

顾卿先, 潘志舟, 贺琦, 等. 基于多样性指标的病虫害系统聚类防治区划研究——以主要碳汇森林类型楠竹林为例[J]. 沈阳农业大学学报, 2024, 55(1): 79-91.

GU Qingxian, PAN Zhizhou, HE Qi, et al. Study on cluster control zoning of disease and pest systems based on diversity indicators—taking the main carbon sink forest types, bamboo forests, as an example[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2024, 55(1): 79-91.

# 基于多样性指标的病虫害系统聚类防治区划研究

## ——以主要碳汇森林类型楠竹林为例

顾卿先<sup>1</sup>, 潘志舟<sup>1</sup>, 贺琦<sup>2</sup>, 支华<sup>1</sup>, 刘德波<sup>3</sup>

(1. 黔东南州林业调查规划设计院, 贵州凯里 556000; 2. 黔东南州森林资源站, 贵州凯里 556000;

3. 黔东南州森林植物检疫站, 贵州凯里 556000)

**摘要:**以主要碳汇森林类型楠竹林资源为研究对象, 采取踏查和样地调查的方法, 对黔东南州楠竹林的主要病虫害种类、危害程度、物种多样性和防治区划进行研究。结果表明: 虫害种类分属 8 目 30 科 39 种; 病害 12 种, 分属 8 目。虫害严重危害程度有 2 种, 分别是刚竹毒蛾和竹蚜虫, 中等危害 10 种, 轻微危害 27 种; 中等危害中黄脊竹蝗的潜在威胁最大, 其次是竹缕舟蛾和大竹象。全州 16 个县虫害种类 7~36 种之间, 病害种类 3~12 种; 病虫害物种丰富度(S) 州东南部地区高于西北部地区; 病虫害优势集中指数(C) 总体趋势由西北向东南逐渐减小; 病虫害 Shannon-Wiener 多样性指数(H') 州西北部小于东南部, 全州病虫害多样性总体稳定水平低, 抵御外界干扰能力差, 对外界不确定因素的干扰敏感; 全州病虫害物种分布相对均匀。Fisher 判别函数模型对防治区划聚类结果的原始分类和交叉分类验证正确率为 100%。基于病虫害多样性指标的系统聚类防治区划结果具有较高的准确性, 可为提高黔东南州的楠竹林健康水平, 精准提升森林固碳能力提供参考。

**关键词:**病虫害; 碳汇; 多样性分析; 聚类分析; 防治区划

中图分类号: S763

文章编号: 1000-1700(2024)01-0079-13

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Study on Cluster Control Zoning of Disease and Pest Systems Based on Diversity Indicators

### ——Taking the Main Carbon Sink Forest Types, Bamboo Forests, as an Example

GU Qingxian<sup>1</sup>, PAN Zhizhou<sup>1</sup>, HE Qi<sup>2</sup>, ZHI Hua<sup>1</sup>, LIU Debo<sup>3</sup>

(1. Qiandongnan Forestry Investigation and Design Institute, Kaili Guizhou 556000, China; 2. Qiandongnan Prefecture Forest Resources Station, Kaili Guizhou 556000, China; 3. Qiandongnan Prefecture Forest Plant Quarantine Station, Kaili Guizhou 556000, China)

**Abstract:** The main types of carbon sequestration forest resources in the Nan bamboo forest of Qiandongnan Prefecture were taken as the research object, and the methods of site investigation and sampling were adopted to study the main types of pests and diseases, degree of harm, species diversity, and control zoning of Nan bamboo forest. The results showed that the pest species belong to 8 orders, 30 families, and 39 species. There are 12 types of diseases, belonging to 8 orders. There are two serious levels of pest damage, namely bamboo moth and bamboo aphid, with 10 moderate and 27 mild

收稿日期: 2023-09-20

基金项目: 贵州省林业科研项目(黔林科合[2023]21号); 贵州省林业科研项目(黔林科合J字[2022]32号)

第一作者: 顾卿先(1984-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事森林资源管理与保护研究, E-mail: 635180792@qq.com

hazards. Among the moderate hazards, the yellow spine bamboo locust poses the greatest potential threat, followed by the bamboo armyworm and the giant bamboo elephant. There are 7–36 types of pests and 3–12 types of diseases in 16 counties throughout the state. The species richness of pests and diseases (S) is higher in the southeastern region of the state than in the northwestern region. The overall trend of the concentration index of pests and diseases (C) gradually decreases from northwest to southeast. The Shannon Wiener diversity index ( $H'$ ) of pests and diseases in the northwest of the state is smaller than that in the southeast, indicating a generally stable level of pest and disease diversity throughout the state. The state has poor resistance to external disturbances and is sensitive to external uncertainties. The distribution of disease and pest species in the entire state is relatively uniform. The Fisher discriminant function model has a 100% accuracy rate in verifying the original classification and cross classification of the clustering results of the prevention and control zoning. The systematic clustering control zoning results based on pest and disease diversity indicators have high accuracy, which can provide reference for improving the health level of bamboo forests in Qiandongnan Prefecture and accurately enhancing forest carbon sequestration capacity.

**Key words:** diseases and pests; carbon sink; diversity analysis; cluster analysis; prevention and control zoning

黔东南州是全国重点林区之一,也是贵州省主要用材林基地<sup>[1]</sup>。黔东南地处云贵高原向湘桂丘陵盆地过渡地带,森林资源丰富,森林覆盖率达 69.63%,境内森林资源组成以杉木、马尾松、竹林等人工林为主,现有竹林面积 2.01 万  $\text{hm}^2$ ,其中 1.83 万  $\text{hm}^2$  为楠竹林。楠竹是森林资源的重要组成部分,是黔东南州森林固碳的主要森林类型之一。楠竹 [*Phyllostachys heterocycla* (Carr.) Mitford cv. Pubescens] 属禾本科竹亚科刚竹属,单轴散生型常绿乔木状竹类植物,是中国栽培历史悠久、分布最广、面积最大以及具有重要经济价值、生态效益的竹种<sup>[2]</sup>,是我国南方重要的森林类型之一,具有生长速度快、可以隔年连续采伐及永续利用等特点<sup>[3]</sup>。近年来随着种植面积逐年扩大病虫害发生日益频繁,种类不断增加,竹林遭受的危害日趋严重<sup>[4]</sup>,一旦感病并且表现出衰败现象后就很难复壮,严重破坏竹林生态环境,造成经济损失<sup>[5]</sup>,病虫害成为制约楠竹产业可持续发展的主要因素之一<sup>[6]</sup>。楠竹林是森林固碳的重要森林类型,在“双碳”战略背景下做好楠竹病虫害的防治是楠竹资源保护、精准提升楠竹林固碳效益,促进楠竹生态产业高质量发展的重要抓手。随着林区经济多元化发展和区域民族特色优势的凸显,楠竹资源的开发利用,特别是生态资产的开发在林区群众生产生活中发挥了重要作用。

系统聚类分析法<sup>[7]</sup>是一门多元统计分类法,是将每个样品各看成一类,规定类与类之间的欧式距离,最靠近的样品合并成新的类,再将已聚合的新类和其他类按类间距离再合并,重复步骤,直至所有的子类合为一类<sup>[8]</sup>。目前诸多学者将系统聚类分析法应用到碳储量的空间分布区划、暴雨高风险区划、种植气候区划、杉木人工林气候区划、水资源功能区划、生态农业功能区划、地质灾害风险评价分区等领域<sup>[9–15]</sup>。在分析指标选取方面:王金秀<sup>[16]</sup>在对山东省森林病虫害灾害区划分析时选用了病虫害的发生面积、成灾面积、成灾率和综合指标;ZUO 等<sup>[17]</sup>结合云模型采用危险性、敏感性、脆弱性和病虫害防灾减灾能力 4 大类 8 个指标,对玉米蓟马灾害风险区划与预测。而在防治方法方面出现了利用高分辨率环境数据、多元聚类算法和物种分布模型的集成,促进了一种新的 eSSPM 方法的发展,但目前该方法仍需进一步评价<sup>[18]</sup>。

本研究选用成熟的系统聚类区划法,但在聚类指标上基于病虫害多样性指标的防治区划研究尚未见报道。为全面掌握黔东南州楠竹林病虫害种类、危害程度、物种多样性和防治区域划分,首次提出基于病虫害多样性指标的系统聚类进行防治区域划分;对于保护和高质量经营楠竹资源,精准提升楠竹林资源的固碳能力,以期在生态文明建设上出新绩和林业高质量发展中提供技术支撑,探索和拓展林农收入“碳”渠道,促进新造和现有楠竹林经营在“碳达峰、碳中和”战略中发挥积极作用。

## 1 材料与方 法

### 1.1 调查时间、地点及内容

2021 年 4 月至 2023 年 6 月对黔东南州 16 县(市)楠竹主要病虫害种类、危害程度、物种多样性、群落相似性等进行调查。各县调查样线、调查样方和楠竹资源量见表 1。

