图层间进行叠加显示时空间要素的影响范围。本文通过在重点灾害源周围建立缓冲区,可对

表 1 潜山县坡度分级表

Table 1 Slope classes in Qianshan County

坡度范围/(°)	< 5	5—15	15—25	25—35	35—45	45—82
坡度等级	1	2	3	4	5	6
面积/hm ²	48924	32530	6518	643	8036	4462
所占百分比/%	69.2	19.2	3.8	0.3	4.7	2.6

表 2 潜山县坡向分级表

Table 2 Aspect classes in Qianshan County

坡向范围	平缓地	阳坡	半阳坡	半阴坡	阴坡
坡向值	1	2	3	4	5
面积/hm ²	108148	13641	10621	16823	20067
所占百分比/%	63.8	8.06	6.27	9.93	11.85

缓冲区内各要素进行统计,如统计缓冲区内社会经济信息,不仅为预测预报和监测提供非常重要的依据,同时还可防治提供辅助手段。如在研究 1995 年和 1996 年灾害的相互关系时,就采用以 1995 多边形内点为目标选取一定距离做缓冲区来拟合 1996 年实际灾害区;点间距离分析可以计算和度量地物要素间相互关系,计算一个图层内和另一个图层搜索的最大半径内所有点间距离。本文在研究灾害与道路的关系时,主要是计算了各级灾害多边形内点与道路的远近关系(最近距离值)来确定空间要素(灾害区和道路)的紧密程度。

4.4 空间信息统计分析

进行空间分析时,不仅需要知道有关的空间位置信息,而且需要更多地了解、统计与这些位置信息相联系的属性。空间信息统计功能不仅可以实现对属性信息和空间信息常规数学统计的功能,而且它与空间位置和图形相联系,能将空间统计信息以图形形式显示出来,从而直观地表达这些统计信息的空间分布特点。比如,在试验区采用将灾区分为重、中和轻 3 个等级,以 1995 年数据为参照对其做一定距离的缓冲区,然后在此基础上对 1996 年灾情(以多边形内点为研究点)进行查询统计,根据 1996 年灾害在缓冲区中的统计值分析灾害的发生发展过

程,确定它们之间的空间相关关系。

5 结果分析

5.1 灾害的空间分布

5.1.1 与坡度的关系

考虑到研究区各类坡度级的面积基数不同,为了充分说明坡度与松毛虫灾害的关系,我们把表 3 和表 1 做了比值运算,即实现了数据的完全可比性,结果如图 1。在图中当值大于 1 时表明灾害的分布大于应有的面积比例;反之若值小于 1,则说明灾害的分布小于应有的比例范围。

表 3 灾害区在各个坡度级中的分布比率

Table 3 The distribution of hazard areas under different slopes

坡度等级	1995 年			1996 年		
	重	中	轻	重	中	轻
0	35.3	53.0	38.1	43.5	43.2	35.2
1	31.4	32.7	30.7	33.9	36.5	26.4
2	17.6	7.7	14.9	14.3	11.4	17.1
3	2.0	1.9	1.5	0.9	0.6	1.7
4	7.8	3.1	10.5	5.5	5.8	13.8
5	5.9	1.6	4.3	1.9	2.5	5.8

