

网络出版时间:2020-06-01 10:45 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2020.12.005
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.s.20200529.0830.005.html

桉树云斑天牛大尺度范围的危害特征分析

孙佳琦^{1a},董昌平²,田 艳³,陈本文³,陈桂芳³,龙训建^{1b},陈 红⁴,白耀宇^{1a}

(1 西南大学 a 植物保护学院,b 资源环境学院,重庆 北碚 400716;2 重庆市渝北玉峰山林场,重庆 渝北 431120;

3 重庆市林业科学研究院,重庆 沙坪坝 400036;4 重庆市涪陵高级中学,重庆 涪陵 408100)

【摘 要】【目的】研究桉树云斑天牛大尺度范围的危害特征,为进一步科学有效制定云斑天牛防控措施提供参考依据。【方法】2017 年 7—9 月系统调查了重庆市 19 个区县 102 个桉树林云斑天牛危害样点,通过解剖受害树干系统分析云斑天牛的危害特征及其相关影响因素。在此基础上,利用主成分分析法研究桉树云斑天牛致灾的关键因素,并评估各调查点桉树云斑天牛危害的风险水平。【结果】重庆桉树林调查点云斑天牛轻度、中度及重度危害的受害株率分别为 3.4%,15.8%和 55.3%,平均值达到 40.2%,为重度且成灾水平。危害特征分析结果表明,当年有效刻槽数(虫口密度)与无效刻槽数在云斑天牛重度危害下存在显著相关性($P<0.05$);无论是同一树高不同危害程度间还是同一危害程度不同树高间,当年株均无效刻槽数均有明显的规律变化,且出现了显著性差异($P<0.05$)。当年虫口密度在轻度、中度及重度危害下均以树高区间 ≤ 1.0 m 为主,且 ≤ 1.0 m 显著多于 3.1 m 以上($P<0.05$);同一树高区间虫口密度均为重度危害显著大于轻度和中度危害($P<0.05$),轻度和中度危害间差异不显著($P>0.05$)。在轻度和中度危害下,受害株率与虫口密度的关系模型更适合用三次函数方程表示,但多数差异不显著($P>0.05$);在重度及总危害条件下,树高 ≤ 1.0 m 及总高度上受害株率与虫口密度的关系可用幂函数表示,其他高度受害株率与虫口密度的关系符合三次函数关系,且多数差异显著($P<0.05$)。相关性和主成分分析结果表明,受害株率与虫口密度均受到林分类型和桉树品种的极显著影响($P<0.01$)。基于调查点各因素得分的 PCA 排序表明,无危害和轻度危害样点的生境条件及危害特征相似性高,重度危害则差异很大,而中度危害居于前 2 类中间,呈明显的过渡特征。铜梁、璧山、丰都、渝北、垫江、长寿和永川等区县具有高风险危害中心。【结论】重庆各调查样点桉树云斑天牛种群数量呈上升趋势,危害程度总体属于重度且成灾水平;不同危害程度下受害株率与虫口密度的关系可用三次函数或幂函数表示;重度危害下各样点桉树云斑天牛的危害特征与生境条件差异很大,林分类型和桉树品种是云斑天牛致灾的关键因素。

【关键词】云斑天牛;桉树;危害特征;主成分分析;重庆

【中图分类号】S763.380.3

【文献标志码】A

【文章编号】1671-9387(2020)12-0034-13

Damage characteristics of *Batocera lineolata* in eucalypti plantations in a large scale

SUN Jiaqi^{1a},DONG Changping²,TIAN Yan³,CHEN Benwen³,CHEN Guifang³,
LONG Xunjian^{1b},CHEN Hong⁴,BAI Yaoyu^{1a}

(1 a College of Plant Protection,b College of Resource and Environment, Southwest University, Beibei, Chongqing 400716, China;

2 Yufengshan Forest Farm of Yubei, Chongqing, Yubei, Chongqing 431120, China; 3 Chongqing Academy of Forestry, Shapingba,

Chongqing 400036, China; 4 Fuling Senior Middle School of Chongqing, Fuling, Chongqing 408100, China)