表1 调查样线(样方)及资源量

Table 1 Survey sample lines (plots) and resource levels

县(市) County (City)	调查样线/条 Survey sample line	调查样方/个 Survey sample	楠竹资源/ hm <sup>2</sup> resource levels	县(市) County (City)	调查样线/条 Survey sample line	调查样方/个 Survey sample	楠竹资源/ hm <sup>2</sup> resource levels
黎平 Liping	20	85	6 306.67	黄平 Huangping	5	16	265.82
从江 Congjiang	19	75	3 593.81	镇远 Zhenyuan	8	18	260.29
榕江 Rongjiang	17	60	2 937.23	雷山 Leishan	6	16	209.83
天柱 Tianzhu	19	61	2 608.09	凯里 Kaili	3	12	147.40
锦屏 Jinping	17	58	2 132.50	丹寨 Danzhai	8	8	99.73
剑河 Jianhe	15	24	702.15	台江 Taijiang	6	8	96.66
三穗 Sansui	8	22	322.97	麻江 Majiang	8	8	87.45
岑巩 Cengong	8	21	267.81	施秉 Shibing	3	8	81.36

## 1.2 调查方法

样线(样方)调查:以第4次森林资源调查数据为基础,参照《贵州省森林、草原、湿地生态系统外来入侵物种普查技术方案》设置调查样线。踏查过程中,在病虫害发生地段设置 10 m×10 m 的调查样方记录海拔、坡度、坡向、坡位、林分年龄、郁闭度、林分组成、林分密度等基本因子,记录主要病虫害种类、危害部位、危害程度等。

虫害调查:根部害虫,在调查样方中随机选取 5 株样竹,以根际为中心,设置半径 1 m 的小样圆,刨开土壤查数根部害虫种类和数量;干、枝梢、食叶类害虫在调查样方内按 5 点取样法抽取不少于 10 株样竹,统计每株样竹上害虫种类和数量,目测叶部害虫危害竹冠、枝梢、枝干的严重程度;对于虫体小、数量多,着生在幼嫩枝梢的害虫,在样竹的上、中、下部位选取样枝,查数虫口密度并记录害虫种类;竹笋病虫害调查,在调查点随机选取 10 株当年生的竹笋,查数病虫害种类和虫口密度。

病害调查:枝干病害调查以虫害的调查株为样本,叶部病害调查同样选取虫害的调查株为样竹,每株按照不同部位和不同方位选取 50 片叶片进行调查,记录病叶数和相应的病害种类。病虫害危害程度分别用“+++”“++”“+”符号表示,分别代表重度、中度、轻度,分级标准见表 2。

表2 危害程度分级标准<sup>[19]</sup>

Table 2 Hazard level grading standards

受害程度 Degree of victimization	轻度 Mild(+)	中度 Moderate(++)	重度 Severe(+++)
<i>x</i> 叶子病虫害受害率/ % Damage rate of leaf diseases and pests	0< <i>x</i> ≤20(害虫 Pest)	20< <i>x</i> ≤50(害虫 Pest)	<i>x</i> >50(害虫 Pest)
<i>y</i> 枝梢病虫害受害株率/ % The rate of affected plants caused by branch diseases and pests	0< <i>y</i> ≤20	20< <i>y</i> ≤50	<i>y</i> >50
<i>z</i> 蛀干、主梢受害率/ % Damage rate of stem borers and main shoots	0< <i>z</i> ≤10	10< <i>z</i> ≤20	<i>z</i> >20
<i>w</i> 地下害虫受害株率/ % Affected plant rate of underground pests	0< <i>w</i> ≤1	1< <i>w</i> ≤10	<i>w</i> >20

## 1.3 病虫害鉴定

野外调查未能鉴定到种的病虫害,采集病虫害标本,拍摄野外病虫害生态照片。病害参照《植物病原真菌学》<sup>[20]</sup>,利用显微成像系统对病原进行拍摄和种类鉴定;昆虫依据《中国动物志》<sup>[21]</sup>《中国竹子主要害虫》<sup>[22]</sup>《竹子病虫害防治》<sup>[23]</sup>《竹子病虫害防治彩色图鉴》<sup>[24]</sup>《中国经济昆虫志》<sup>[25]</sup>《中国昆虫生态大图鉴》<sup>[26]</sup>《中国常见地下害虫图鉴》<sup>[27]</sup>《中国地下害虫》<sup>[28]</sup>等资料进行鉴定。

## 1.4 多样性及相似性分析

以物种丰富度(S)、优势集中性指数(C)、香浓-维纳多样性指数(Shannon-Wiener 指数)、均匀度指数(J)对楠竹林病虫害物种多样性进行分析。

物种丰富度(S)即物种的数目;衡量群落多样性程度的最初、最简单指标是群落中的生物种类数,即物种数<sup>[29]</sup>。可直接用生境类型中物种数表示,也可用物种数与个体数的比值来表示<sup>[30]</sup>,本研究采用前者。

优势集中性指数(C)<sup>[19,31-32]</sup>: $C = \sum (P_i)^2$ ,其中  $P_i = N_i/N$ ,  $N$  为生境中物种总个体数量,  $N_i$  为第  $i$  种

中的个体数量。

香浓-维纳多样性指数(Shannon-Wiener 指数)( $H'$ )<sup>[33-34]</sup>:表达式为  $H' = -\sum P_i \ln P_i$ ,  $P_i = N_i/N$ , 式中: $P_i$ 为第*i*种的个体比例; $N_i$ 为第*i*种中的个体数量; $N$ 为全部物种的个体总数。

均匀度指数( $J$ )采用 Pielou 的方法<sup>[19,29,35]</sup>:表达式为  $J = H' / \ln S$ , 式中  $H'$  为香浓-维纳多样性指数, $S$  为物种总数。

群落相似性采用 Jaccard 公式计算<sup>[36]</sup>:  $C_j = j / (a + b - j)$ ,  $j$  为两种生境中共有的物种数, $a$ 、 $b$  分别为生境类型 A、B 所具有的物种数。

### 1.5 聚类分析和判别分析

利用 SPSS Statistics 25.0 以物种丰富度、物种个体数、优势集中性指数、香浓-维纳多样性指数和均匀度指数为主要指标对病虫害进行系统聚类分析。利用 Fisher 判别分析<sup>[37]</sup>验证基于多样性分析指标的系统聚类防治区划结果。

## 2 结果与分析

### 2.1 病虫害种类及危害程度

通过实地调查和室内分类鉴定,共鉴定出主要害虫 39 种,分属 8 目、30 科;病害 12 种,分属 8 目。虫害直翅目 1 科 2 种,占比 5.13%;鳞翅目 6 科 8 种,占比 20.51%;半翅目 13 科 17 种,占比 43.59%;鞘翅目 4 科 6 种,占比 15.39%;蜚蠊目 1 科 1 种,占比 2.56%;膜翅目 2 科 2 种,占比 5.13%;双翅目 2 科 2 种,占比 5.13%;蟬蟊目 1 科 1 种,占比 2.56%。

由表 3 可知,虫害严重危害 2 种,分别是刚竹毒蛾和竹蚜虫,占比 5.13%。刚竹毒蛾严重危害出现在黎平、榕江和天柱;竹蚜虫严重危害出现在从江和榕江。中等危害 10 种,占比 25.64%,分别是黄脊竹蝗、青脊竹蝗、竹织叶野螟、竹笋夜蛾、竹斑蛾、竹缕舟蛾、竹卵圆蝽、竹梢凸唇斑蚜、竹叶扁蚜、大竹象;其中黄脊竹蝗在全州境内均有分布,虽尚未达到严重危害,仅在 10 个县为中等危害,其余 6 县为轻微危害,易筑刚等<sup>[38]</sup>在贵州省楠竹病虫害调查初报中黄脊竹蝗出现相对严重的危害程度,说明黄脊竹蝗的潜在威胁最大,成灾隐患和防范压力最大;其次是竹缕舟蛾除三穗县,大竹象除施秉县在本次调查中未发现分布外,其余各县均有分布,同样存在相对较大潜在威胁。华竹毒蛾、竹篔舟蛾、两色绿刺蛾、山竹缘蝽、竹尖胸沫蝉等 27 种虫害的危害程度为轻微危害。侵害同一植株多个部位的虫害有 12 种,占比 30.77%。由表 4 可知,竹丛枝病和竹枯梢病在黎平、从江、榕江、剑河、锦屏、天柱出现中等危害,竹叶锈病在黎平、从江、锦屏、天柱出现中等危害,竹黑痣病、竹煤污病、竹赤团子病、竹干锈病、竹干炭疽病、毛竹烂脚病、竹黑粉病、楠竹笋腐病、毛竹叶斑枯病等 9 种病害为轻微危害。