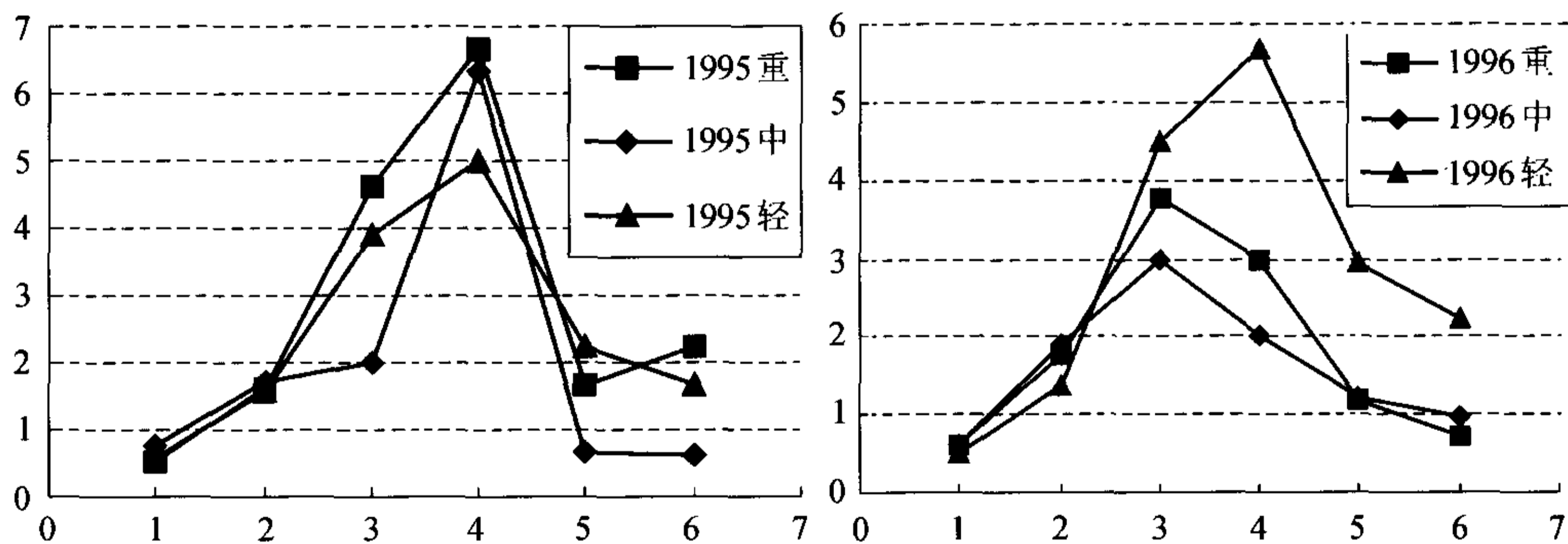


图 1 1995 和 1996 年各级灾害与各坡度级的比值

Fig.1 The ratio of between hazard and slopes in 1995 and 1996

从图 1 和表 3 可以看出,在灾害孕育年份(1995 年),重、中度灾害主要位于 15°—35°的区域。轻度灾害则主要在 25°—45°的区域;在灾害爆发年份(1996 年),重、中度灾害曲线明显变缓,分布区域范围扩大,主要位于 15°—35°的区域;轻度灾害则范围更大,主要在 15°以上区域。由此说明,潜山县松毛虫灾害的早期危害区域(1995 年严重甚至中等灾害分布区)主要分布于 15°—35°低缓山区,随着灾害面

积的扩散,逐步向其它坡度级蔓延,因此监测 15°—35°区域的松林对于早期防治灾害至关重要,遥感技术可在此应用中发挥其技术上的优势,基本可避免在陡峻山区提取专题信息困难的技术障碍。

5.1.2 与坡向的关系

同样由于研究区各类坡向的面积基数不同,通过对表 4 和表 2 的比值运算,保证了分析数据的完全可比性,以合理说明坡向与松毛虫灾害的关系,结

果如图 2,图中值大于 1 表明灾害的分布大于应有的面积比例,若小于 1,则说明灾害的分布小于应有的比例范围。

表 4 灾害区在各个坡向中的分布比率

Table 4 The distribution of hazard areas under different aspects

坡向	1995 年			1996 年		
	重	中	轻	重	中	轻
平地	36.6	39.4	28.2	31.6	31.4	28.3
阳坡	24.4	23.2	22.7	23.9	22.9	19.5
半阳坡	24.2	19.8	21.8	19.8	21.2	17.5
半阴坡	12.2	13.5	16.2	15.5	14.7	17.9
阴坡	2.3	4.0	11.2	9.2	9.8	16.8

从图 2 和表 4 可以看出:1995 年的重、中、轻度灾害基本处在阳坡和半阳坡区域,这些地区的光照相对阴坡、半阴坡充足,因而易形成灾害。在 1996 年这一趋势仍较为明显,但由于灾害的大面积扩散和蔓延,导致半阴坡的分布也在扩大,而且轻微灾害

的阴坡分布比例明显提高,这一现象符合现实灾害的发展规律,由局部到整体大面积爆发的特点。

总之,灾害的常发区多处于地势平缓、光照充分的低山丘陵区。

5.2 灾害与人文环境

5.2.1 灾害与道路的关系

分析了灾害区与各级道路(包括乡村道、县道、省道、国道、高速公路等)的相互关系,主要是计算了各级灾害多边形内点与最近道路的距离值,进而考察松毛虫灾害的虫源地及其扩散过程,探讨对灾害实施准确监测的可行性。在 1995 年的各级别灾害中,灾害越轻,距离道路越近;灾害最严重的早期危害区,距离道路也最远;由此说明:一些早期灾害点或虫源地常在远离道路的偏僻地区最先发生。1996 年灾害大面积扩散后,各级灾害与道路距离趋于平稳,关系不甚明显,结果见图 3(a)。所以,松毛虫的早期危害区多位于远离道路(或人类活动)的偏远区域。