### 2.2 病虫害主要侵害部位

根据病虫害的生活方式和侵害部位的不同,本次调查将楠竹病虫害划分为根部、干部(竹材)、枝梢部、叶部和竹笋 5 种。由图 1 可知,虫害主要以叶部害虫为主,物种数量 24 种,占比达到 61.54%;枝梢害虫 10 种,占比 25.64%;干部害虫 8 种,占比 20.51%;竹笋害虫 7 种,占比 17.95%;根部害虫 3 种,占比 7.69%;危害两个以上部位的害虫 12 种,占比 30.77%。病害叶部病害 4 种,占比 33.33%;枝梢病害 4 种,占比 33.33%;干部病害 3 种,占比 25.00%;竹笋病害 2 种,占比 16.67%;危害两个以上部位的 1 种,占比 8.33%;没有根部病害。

### 2.3 多样性分析

由图 2 可知,全州 16 个县虫害种类 7~36 种之间,病害种类 3~12 种。由表 5 可知,虫害物种丰富度( $S$ )最低是麻江县的 7,最高分别是榕江县和黎平县,均为 36;病害物种丰富度( $S$ )最低为台江县 3,最高为锦屏、天柱、黎平、从江和榕江,均为 12;全州病虫害物种丰富度( $S$ )东南部地区高于西北部地区。虫害优势集中指数( $C$ )最高是镇远的 0.1779,锦屏最低 0.0484;病害优势集中指数( $C$ )最高是台江的 0.6296,同样也是锦屏最低 0.1264;病虫害优势集中指数( $C$ )总体趋势由西北向东南逐渐减小。虫害香浓-维纳多样性指数( $H'$ )小于 2.0 的有 1 个县,  $2.0 < H' < 3.0$  有 12 个县,  $H' > 3.0$  有 3 个县;虫害香浓-维纳多样性指数( $H'$ )最小为麻江县 1.888 2,最大是锦屏县 3.233 2,表明麻江楠竹虫害多样性水平低,稳定

表 3 黔东南州楠竹主要害虫种类

Table 3 Main pest species of *phyllostachys pubescens* in Qiandongnan prefecture

目 Order	科 Family	种名 Species name	危害程度 Hazard degree	危害部位 Hazardous areas	普遍率/% Prevalence rate
直翅目 Orthoptera	网翅蝗科 Arctypeidae	黄脊竹蝗 <i>Ceracris kiangsu</i> (Tsai)	凯里 Kaili+,麻江 Majiang+,丹寨 Danzhai+,黄平 Huangping+,镇远 Zhenyuan++,岑巩 Cengong++,施秉 Shibing+,三穗 Sansui++,黎平 Liping++,从江 Congjiang++,榕江 Rongjiang++,雷山 Leishan++,台江 Taijiang+,剑河 Jianhe++,锦屏 Jinping++,天柱 Tianzhu++	叶部 Leaf part	100.0
		青脊竹蝗 <i>Ceracris nigricornis</i> (Walker)	黄平 Huangping+,岑巩 Cengong+,台江 Taijiang+,三穗 Sansui+,黎平 Liping+,剑河 Jianhe+,天柱 Tianzhu+,从江 Congjiang++,榕江 Rongjiang++,锦屏 Jinping++	叶部 Leaf part	62.5
鳞翅目 Lepidoptera	螟蛾科 Pyralidae	竹织叶野螟 <i>Algedonia coclesalis</i> (Walker)	丹寨 Danzhai+,黄平 Huangping+,台江 Taijiang+,岑巩 Cengong+,三穗 Sansui+,黎平 Liping++,从江 Congjiang++,榕江 Rongjiang++,雷山 Leishan+,剑河 Jianhe+,锦屏 Jinping++,天柱 Tianzhu++	叶部 Leaf part	75.0
	夜蛾科 Noctuidae	竹笋夜蛾 <i>Oligia vulgaris</i> (Butler)	凯里 Kaili+,丹寨 Danzhai+,黄平 Huangping++,镇远 Zhenyuan+,施秉 Shibing+,黎平 Liping++,从江 Congjiang++,榕江 Rongjiang++,剑河 Jianhe++,锦屏 Jinping++,天柱 Tianzhu++	竹笋 Bamboo shoots	68.8
	毒蛾科 Lymantriidae	刚竹毒蛾 <i>Pantana phyllostachysae</i> (Chao)	凯里 Kaili+,麻江 Majiang+,黄平 Huangping++,镇远 Zhenyuan+,岑巩 Cengong++,三穗 Sansui+,黎平 Liping+++,从江 Congjiang++,榕江 Rongjiang+++,雷山 Leishan+,台江 Taijiang+,剑河 Jianhe++,锦屏 Jinping++,天柱 Tianzhu+++	叶部 Leaf part	87.5
		华竹毒蛾 <i>Pantana sinica</i> (Moore)	黎平 Liping+,从江 Congjiang+,榕江 Rongjiang+,锦屏 Jinping+,天柱 Tianzhu+	叶部 Leaf part	31.3
	斑蛾科 Zygaenidae	竹斑蛾 <i>Artona funeralis</i> (Butler)	丹寨 Danzhai+,镇远 Zhenyuan+,三穗 Sansui+,黎平 Liping++,从江 Congjiang++,榕江 Rongjiang++,雷山 Leishan+,台江 Taijiang+,剑河 Jianhe+,锦屏 Jinping++,天柱 Tianzhu++	叶部 Leaf part	68.8
	舟蛾科 Notodontidae	竹缕舟蛾 <i>Loudonta dispar</i> (Kiriakoff)	凯里 Kaili+,麻江 Majiang+,丹寨 Danzhai+,黄平 Huangping+,镇远 Zhenyuan+,岑巩 Cengong+,施秉 Shibing+,黎平 Liping++,从江 Congjiang++,榕江 Rongjiang++,雷山 Leishan+,台江 Taijiang+,剑河 Jianhe+,锦屏 Jinping++,天柱 Tianzhu++	叶部 Leaf part	93.8
		竹篚舟蛾 <i>Besaia goddrica</i> (Schaus)	从江 Congjiang+,榕江 Rongjiang+,锦屏 Jinping+,天柱 Tianzhu+	叶部 Leaf part	25.0
刺蛾科 Limacodidae	两色绿刺蛾 <i>Latoia bicolor</i> (Walker)	三穗 Sansui+,黎平 Liping+,从江 Congjiang+,榕江 Rongjiang++,锦屏 Jinping+	叶部 Leaf part	31.3	
鞘翅目 Coleoptera	象甲科 Curculionidae	大竹象 <i>Cyrtotrachelus longimanus</i> (Fabricius)	凯里 Kaili+,麻江 Majiang+,丹寨 Danzhai+,黄平 Huangping+,镇远 Zhenyuan+,岑巩 Cengong+,三穗 Sansui+,黎平 Liping++,从江 Congjiang++,榕江 Rongjiang++,雷山 Leishan+,台江 Taijiang+,剑河 Jianhe++,锦屏 Jinping++,天柱 Tianzhu++	竹笋 Bamboo shoots	93.8
		一字竹笋象 <i>Otidognathus davidis</i> (Fairmaire)	凯里 Kaili+,黄平 Huangping+,镇远 Zhenyuan+,三穗 Sansui+,黎平 Liping+,从江 Congjiang+,榕江 Rongjiang+,剑河 Jianhe+,锦屏 Jinping+,天柱 Tianzhu+	竹笋 Bamboo shoots	62.5
	长蠹科 Bostrychidae	竹长蠹 <i>Dinoderus minutus</i> (Fabricius)	黎平 Liping+,榕江 Rongjiang+,锦屏 Jinping+	干部 Cadre	18.8
	天牛科 Cerambycidae	竹虎天牛 <i>Chlorophorus annularis</i> (Fabricius)	岑巩 Cengong+,三穗 Sansui+,黎平 Liping+,从江 Congjiang++,榕江 Rongjiang+,天柱 Tianzhu+	干部 Cadre	37.5
竹红天牛 <i>Purpuricenus temminckii</i> (Guerin)		凯里 Kaili+,岑巩 Cengong+,黎平 Liping+,从江 Congjiang+,榕江 Rongjiang+,锦屏 Jinping+	干部 Cadre	37.5	
叩甲科 Elateridae	沟金针虫 <i>Pleonomus canaliculatus</i>	黎平 Liping+,榕江 Rongjiang+	根部 Root	12.5	

续表

目 Order	科 Family	种名 Species name	危害程度 Hazard degree	危害部位 Hazardous areas	普遍率/% Prevalence rate	
半翅目 Hemiptera	蝽科 Pentatomidae	竹卵圆蝽 <i>Hippotiscus dorsalis</i> (Stal)	凯里 Kaili+, 黄平 Huangping+, 镇远 Zhenyuan+, 岑巩 Cengong++, 三穗 Sansui++, 黎平 Liping++, 从江 Congjiang++, 榕江 Rongjiang++, 雷山 Leishan+, 台江 Taijiang+, 剑河 Jianhe++, 锦屏 Jinping++, 天柱 Tianzhu++	干、枝部 Stem, branch parts	81.3	
	缘蝽科 Coreidae	山竹缘蝽 <i>Notobitus montanus</i> Hsiao	黎平 Liping+, 从江 Congjiang+, 榕江 Rongjiang+, 剑河 Jianhe+, 锦屏 Jinping+	竹笋、嫩枝 Bamboo shoots, tender branches	31.3	
	沫蝉科 Cercopidae	竹尖胸沫蝉 <i>Aphrophora notabilis</i> (Walker)	黎平 Liping+, 从江 Congjiang+, 锦屏 Jinping+	小枝、嫩梢、叶柄 Twigs, tender shoots, petioles	18.8	
	叶蝉科 Cicadellidae	大青叶蝉 <i>Cicadella viridis</i> (Linnaeus)	黄平 Huangping+, 镇远 Zhenyuan+, 施秉 Shibing+, 三穗 Sansui+, 黎平 Liping+, 从江 Congjiang+, 榕江 Rongjiang+, 雷山 Leishan+, 锦屏 Jinping+, 天柱 Tianzhu+	叶部 Leaf part	62.5	
		雷公山柔突叶蝉 <i>Abrus leigongshanensis</i> Li et Zhang	从江 Congjiang+, 榕江 Rongjiang+, 剑河 Jianhe+	叶部 Leaf part	18.8	
	蜡蝉科 Fulgoridae	斑衣蜡蝉 <i>Lycorma delicatula</i> (White)	黎平 Liping+, 从江 Congjiang+, 榕江 Rongjiang+, 锦屏 Jinping+	叶部、嫩梢 Leaves, tender shoots	25.0	
		八点广翅蜡蝉 <i>Ricania speculum</i> (Walker)	黎平 Liping+, 从江 Congjiang+, 榕江 Rongjiang+	叶部 Leaf part	18.8	
	蛾蜡蝉科 Flatidae	碧蛾蜡蝉 <i>Geisha distinctissima</i> (Walker)	黄平 Huangping+, 三穗 Sansui+, 黎平 Liping+, 榕江 Rongjiang+, 锦屏 Jinping+	叶、枝部 Leaves, branches	31.3	
	粉虱科 Aleyrodidae	黑刺粉虱 <i>Aleurocanthus spiniferus</i> (Quaintanca)	凯里 Kaili+, 丹寨 Danzhai+, 黎平 Liping+, 从江 Congjiang+, 榕江 Rongjiang+, 剑河 Jianhe+, 锦屏 Jinping+, 天柱 Tianzhu+	叶部 Leaf part	50.0	
	斑蚜科 Drepanosiphidae	竹梢凸唇斑蚜 <i>Takecallis tawanus</i>	麻江 Majiang+, 丹寨 Danzhai+, 施秉 Shibing+, 黎平 Liping++, 从江 Congjiang++, 榕江 Rongjiang++, 雷山 Leishan+, 剑河 Jianhe+, 锦屏 Jinping+, 天柱 Tianzhu++	叶、枝梢部 Leaves, branches	62.5	
	扁蚜科 Homaphididae	竹叶扁蚜 <i>Astegopteryx bambucifoliae</i> (Takahashi)	镇远 Zhenyuan++, 岑巩 Cengong++, 黎平 Liping++, 从江 Congjiang++, 榕江 Rongjiang++, 剑河 Jianhe+, 锦屏 Jinping+	叶部 Leaf part	43.8	
	蚜科 Aphididae	竹蚜虫 <i>Astegopteryx bambusae</i>	凯里 Kaili+, 黄平 Huangping+, 三穗 Sansui++, 黎平 Liping++, 从江 Congjiang+++, 榕江 Rongjiang+++, 锦屏 Jinping+, 天柱 Tianzhu++	嫩叶、新枝 Leaves, branches	50.0	
	蝉科 Cicadidae	竹蝉 <i>Platylomia pieli</i> Kato	凯里 Kaili+, 黄平 Huangping+, 三穗 Sansui+, 黎平 Liping+, 从江 Congjiang+, 榕江 Rongjiang+, 雷山 Leishan+, 剑河 Jianhe+, 锦屏 Jinping+, 天柱 Tianzhu+	根部、竹笋 Root, bamboo shoots	62.5	
	粉蚧科 Pseudococcidae	竹白尾粉蚧 <i>Antonina crawii cockereill</i>	凯里 Kaili+, 施秉 Shibing+, 黎平 Liping+, 从江 Congjiang+, 榕江 Rongjiang+, 剑河 Jianhe+, 锦屏 Jinping+, 天柱 Tianzhu+	叶、枝部 Leaves, branches	50.0	
		竹巢粉蚧 <i>Nesticoccus sinensis tang</i>	丹寨 Danzhai+, 镇远 Zhenyuan+, 施秉 Shibing+, 黎平 Liping+, 榕江 Rongjiang+, 锦屏 Jinping+, 天柱 Tianzhu+	叶、枝部 Leaves, branches	43.8	
	盾蚧科 Diaspididae	竹拟白须盾蚧 <i>Kuwanaspis pseudoleucaspis</i> Kuwana	三穗 Sansui+, 黎平 Liping+, 从江 Congjiang+, 榕江 Rongjiang+, 锦屏 Jinping+, 天柱 Tianzhu+	干部 Cadre	37.5	
		霍须盾蚧 <i>Kuwanaspis howarai</i> (Cooley)	三穗 Sansui+, 黎平 Liping+, 从江 Congjiang+, 榕江 Rongjiang+, 锦屏 Jinping+, 天柱 Tianzhu+	干部 Cadre	37.5	
	蜚蠊目 Blattaria	白蚁科 Termites	黑翅土白蚁 <i>Odontotermes formosanus</i> (Shiraki)	黎平 Liping+, 从江 Congjiang+, 榕江 Rongjiang+	干部、根部 Cadres, roots	18.8
	膜翅目 Hymenoptera	广肩小蜂科 Eurytomidae	竹广肩小蜂 <i>Aiolomorpha rhopaloides</i> (Walker)	丹寨 Danzhai+, 黄平 Huangping+, 岑巩 Cengong+, 施秉 Shibing+, 黎平 Liping+, 从江 Congjiang+, 榕江 Rongjiang+, 剑河 Jianhe+, 锦屏 Jinping+, 天柱 Tianzhu+	叶、枝梢、干部 Leaves, branches, cadres	62.5
		叶蜂科 Foliaceae	毛竹黑叶蜂 <i>Eutomostethus nigritus</i>	凯里 Kaili+, 黄平 Huangping+, 岑巩 Cengong+, 从江 Jianhe+, 雷山 Leishan+, 剑河 Jianhe+, 天柱 Tianzhu+	叶部 Leaf part	43.8
	双翅目 Diptera	花蝇科 Anthomyiidae	竹笋泉蝇 <i>Pegomyia phyllostachys</i> (Fan)	凯里 Kaili+, 麻江 Majiang+, 岑巩 Cengong+, 施秉 Shibing+, 三穗 Sansui+, 黎平 Liping+, 从江 Congjiang+, 榕江 Rongjiang+, 雷山 Leishan+, 台江 Tianjiang+, 锦屏 Jinping+, 天柱 Tianzhu+	竹笋 Bamboo shoots	68.8
茎蝇科 Psilidae		竹笋绒茎蝇 <i>Chyliza bambusae</i> Yang et Wang	黄平 Huangping+, 施秉 Shibing+, 黎平 Liping+, 从江 Congjiang+, 剑河 Jianhe+, 锦屏 Jinping+, 天柱 Tianzhu+	竹笋 Bamboo shoots	43.8	
螨目 Acariformes	叶螨科 Tetranychidae	毛竹叶螨 <i>Schizotetranychus nanjingensis</i> Ma et Yuan	凯里 Kaili+, 麻江 Majiang+, 黄平 Huangping+, 岑巩 Cengong+, 黎平 Liping+, 从江 Congjiang+, 榕江 Rongjiang+, 剑河 Jianhe+, 锦屏 Jinping+, 天柱 Tianzhu+	叶部 Leaf part	62.5	

表 4 黔东南州楠竹主要病害种类

Table 4 Main disease types of *phyllostachys pubescens* in Qiandongnan prefecture