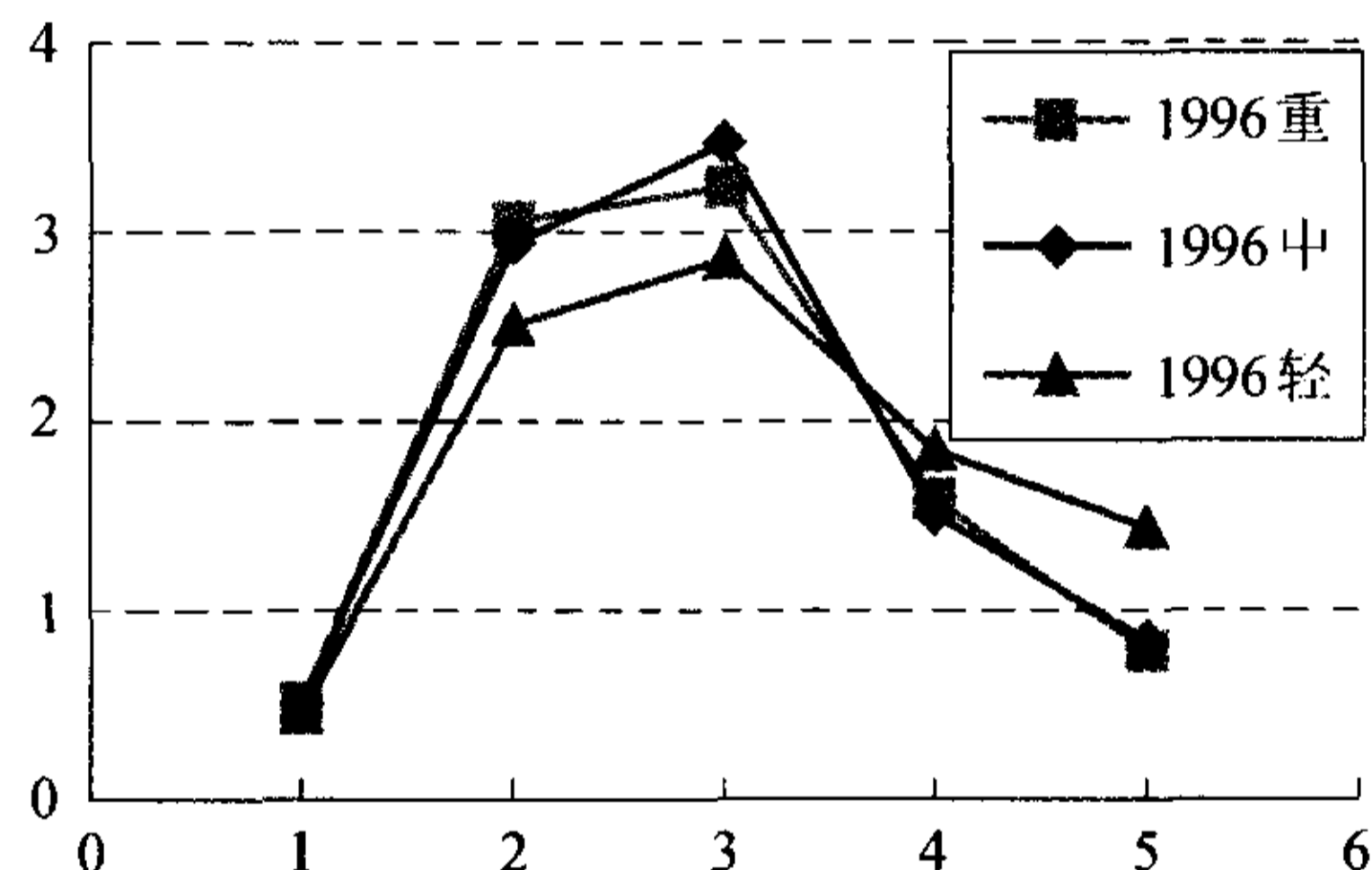