亚门 Subdivision	纲 Class	目 Order	种名 Species name	危害程度 Hazard degree	危害部位 Hazardous areas	普遍率/% Prevalence rate	
子囊菌亚门 Ascomycota subphylum	核菌纲 Pyrenomycetes	球壳菌目 Bulbasales	竹丛枝病 <i>Balansia take</i> (Mi- yake)Hara	施秉 Shibing+, 剑河 Jianhe++, 凯里 Kaili+, 黄平 Huangping+, 岑巩 Cengong+, 镇远 Zhenyuan+, 三穗 Sansui+, 锦屏 Jinping++, 天柱 Tianzhu++, 黎平 Liping++, 从江 Cong- jiang++, 榕江 Rongjiang++	枝梢部 Branch- es, branches	75.0	
			竹枯梢病 <i>Cerato- sphaeria phyllo- stachydis</i> Zhang	麻江 Majiang+, 剑河 Jianhe++, 凯里 Kai- li+, 黄平 Huangping+, 岑巩 Cengong+, 镇远 Zhenyuan+, 三穗 Sansui+, 锦屏 Jinping++, 天柱 Tianzhu++, 黎平 Liping++, 从江 Cong- jiang++, 榕江 Rongjiang++	枝梢部 Branch- es, branches	75.0	
			竹黑痣病 <i>Phylla- chora orbicula</i> Rehm	锦屏 Jinping+, 天柱 Tianzhu+, 黎平 Lip- ing+, 从江 Congjiang+, 榕江 Rongjiang+	叶部 Leaf part	31.3	
	腔菌纲 Loculoascomyces	小煤炱目 Meliolales	竹煤污病 <i>Meliola furcata</i> Lev.	施秉 Shibing+, 麻江 Majiang+, 雷山 Leis- han+, 剑河 Jianhe+, 凯里 Kaili+, 黄平 Huangping+, 岑巩 Cengong+, 镇远 Zhenyu- an+, 三穗 Sansui+, 锦屏 Jinping+, 天柱 Tianzhu+, 黎平 Liping+, 从江 Congjiang+, 榕江 Rongjiang+	叶部 Leaf part	87.5	
			球壳菌目 Bulbasales	竹赤团子病 <i>Shiraia bambusico- la</i> P.Henn.	台江 Taijiang+, 凯里 Kaili+, 黄平 Huang- ping+, 岑巩 Cengong+, 三穗 Sansui+, 锦屏 Jinping+, 天柱 Tianzhu+, 黎平 Liping+, 从 江 Congjiang+, 榕江 Rongjiang+	小枝 Sprig	62.5
			竹秆炭疽病 <i>Collet- otrichum gloeospo- rioides</i> Penz.	施秉 Shibing+, 丹寨 Danzhai+, 剑河 Jian- he+, 凯里 Kaili+, 镇远 Zhenyuan+, 三穗 Sansui+, 锦屏 Jinping+, 天柱 Tianzhu+, 黎 平 Liping+, 从江 Congjiang+, 榕江 Rongji- ang+	干部 Cadre	68.8	
	担子菌亚门 Basidiomycota	冬孢菌纲 Teliomycetes	座囊菌目 Dothideales	毛竹叶斑枯病 <i>Coccostroma anun- dinariae</i> (hara) Teng	丹寨 Danzhai+, 凯里 Kaili+, 黄平 Huang- ping+, 岑巩 Cengong+, 镇远 Zhenyuan+, 锦 屏 Jinping+, 天柱 Tianzhu+, 黎平 Liping+, 从江 Congjiang+, 榕江 Rongjiang+	叶部 Leaf part	62.5
				锈菌目 Uredinales	竹叶锈病 <i>Uredo ignave</i> Arth	台江 Taijiang+, 施秉 Shibing+, 丹寨 Dan- zhai+, 麻江 Majiang+, 雷山 Leishan+, 剑河 Jianhe+, 凯里 Kaili+, 黄平 Huangping+, 岑 巩 Cengong+, 镇远 Zhenyuan+, 三穗 San- sui+, 锦屏 Jinping++, 天柱 Tianzhu++, 黎 平 Liping++, 从江 Congjiang++, 榕江 Rongjiang+	叶部 Leaf part
		丝孢纲 Hyphomycetes	无孢目 Agon- omycetales	竹秆锈病 <i>Stoestratus cortici- oides</i> (Berk.er.Br.) mangn	剑河 Jianhe+, 黄平 Huangping+, 镇远 Zhenyuan+, 三穗 Sansui+, 锦屏 Jinping+, 天柱 Tianzhu+, 黎平 Liping+, 从江 Congji- ang+, 榕江 Rongjiang+	干部 Cadre	56.3
				黑粉菌目 Ustilaginales	竹黑粉病 <i>Ustilago shiraiana</i> P.Henn.	锦屏 Jinping+, 天柱 Tianzhu+, 黎平 Lip- ing+, 从江 Congjiang+, 榕江 Rongjiang+	春稍、竹笋 Spring Slight, bamboo shoots
瘤座孢目 Neosporales				楠竹笋腐病 <i>Fusarium</i> sp.	台江 Taijiang+, 丹寨 Danzhai+, 雷山 Leis- han+, 岑巩 Cengong+, 镇远 Zhenyuan+, 三 穗 Sansui+, 锦屏 Jinping+, 天柱 Tianzhu+, 黎平 Liping+, 从江 Congjiang+, 榕江 Rongjiang+	竹笋 Bamboo shoots	68.8

程度最低,其多样性易受外界干扰,而锦屏虫害多样性丰富,稳定程度较高。病害香浓-维纳多样性指数( $H'$ )均在 3.0 以下,其中 2.0~3.0 有 5 个县,占比为 31.25%; $H' < 2.0$  有 11 个县,占比 68.75%;充分说明全州病害多样性稳定水平低,抵御外界干扰能力不足,易受外界不确定因素的干扰。从全州的病虫害均匀度指数看,虫害均匀度指数( $J$ )全州各县都在 0.8 以上,最小为黎平县 0.8237;最大为台江县 0.9765;病害均匀度指数( $J$ )主要集中在 0.80~0.90 之间,最小为台江县 0.6224,最大为施秉县 0.9253。除台江县病害的均匀度小于 0.80 外,其他各县均大于 0.80,全州各县病虫害物种分布都相对均匀。

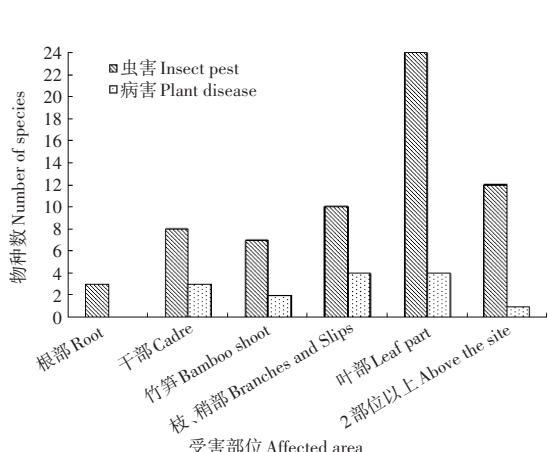


图1 黔东南州楠竹病虫害危害部位分布

Figure 1 Parts of phyllostachys pubescens harmed by diseases and insects in Qiandongnan prefecture

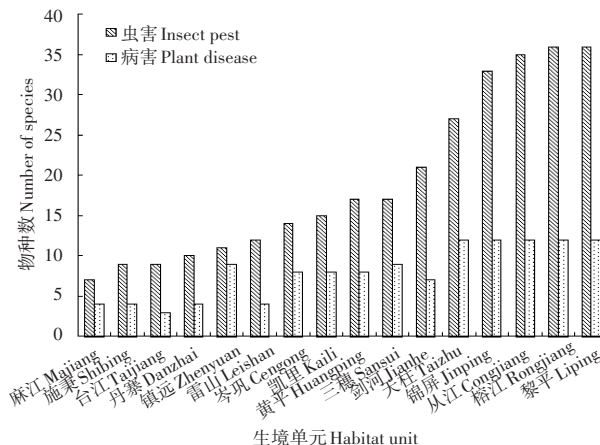


图2 黔东南州楠竹病虫害分布

Figure 2 Distribution of phyllostachys pubescens diseases and pests in Qiandongnan prefecture

表5 黔东南州楠竹病虫害多样性分析

Table 5 Diversity analysis of phyllostachys pubescens diseases and pests in Qiandongnan prefecture

受害类型 Types of victimization	指标 Index	生境单元 Habitat unit															
		麻江 Majiang	施秉 Shibing	台江 Taijiang	丹寨 Danzhai	镇远 Zhenyuan	雷山 Leishan	岑巩 Cengong	凯里 Kaili	黄平 Huangping	三穗 Sansui	剑河 Jianhe	天柱 Tianzhu	锦屏 Jinping	从江 Congjiang	榕江 Rongjiang	黎平 Liping
虫害 Insect pest	S	7	9	9	10	11	12	14	15	17	17	21	27	33	35	36	36
	N	251	290	284	257	439	349	651	481	541	728	872	2125	1871	2679	3355	3444
	C	0.1600	0.1515	0.1234	0.1187	0.1779	0.1250	0.1303	0.0964	0.0832	0.1476	0.0693	0.0787	0.0484	0.0769	0.0781	0.0836
	$H'$	1.8882	2.0094	2.1455	2.2114	2.0194	2.2775	2.3056	2.4766	2.6504	2.3472	2.8198	2.9107	3.2332	3.0122	3.0139	2.9517
	J	0.9704	0.9145	0.9765	0.9604	0.8422	0.9165	0.8736	0.9145	0.9355	0.8285	0.9262	0.8831	0.9247	0.8472	0.8410	0.8237
病害 Plant disease	S	4	4	3	4	9	4	8	8	8	9	7	12	12	12	12	12
	N	20	25	9	18	44	24	46	40	45	47	64	107	97	119	117	130
	C	0.3250	0.2928	0.6296	0.3765	0.1715	0.3750	0.1673	0.1813	0.1654	0.1698	0.1948	0.1325	0.1264	0.1321	0.1376	0.1340
	$H'$	1.2056	1.2827	0.6837	1.1175	1.9162	1.1269	1.8986	1.8313	1.9059	1.9478	1.7434	2.1946	2.2275	2.1958	2.1670	2.1874
	J	0.8697	0.9253	0.6224	0.8061	0.8721	0.8129	0.9130	0.8800	0.9166	0.8865	0.8959	0.8832	0.8964	0.8837	0.8721	0.8803

注:S.物种丰富度;N.物种个体数;C.优势集中指数; $H'$ .多样性指数;J.均匀度指数。

Note:S.Species richness;N.Number of individual species;C.Advantage concentration index; $H'$ .Shannon-Wiener index;J.Uniformity index.

### 2.4 相似性分析

采用杰卡特(Jaccard)群落相似性指数,对全州 16 个县域生境楠竹病虫害群落进行相似性分析。Jaccard 相似性系数为常用的相似度计算方法,Jaccard 相似性系数的最大值为 1;当 2 个群落所含有的种完全相同时,其系数为最大值;当 2 个群落所含有的种完全不同时,其系数为 0;系数自 0 至最大值之间,顺次表示 2 个群落相似程度大小<sup>[32]</sup>。按 Jaccard 相似性原理:相似性指数在  $0 < C_j < 0.25$  范围内为极不相似,在  $0.25 \leq C_j < 0.50$  范围内为中等不相似,在  $0.50 \leq C_j < 0.75$  范围内为中等相似,在  $0.75 \leq C_j < 1.0$  范围内极为相似<sup>[39]</sup>。由表 6 可知,全州 16 个县虫害共组成 120 组相似性指数,大于 0.75 极为相似的有 6 组,分别对应黎平、从江、榕江和锦屏 4 个县,其中黎平和榕江两县相似性最高 0.8947,表明黎平和榕江两县

的楠竹虫害群落具有高度相似性,在虫害治理时可以采用相似的防治措施;相似性指数中等相似有 18 组,中等不相似 82 组,极不相似 14 组;虫害中等相似以上的组合占比仅为 20.00%,说明黔东南州虫害群落的相似程度水平较低,防治压力和难度大。全州 120 组病害相似性指数中, $C_j=1.0$  的有 10 组,分别对应锦屏、天柱、榕江、从江和黎平 5 个县,说明这 5 个县的病害种群相似性完全一致,在防治时可以采取相同措施;极为相似 16 组,中等相似 36 组,中等不相似 48 组,极不相似 10 组;中等相似以上组合占比 51.67%,说明黔东南州楠竹病害群落的相似程度水平不高,防治压力和难度也较大。

表 6 黔东南州楠竹病虫害群落相似性指数表

Table 6 The table of similarity Index of phyllostachys pubescens disease and pest communities in Qiandongnan prefecture

生境 Hbitat	群落相似性指数矩阵 Community similarity index matrix															
	凯里 Kaili	麻江 Majiang	丹寨 Danzhai	黄平 Huangping	镇远 Zhenyuan	岑巩 Cengong	施秉 Shibing	三穗 Sansui	黎平 Liping	从江 Congjiang	榕江 Rongjiang	雷山 Leishan	台江 Taijiang	剑河 Jianhe	锦屏 Jinping	天柱 Taizhu
凯里 Kaili	1.0000	0.3750	0.2500	0.5238	0.3684	0.4500	0.2000	0.3333	0.3784	0.4286	0.3889	0.4211	0.3333	0.5000	0.5000	0.5000
麻江 Majiang	0.5000	1.0000	0.3077	0.2632	0.2857	0.4000	0.2308	0.2000	0.1944	0.2000	0.1944	0.4615	0.6000	0.2727	0.2121	0.2593
丹寨 Danzhai	0.3333	0.1429	1.0000	0.2857	0.3125	0.2632	0.4615	0.1739	0.2778	0.2500	0.2778	0.4667	0.3571	0.4091	0.3030	0.3704
黄平 Huangping	0.7778	0.5000	0.2000	1.0000	0.3333	0.4762	0.3000	0.4783	0.4324	0.3333	0.3250	0.3810	0.3684	0.5200	0.4706	0.5172
镇远 Zhenyuan	0.7000	0.4444	0.4444	0.7000	1.0000	0.3158	0.3333	0.3333	0.3056	0.2778	0.3056	0.3529	0.4286	0.3913	0.3333	0.3571
岑巩 Cengong	0.7778	0.5000	0.3333	0.7778	0.7000	1.0000	0.1500	0.3478	0.3514	0.4000	0.3514	0.4444	0.4375	0.4583	0.3429	0.4138
施秉 Shibing	0.5000	0.3333	0.3333	0.3333	0.4444	0.3333	1.0000	0.0833	0.2500	0.2222	0.2162	0.2353	0.1250	0.3043	0.2727	0.3333
三穗 Sansui	0.7000	0.4444	0.3000	0.7000	0.8000	0.7000	0.4444	1.0000	0.4722	0.4444	0.4722	0.4500	0.4444	0.3103	0.4706	0.5172
黎平 Liping	0.6667	0.3333	0.3333	0.6667	0.7500	0.6667	0.3333	0.7500	1.0000	0.8684	0.8947	0.2973	0.2500	0.5000	0.8649	0.6579
从江 Congjiang	0.6667	0.3333	0.3333	0.6667	0.7500	0.6667	0.3333	0.7500	1.0000	1.0000	0.8205	0.3429	0.2571	0.6000	0.7895	0.7027
榕江 Rongjiang	0.6667	0.3333	0.3333	0.6667	0.7500	0.6667	0.3333	0.7500	1.0000	1.0000	1.0000	0.2973	0.2500	0.5000	0.8158	0.6579
雷山 Leishan	0.3333	0.6000	0.3333	0.3333	0.4444	0.5000	0.3333	0.4444	0.3333	0.3333	0.3333	1.0000	0.6154	0.4348	0.2857	0.3929
台江 Taijiang	0.2222	0.1667	0.4000	0.2222	0.2000	0.3750	0.1667	0.3333	0.2500	0.2500	0.2500	0.4000	1.0000	0.3636	0.2727	0.3333
剑河 Jianhe	0.6667	0.5714	0.2222	0.6667	0.7778	0.5000	0.2222	0.7778	0.5833	0.5833	0.5833	0.3750	0.1111	1.0000	0.5429	0.6000
锦屏 Jinping	0.6667	0.3333	0.3333	0.6667	0.7500	0.6667	0.3333	0.7500	1.0000	1.0000	1.0000	0.3333	0.2500	0.5833	1.0000	0.7143
天柱 Taizhu	0.6667	0.3333	0.3333	0.6667	0.7500	0.6667	0.3333	0.7500	1.0000	1.0000	1.0000	0.3333	0.2500	0.5833	1.0000	1.0000

注:矩阵对角线上方为不同两个县虫害群落相似性指数( $C_j$ );对角线下方为不同两个县病害群落相似性指数( $C_j$ )。

Note: Above the diagonal of the matrix is the similarity index ( $C_j$ ) of pest communities in two different counties; Below the diagonal is the similarity index ( $C_j$ ) of disease communities in two different counties.

### 2.5 系统聚类分析

因物种丰富度、物种个体数、优势集中指数、香浓-维纳多样性指数和均匀度指数等指标,能够充分反映物种个体和群落基本属性,也可以较好地衡量物种所处生态环境具体状况。本研究首次以物种丰富度、物种个体数、优势集中指数、香浓-维纳多样性指数和均匀度指数为变量指标进行系统聚类分析,选择合适的类间距离将病虫害聚为同一类。由图 3 和图 4 可知,当类间距离为 3 时楠竹虫害群落系统聚类组合为 3 类,病害群落也系统聚类组合为 3 类,结果见表 7。