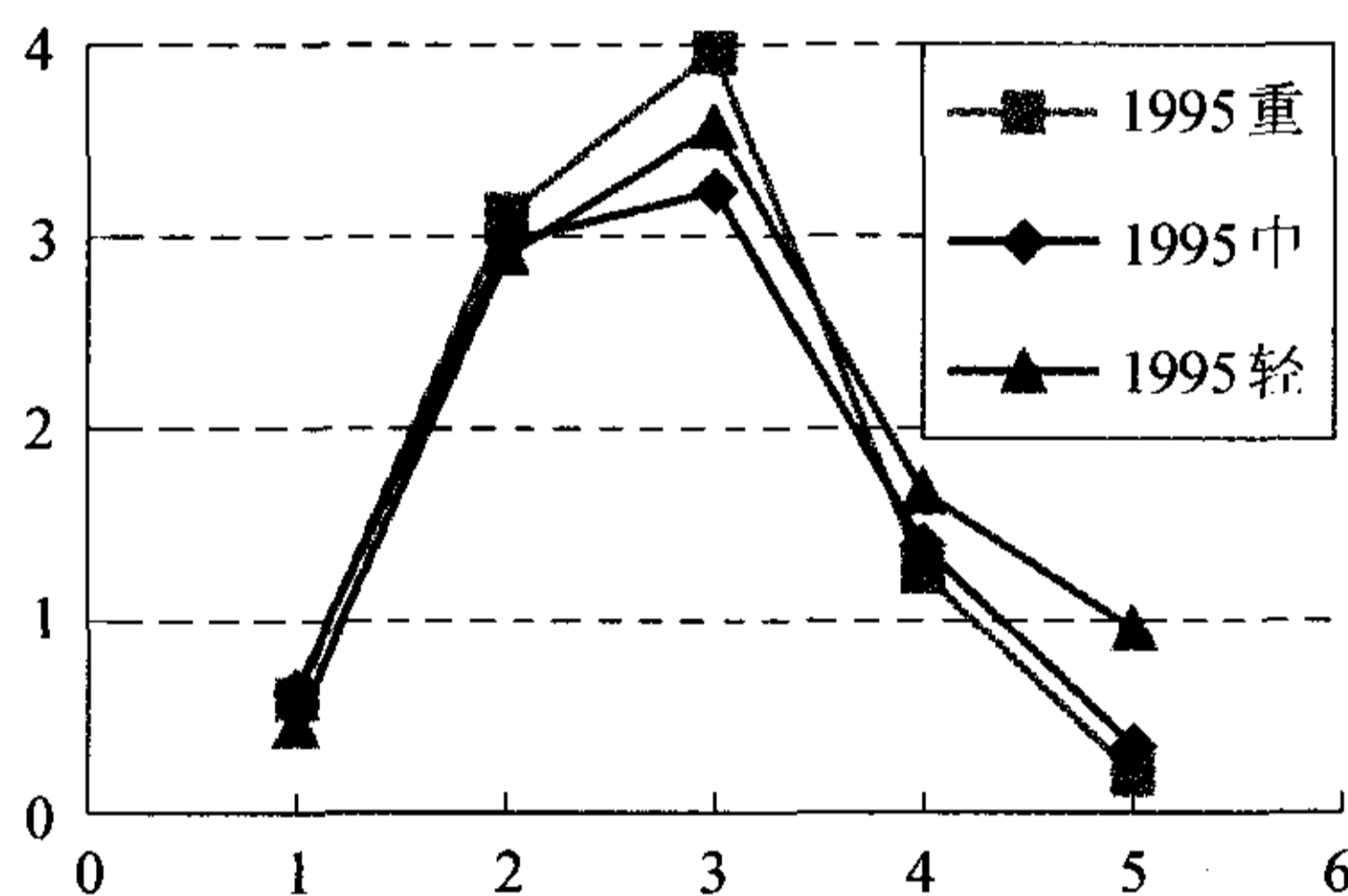