### 2.6 聚类结果判别分析

判别分析是基于判别准则,建立判别函数,根据研究对象的特征值判别其归属于哪一组的统计判

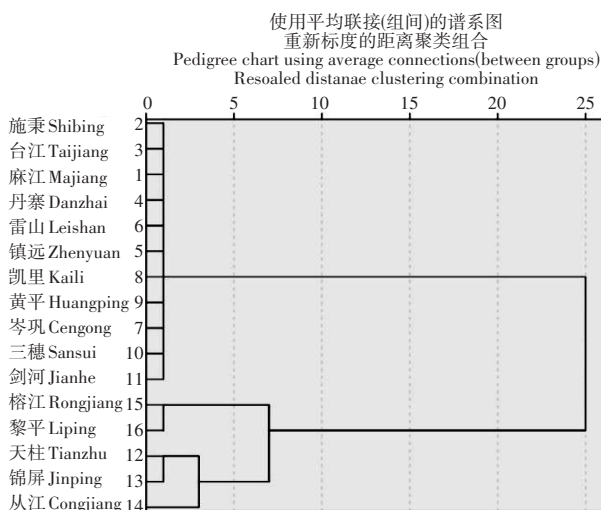


图3 黔东南州楠竹虫害聚类图

Figure 3 Cluster map of phyllostachys pubescens pests in Qiandongnan prefecture

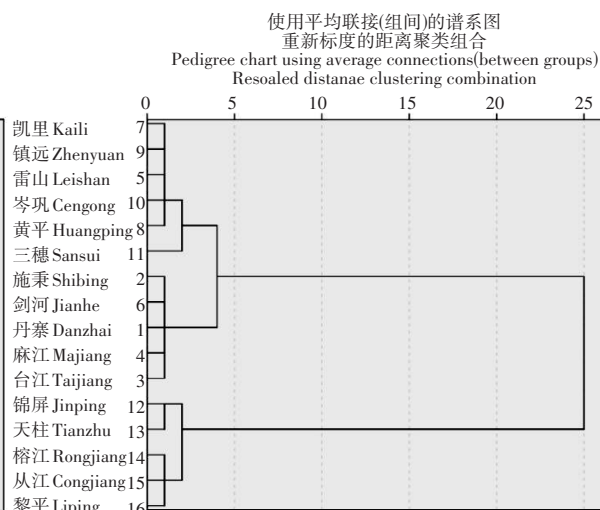


图4 黔东南州楠竹病害聚类图

Figure 4 Cluster map of phyllostachys pubescens diseases in Qiandongnan prefecture

表7 类间距离为3时黔东南州楠竹病虫害聚类结果

Table 7 Clustering results of phyllostachys pubescens diseases and pests in Qiandongnan prefecture at a distance of 3 classes

受害类型 Types of victimization	结果类别 Result category	生境单元数 Number of habitat units	生境单元名称 Habitat unit name
虫害 Insect pest	I	11	施秉 Shibing、台江 Taijiang、麻江 Majiang、丹寨 Danzhai、雷山 Leishan、镇远 Zhenyuan、凯里 Kaili、黄平 Huangping、岑巩 Cengong、三穗 Sansui、剑河 Jianhe
	II	2	榕江 Rongjiang、黎平 Liping
	III	3	天柱 Tianzhu、锦屏 Jinping、从江 Congjiang
病害 Plant disease	I	6	凯里 Kaili、镇远 Zhenyuan、雷山 Leishan、岑巩 Cengong、黄平 Huangping、三穗 Sansui
	II	5	施秉 Shibing、剑河 Jianhe、丹寨 Danzhai、麻江 Majiang、台江 Taijiang
	III	5	锦屏 Jinping、天柱 Tianzhu、榕江 Rongjiang、从江 Congjiang、黎平 Liping

别和分组技术<sup>[40-41]</sup>。利用 Fisher 判别分析建立典则判别函数对聚类结果的准确性进行验证。由表 8 可知,当类间距离为 3 时楠竹虫害群落系统聚类组合为 3 类,判别函数 1 和判别函数 2 的特征值解释总方差的比例分别为 96.9% 和 3.1%,典型相关性分别为 0.991 和 0.794,说明判别函数可以作为判别楠竹虫害系统聚类结果准确性的依据;同样当类间距离为 3 时病害群落系统聚类组合为 3 类,判别函数 1 和判别函数 2 的特征值解释总方差的比例分别为 86.0% 和 14.0%,典型相关性分别为 0.997 和 0.985,同样说明判别函数可以作为判别楠竹病害系统聚类结果准确性的依据。

从病虫害的聚类结果可知,类间距离的不同,聚类数不同,各类别组的组质心 Fisher 判别函数图

表8 典则判别函数摘要特征值

Table 8 Summary eigenvalues of canonical discriminant functions

受害类型 Types of victimization	聚类结果 Cluster results	函数 Function	特征值 Eigenvalue	方差百分比/% Variance percentage	累积百分比/% Cumulative percent	典型相关性 Canonical correlation
虫害 Insect pest	3类 Class	1	53.876 <sup>a</sup>	96.9	96.9	0.991
		2	1.711 <sup>a</sup>	3.1	100.0	0.794
病害 Plant disease	3类 Class	1	196.264 <sup>a</sup>	86.0	86.0	0.997
		2	32.002 <sup>a</sup>	14.0	100.0	0.985

分布情况也不相同。当类间距离为 3 时,虫害分成 3 类,各组质心的 Fisher 判别函数分布如图 5。当类间距离为 3 时,病害分成 3 类,各组质心的 Fisher 判别函数分布如图 6。由图 5 和图 6 可知,类间距离为 3 时,各类别组的组质心分散均匀,不同组间的病虫害具有较强的区分性。

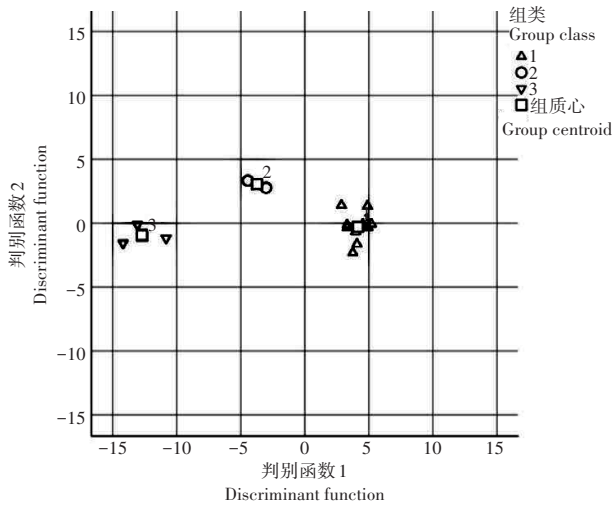


图5 虫害判别函数分布图

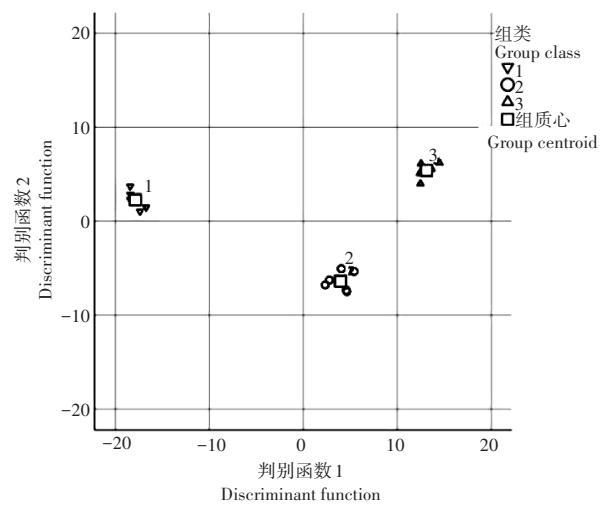


图6 病害判别函数分布图

Figure 5 Distribution of pest discrimination function Figure 6 Distribution of disease discrimination function

利用 Fisher 判别函数模型进行原始分类验证和交叉分类验证。当虫害聚类为 3 类时,原始分类正确率为 100%,交叉验证正确率为 100%;当病害聚类为 3 类时,原始分类正确率为 100%,交叉验证正确率为 100%。充分验证了基于病虫害多样性指标的系统聚类分析能正确地将黔东南州楠竹病虫害分类识别出来。

### 3 讨论与结论

本研究结果表明,全州虫害分属 8 目 30 科 39 种,病害为 12 种,分属 8 目。相较易筑刚等<sup>[38]</sup>报道贵州省楠竹病虫害 7 目 13 科 17 种,楠竹病害 5 种,本次调查研究虫害增加 1 目 17 科 22 种,病害增加 7 种。可见随着时间、气候、生态环境的改善以及生态文明化建设的推进,全州楠竹病虫害在种类上发生了较大的变化。

病虫害取食或者危害楠竹叶片会直接影响 CO<sub>2</sub> 的吸收效率,同时也会影响到次年楠竹的出笋和生长;另外当年新生竹笋的受害,影响楠竹林分主要固碳部位竹材的形成,从而严重影响到楠竹林的固碳功能和潜力。从受害部位情况看,叶部病虫害种类数量最多,达到了 28 种,其中虫害达到 24 种,病害 4 种。在吸碳方面,叶部病虫害成为了影响楠竹林分固碳最为严重受害部位,是从吸收 CO<sub>2</sub> 的角度精准提升楠竹林分固碳潜力关注的焦点。竹叶将 CO<sub>2</sub> 吸收后,绝大部分的碳是被储存在竹材中。而直接影响竹材形成的竹笋、干部及其枝、梢部位病虫害,种类达到了 34 种,其中:竹笋病虫害达到 9 种,枝、梢病虫害 14 种,干部病虫害 11 种。从储碳角度精准提升楠竹林分固碳潜力,防治工作要重点聚焦到竹笋、竹干及其枝、梢部位的病虫害的种类和发生。

黔东南州楠竹病虫害种类丰富,物种丰富度(S)虫害达到 36,病害达到 12,防治和测报难度相对较大。Simpson 优势集中性指数是反映各物种种群数量的变化情况,生态优势度指数越大,说明群落内物种数量分布越不均匀,优势种的地位越突出<sup>[32]</sup>。一般生态优势度指数大于 0.1 的为绝对优势种,大于 0.01 的为主要优势种<sup>[42]</sup>。黔东南州楠竹林虫害优势度指数大于 0.1 为绝对优势种的有 8 个县,占 50%,主要集中在州西北部地区;优势度在 0.01 ~ 0.1 之间为主要优势种的也有 8 个县,占 50%,主要集中在州东南部地区。病害优势度指数全州 16 个县都大于 0.1,均为绝对优势种。从物种丰富度、主要优势种、Shannon-Wiener 指数的具体指标值,可知楠竹病虫害分布呈现出由州西北部向东南部逐渐增大的趋势,除了与总体地势和资源总量存在相关性外,可能与州东南部地区气候、土壤等条件的优越

性有关。黔东南州处于云贵高原向湘桂丘陵盆地过渡地带,适宜的气候、优越的土壤条件、丰富的资源总量极易导致该区域楠竹病虫害种群及数量的富集,给防控工作带来更多的不确定性,防控技术面临诸多挑战。

为统筹做好全州楠竹病虫害防治工作,精准提升楠竹林分固碳潜力,有效采取有针对性、差异化的防治措施,实现以防为主,治早治小,提高防治成效,提升楠竹林分固碳能力,需要将全州的楠竹病虫害进行划分区域防治。本研究首次基于病虫害多样性指标,采用系统聚类分析法对楠竹病虫害防治进行防治区域划分,并对防治区域划分结果进行验证。从典则判别函数特征值解释总方差的比例、典型相关性和Fisher判别函数各组质心均匀分散情况,可知系统聚类结果准确性的依据充分、防治区域划分结果区分性较高;在进行Fisher判别函数模型验证时,原始分类和交叉分类验证得到了正确率均为100%的结果。从相似性分析结果看,虫害榕江和黎平聚为一类时相似性指数达到0.8947,而天柱、锦屏、从江聚为一类时相似性指数都大于0.70;病害锦屏、天柱、榕江、从江、黎平聚为一类时相似性指数达到1.0;也可有力地支持基于多样性指标的系统聚类防治区划结果的科学性。因此认为基于病虫害多样性指标的系统聚类防治区划结果具有准确性和科学性,可以应用于防治实践工作。

#### 参考文献:

- [1] 顾卿先,谭伟,杨学义,等.基于中巴资源卫星(CBERS)马尾松林蓄积量RS反演模型研究[J].凯里学院学报,2017,35(3):76-79.
- [2] 蔡凯.毛竹SOD基因家族生物信息学与功能分析[D].杭州:浙江农林大学,2018.
- [3] 李翀.毛竹林碳积累特征与碳汇功能经营调控研究[D].北京:北京林业大学,2018.
- [4] 熊彩云,刘东明,黎美莲,等.江西毛竹林主要病虫害的综合防治策略[J].世界竹藤通讯,2006,4(4):40-42.
- [5] 周春来,吴小芹,吉静,等.南京地区竹类病害发生状况及防治对策[J].南京林业大学学报(自然科学版),2011,35(1):127-131.
- [6] 丁丽萍,王丽文,陆登广.福建省毛竹病虫害发生及综合防治对策[J].江苏林业科技,2000,27(2):62-65.
- [7] GRANATO D,SANTOS J S,ESCHER G B,et al.Use of principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA) for multivariate association between bioactive compounds and functional properties in foods:A critical perspective[J].Trends in Food Science & Technology,2018,72:83-90.
- [8] 田兵.系统聚类法及其应用研究[J].阴山学刊(自然科学版),2014,28(2):11-16.
- [9] 王淑华.“双碳”背景下国有林场多功能分区及发展对策——以青州市杨集林场为例[D].泰安:山东农业大学,2022.
- [10] 蒿萌,张素云,解文娟,等.基于系统聚类和PPCC检验法的极端暴雨风险区划[J].水电能源科学,2022,40(11):1-5.
- [11] 王冰,伯玥,姜如茵,等.基于聚类分析的胶东半岛苹果种植气候区划[J].江苏农业科学,2019,47(7):134-138.
- [12] 黄磊,齐大鹏,杨士凯,等.贵州省杉木人工林气候区划研究[J].现代农业科技,2021(21):136-139.
- [13] 李宁,芦红.基于聚类分析的水资源利用区划方法[J].沈阳工业大学学报,2021,43(4):425-431.
- [14] 陈培彬,张精,曾芳芳,等.基于聚类分析的福建省生态农业功能区划研究[J].世界农业,2019(10):111-117.
- [15] 李冠宇,李鹏,郭敏,等.基于聚类分析法的地质灾害风险评价——以韩城市为例[J].科学技术与工程,2021,21(25):10629-10638.
- [16] 王金秀.山东省森林病虫害灾害区划分析[D].南京:南京林业大学,2007.
- [17] ZUO Y N,JIN F X,JI M,et al.Disaster risk regionalization and prediction of corn Thrips combined with cloud model:A case study of Shandong Province,China[J].Land,2023,12(3):709.
- [18] MÉNDEZ-VÁZQUEZ L J,LASA-COVARRUBIAS R,CERDEIRA-ESTRADA S,et al.Using simulated pest models and biological clustering validation to improve zoning methods in site-specific pest management[J].Applied Sciences,2022,12(4):1900.
- [19] 尚慧艳.川东北四区(县)主要竹资源及其病虫害的调查研究[D].南充:西华师范大学,2017.
- [20] 陆家云.植物病原真菌学[M].北京:中国农业出版社,2001.
- [21] 乔格侠.中国动物志[M].北京:科学出版社,2018.
- [22] 徐天森,王浩杰.中国竹子主要害虫[M].北京:中国林业出版社,2004.
- [23] 胡国良,俞彩珠,华正媛.竹子病虫害防治[M].北京:中国农业科技出版社,2005.
- [24] 赵仁友.竹子病虫害防治彩色图鉴[M].北京:中国农业科技出版社,2006.

- [25] 田立新. 中国经济昆虫志[M]. 北京:科学出版社,1996.
- [26] 张巍巍,李元胜. 中国昆虫生态大图鉴[M]. 重庆:重庆大学出版社,2011.
- [27] 曹雅忠,李克斌. 中国常见地下害虫图鉴[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2017.
- [28] 魏鸿钧,张治良,王荫长. 中国地下害虫[M]. 上海:上海科学技术出版社,1989.
- [29] 荣 亮. 上海市崇明岛昆虫多样性初步研究[D]. 上海:华东师范大学,2009.
- [30] 赵志模,郭依泉. 群落生态学原理与方法[M]. 重庆:科学技术文献出版社,1990.
- [31] 额尔敦毕力格. 呼和浩特市东部地区昆虫多样性及活动节律的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古大学,2014.
- [32] 马云锡,相 栋,臧建成,等. 西藏东南地区不同海拔果树昆虫群落多样性研究[J]. 中国果树,2021(2):40-45,59.
- [33] 马克平,刘玉明. 生物生境类型多样性的测度方法 1: $\alpha$ 多样性测试方法(下)[J]. 生物多样性,1994,2(4):231-239.
- [34] 姜 洋. 壶瓶山昆虫物种多样性研究[D]. 长沙:中南林学院,2004.
- [35] WHITTAKER R H. Evolution and measurement of species diversity[J]. Tazon, 1972, 21(2/3): 213-251.
- [36] 陈振宁,曾 阳. 青海祁连地区不同生境类型蝶类多样性研究[J]. 生物多样性,2001,9(2):109-114.
- [37] 朱晓晗,姜 红,崔傲松,等. 基于 Fisher 判别分析的一次性塑料手套光谱鉴别[J]. 塑料工业,2020,48(7):108-112,116.
- [38] 易筑刚,沈晓君,李银会,等. 贵州省楠竹病虫害调查初报[J]. 贵州林业科技,2013,41(1):38-41.
- [39] 叶照春,金剑雪,周 鹏,等. 贵州果园实蝇科害虫种群多样性分析[J]. 植物保护,2022,48(1):132-139.
- [40] 刘 曙,张 博,闵 红,等. X 射线荧光光谱结合判别分析识别铁矿石产地及品牌:应用拓展[J]. 光谱学与光谱分析, 2021,41(1):285-291.
- [41] 陈 壮,姜 红. 基于因子分析和系统聚类的一次性纸杯 XRF 分析[J]. 包装工程,2023,44(19):217-222.
- [42] 王 晓,冯启言,王 涛. 环境影响评价实用教程[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2014:218.

[责任编辑 马迎杰]