图 2 1995 和 1996 年各级灾害与各坡向的比值
(1—平地 2—阳坡 3—半阳坡 4—阴坡 5—半阴坡)

Fig.2 The ratio of hazard and aspects in 1995 and 1996

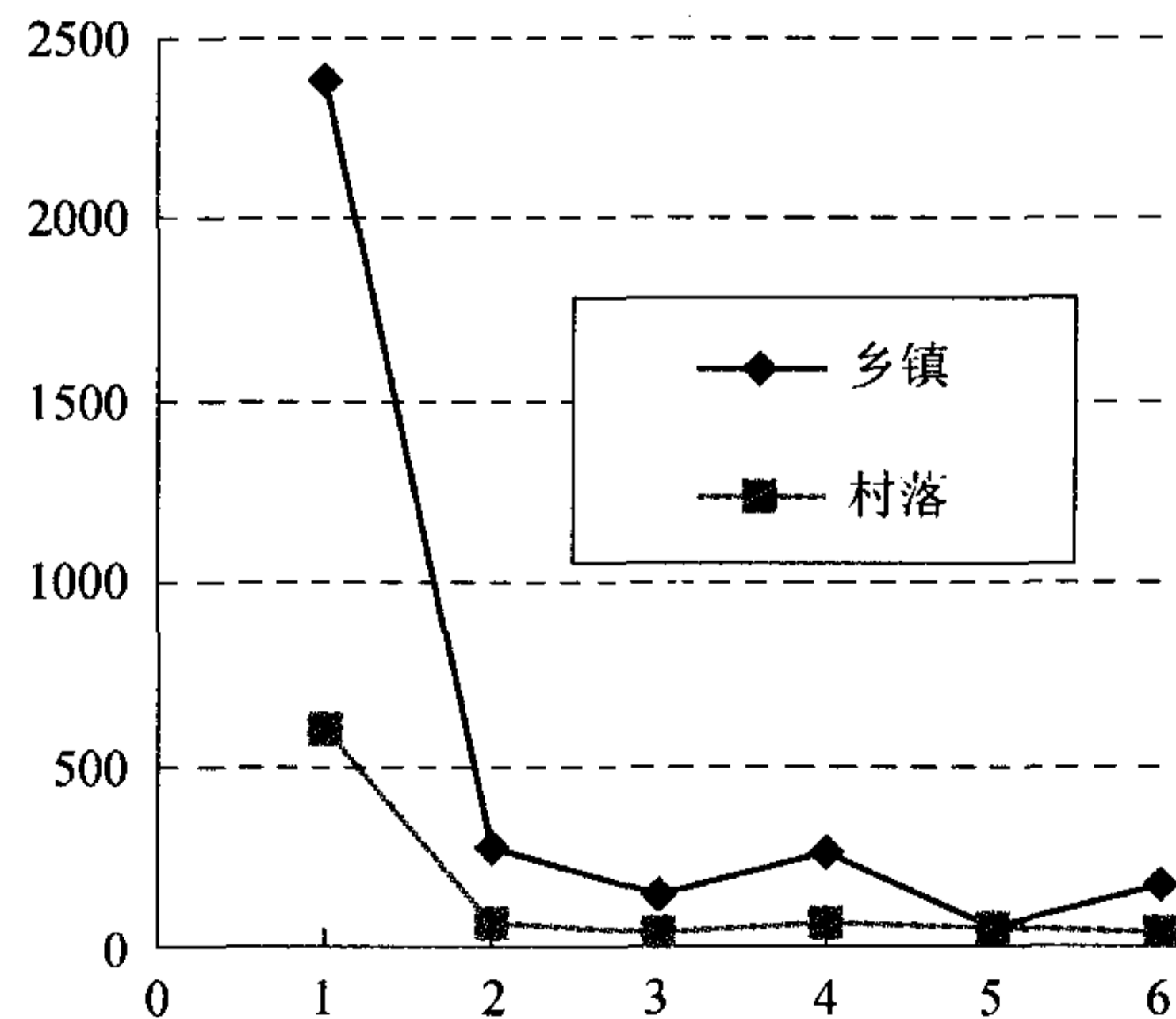
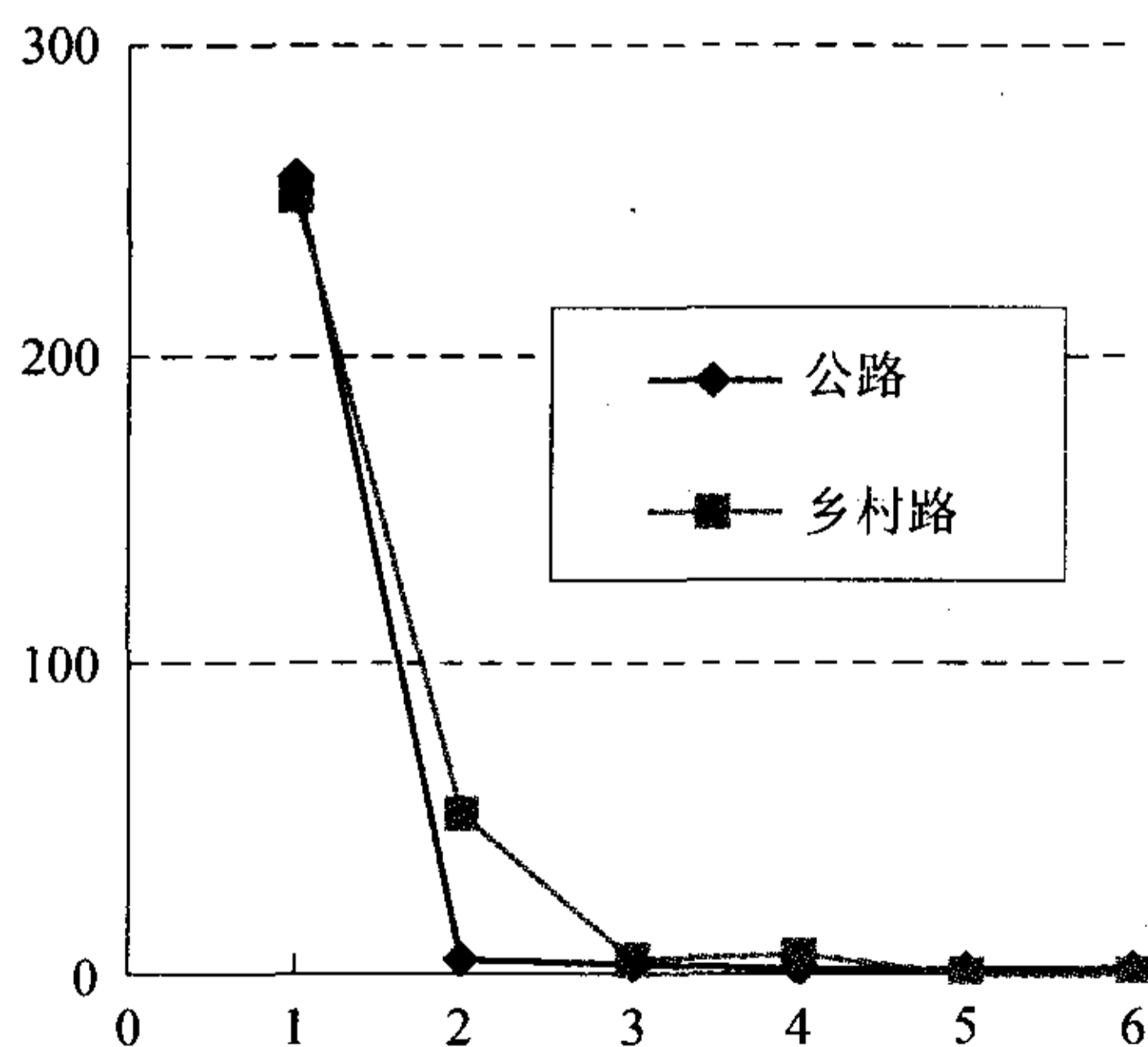


图 3 1995 和 1996 年各级灾害与道路和居民点的最近距离图

(1—1995 重 2—1995 中 3—1995 轻 4—1996 重 5—1996 中 6—1996 轻)

Fig.3 The nearest distance of hazard and road with residence in 1995 and 1996

5.2.2 灾害与居民地的关系

采用灾害区与最近乡镇和村级居民地的距离值来解释它们之间关系。根据距离值可以看出,1995年的严重灾害区比中等或轻微灾害区距离乡镇和村落要远,由于远离人们的日常活动区,造成早期虫源地很难为人所发现,也就难以及时防治。假如早期灾害能在居民地附近,则会容易被人发现,有利于得到早期的诊治,控制其蔓延。灾害在由点到面的扩散过程中,逐步向人类的生活区靠近,直至给人的生活造成巨大的危害;1996年灾害大爆发后,各级灾害与居民地的距离也趋于平稳,它们之间的相互关系并不明显,结果见图3(b)。

5.3 灾害发生区之间的空间关系

根据1995年各种灾害的空间分布特点,并遵循重叠率最低的原则,得出:重灾区、中灾区和轻灾区之间分别以18km,10km,2km为分布间距,即以内点为中心,半径为9km,5km,1km的圆形缓冲区基本能够把同级灾害区联成一体。因此,早期的高密度虫口区(重灾)极为分散,随着虫口密度的降低,其分布区越来越广,距离越来越远。表5展示了灾害孕育年至爆发年之间各个不同灾害区域的相关关系。

表5 1995(各级缓冲区)与1996灾害分布的重叠率

Table 5 Relationship of hazard distribution between 1995 and 1996

灾害程度	1995年重灾区		1995年中灾区		1995年轻灾区	
	数量	%	数量	%	数量	%
1996重	387	84.13	423	91.96	453	98.48
1996中	656	56.26	835	71.6	1153	98.89
1996轻	643	50.91	663	52.49	1256	99.45

5.3.1 1995年重度灾害与1996灾害的关系

通过对1996年各灾害区在1995年重度灾害缓冲区(9km)的分析比较不难看出,1996年重灾区基本分布在缓冲区范围内,占了总数的84.13%;而在1996年的中等灾害和轻度灾害区中,位于缓冲区的比例分别占了56.26%和50.91%。说明1996年各级灾害与1995年重度灾害区关系密切,尤其是重度发生区。

5.3.2 1995年中等灾害区与1996年灾害的关系

通过对1996年各灾害区在1995年中等灾害缓冲区(5km)的分析比较可以看出,1996年91.96%重灾区、71.6%的中度灾害区、52.49%的轻灾区位于1995年的中度灾害缓冲区范围内。所以,1996年的重灾区大部分是在1995年的中度灾害区基础上蔓

延和发展的,即1995年的中度区域未及时防治,第二年就成为灾害的发生源。

5.3.3 1995年轻度灾害区与1996灾害的关系

通过对1996年各灾害区在1995年轻度灾害缓冲区(1km)的分析比较后认为,1996年轻、中和重度灾害区基本位于1995年的轻度灾害的缓冲区范围,具体比例值分别是93.48%,98.89%和99.48%。因此,1995年的轻度灾害区成为1996年的不同灾害程度的发源地,而且由于采用的是1km的缓冲带,因而更准确地显示出1996年的轻、中、重灾区基本位于1995年的轻度灾害区,说明这两年度灾害之间的空间分布相关性很高。

萧刚柔、陈昌洁、李天生^[4]等众多学者曾在广泛试验和实践的基础上,得出松毛虫的迁移距离最大为1km,与本研究的分析结果非常吻合。

6 结论与讨论

(1) 松毛虫的早期危害点或虫源地往往都在远离道路和居民点的区域,而且由远及近发展,这样就给以地面调查为主要手段的监测体系带来严重挑战,即人们难以到达的地区正是病虫害的早期滋生地。

(2) 马尾松毛虫的早期灾害主要位于15°—35°以下的阳坡和半阳坡区,它与人们的经验是相吻合的。

(3) 以往开展过许多有关松毛虫预测的研究^[5-9],主要是建立松毛虫种群数量的空间和时间变化的系统模型。具体方法是把林区划分成网格这一最小空间分析单元(例如100m×100m),并根据其对应的背景信息(历史虫情信息;林相、植被、郁闭度、单株针叶蓄积、松林密度、光源等环境信息;平均气温、平均湿度、平均降水、突发气候变化等气象因子)和变量(针叶损失率、虫口密度),可以建立起时间域上种群动态的数学模型和空间域上种群动态(迁移扩散)的数学模型,从而实现了对松毛虫发生量和发生面积的预测。但随着森林郁闭度的提高,开展详尽的系统调查以获取准确的模型数据愈来愈困难甚至不可能,因此给森林病虫害的预测预报提出了新的问题。本文旨在利用GIS强大的空间分析功能研究森林病虫害空间发展规律,及时预测预报森林病虫害的扩散和蔓延区域,为早期防治和预报提供科学依据。

(4) 发展基于Internet的森林病虫害监测、预警和预测预报管理信息系统已成为当前森林病虫害监

测管理的重要举措。它可以实现不同空间尺度的病虫害监测、实时信息传播与共享,多客户端异地同步工作,具有使用方便、快捷,成本低等特点。基于 Web 的监测预报系统的建设将是未来森林病虫害监测和管理的重要技术手段。

致谢 本研究得到安徽省森防总站、安徽省潜山县林业局和中国林业科学研究院资源信息研究所的大力支持和帮助,谨此表示衷心的感谢!

参 考 文 献(References)

- [1] Zeng D P. Forestry Chronicle of Qianshan County[R]. Forestry Bureau Press of Qianshan County, 1993. [曾大炮. 潜山县林业志[M]. 潜山县林业局编印,1993.]
- [2] Wu H G, Shi J. Monitoring Technique of Pine Caterpillars with TM Image[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2004, 8(2): 172—177. [武红敢,石进,松毛虫灾害的 TM 影像监测技术,遥感学报[J]. 2004, 8(2): 172—177.]
- [3] Zeng S. ArcGIS Spatial 3D Analyst User's Guide[R], ArcInfo Consulting and Training Center, China, 2002. [曾杉, ArcGIS 3D 空间分析适用指南[M], ArcGIS 中国技术咨询与培训中心, 2002.]
- [4] Cheng C J. Integrated Management of Pine Caterpillars in China [M]. 1990: [陈昌洁,松毛虫综合管理[M],北京:中国林业出版社,1990.]
- [5] Xie X Q, Tian Z Z, Chen R L. Trace Discussion of Monitoring Mason Pine Caterpillars Using Application radar [J]. *Forest Science and Technology*, 1987, (6): 27—28. [薛贤清. 田子章. 陈瑞鹿. 应用雷达监测马尾松毛虫的踪迹[J]. 探讨林业科技通讯, 1987, (6): 27—28.]
- [6] Man Z S, Gao B J. Application of Radar Technology in the Research of Forest Insects[J]. *Journal of Hebei Forestry College*, 1993, 8(3): 267—270. [马占山. 高宝嘉. 遥感技术在森林昆虫研究中的应用[J], 河北林学院学报, 1993, 8(3): 267—270.]
- [7] Chen J Y, Mei A H, Li J S. Discussion on the Control of Forest Insects and Disease Before Hazard[J]. *Forest Pest and Disease*, 2001, 3: 41—42. [陈京元, 梅爱华, 李计顺, 浅谈森林病虫害的灾前控制[J], 中国森林病虫, 2001, 3: 41—42.]
- [8] Wang S F, Chen L, Zhang Z. Decision-making Expert System of Preventing Mason Pine Caterpillar[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 1992, 28(1): 31—38. [王淑芬, 陈亮, 张真, 马尾松毛虫防治决策专家系统[J], 林业科学, 1992, 28(1): 31—38.]
- [9] Ma X M, Ye W H. Studies on Integrated Management Information System of Pine Caterpillar[J]. *Forest Research*, 1993, 6(Suppl.): 28—32. [马小明, 叶文虎. 松毛虫综合管理信息系统[J]. 林业科学研究, 1993, 6(增刊): 28—32.]

Research on Development Rules of Forest Hazard Caused by Mason Pine Caterpillars Based on GIS

WU Hong-zhi¹, CHEN Gai-ying²

(1. State key Lab of Resource and Environmental Information System, Institute of Geography Sciences and Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. Gardening Department, Beijing Agriculture Collage, Beijing 102206, China)

Abstract: Although the integrated technique of management for Mason pine caterpillar have developed a systemic research for about half a century, it is still unable to meet the demand of forestry sustainable development with social and economic development. The monitoring and management system of forest insects and diseases based on "3S" and internet technology have already been established in many countries. However it is still in very preliminary stage and far from being perfect in our country at present. In this paper, we utilize remote sensing of data Qianshan county, Anhui province and primarily discuss the correlation between the occurrence and development of pine caterpillar and terrain, roads with residential areas in virtue of spatial analysis functions of GIS such as overlay, proximity and spatial statistics analysis. Dynamic change information of pine caterpillar among different years is also compared. Finally this article educed various factors influencing pine caterpillar and master space-time spatial expansion rule of pine caterpillar. It is beneficial to early forecast and prevention of pine caterpillar. The result has validated some empirical knowledge, such as geographic distribution and developing process of pine caterpillar. It shows the feasibility of forecasting pine caterpillar quantitatively and orientationally by using GIS.

Key words: geographic information system(GIS); mason pine caterpillar; forest diseases and insects; spatial expansion; spatial analysis