Abstract: 【Objective】 This study aims at analyzing damage characteristics of *Batocera lineolata* in eucalypti plantations of Chongqing to provide reference for effective control of pest population. 【Method】 Field investigations were conducted from July to September, 2017 at 102 locations of eucalypti plantations

【收稿日期】 2019-11-08

【基金项目】 重庆市科技局社会民生项目(cstc2017shms-xdny80070)

【作者简介】 孙佳琦(1995—),男,河南郑州人,在读硕士,主要从事昆虫生态学研究。E-mail:1782787633@qq.com

【通信作者】 白耀宇(1970—),男,甘肃平川人,教授,博士,主要从事昆虫生态学研究。E-mail:yybai711@163.com

in 19 counties of Chongqing and the basic conditions for damage of *B. lineolata* were analyzed. The critical factors influencing the damage differences of *B. lineolata* in different plantations were also studied by the principal component analysis (PCA). 【Result】 The damage caused by *B. lineolata* varied considerably in eucalypti plantations at all sampling points. In lightly, moderately and heavily infested plantations, 3.4%, 15.8% and 55.3% trees were infested with the average infestation of 40.2% in the level of heavy damage. The larvae mainly infested eucalypti trunks below 1.0 m and 1.1–2.0 m. In heavily infested plantations, the yearly effective notch groove showed a significant correlation with the ineffective one ($P < 0.05$). The number of ineffective notch groove below 1.0 m and 1.1–2.0 m was higher than that 2.1–3.0 m and above 3.1 m for all damage levels, and significant differences were found in heavy degree ($P < 0.05$). The individual number of larvae was significantly higher in trunks below 1.0 m than those above 3.1 m ($P < 0.05$). For same height of trunk, there was no significant differences between slight and moderate damages ($P > 0.05$), while the numbers of larvae in heavy damage were significantly greater than in slight and moderate damages ($P < 0.05$). The regression analysis indicated that cubic function models were more suitable for the correlation between damage rate and population density of larvae in sampling plantations with slight and moderate damages without significant differences in most cases ($P > 0.05$). For the sampling plantations with heavy and total damages, power function models were more suitable for the correlation in the total height or below 1.0 m. In contrast, cubic function models were more suitable for the correlation in other heights of trunks, and most models varied greatly in regression correlation ($P < 0.05$). The effects of several environmental factors on damage rate and population density of larvae varied among all eucalypti plantations, and there were very significant effects in forest type and eucalypti variety ($P < 0.01$). Forest type and eucalypti variety were the largest environmental factors affecting damage degree in different plantations. The principal component analysis (PCA) showed that greater difference existed in damage degree and environmental factors among different plantations and damage levels. Comprehensive values of principal components suggested that the similarity of habitat conditions and damage characteristics was the highest in the sampling plantations with no damage or slight damage, while significant difference was found in those with moderate damage and heavy damage. The areas with high risk included Tongliang, Bishan, Fengdu, Yubei, Dianjiang, Changshou and Yongchuan. 【Conclusion】 The damage of *B. lineolata* in the sampling eucalypti plantations of Chongqing reached heavy damage that can cause disasters. The correlation between damage rates and population density in different plantations can be described by power function or cubic function models, and forest type and eucalypti variety have key effects on the difference of damage rates and population density among sampling points.

Key words: *Batocera lineolata*; eucalypti; damage characteristics; principal component analysis; Chongqing

桉树原产于澳洲,是桃金娘科(Myrtaceae)桉果木属(*Angophora*)、伞房属(*Corymbia*)和桉树属(*Eucalyptus*)树种的总称,被联合国粮农组织推荐为三大速生造林树种之一。目前桉树已成为我国南方速生丰产林的战略树种,主产区是广东、广西、海南、云南、福建、四川和重庆等地,栽植面积超过了368万 hm^2 ,分别占人工林和森林面积的5%和1.27%。近十几年来,重庆速生桉良种引进与快繁技术得到快速发展,桉树栽植区涉及渝西生态经济区和三峡库区等20多个区县,极大地推动了当地经济发展和三峡库区生态环境的改善^[1-2]。随着大面积

速生桉纯林的营造以及有效监管和治理措施的缺失,病虫害威胁在不断上升,尤其是蛀干类云斑天牛的危害与传播导致大规模栽植的速生桉纯林产业面临严峻挑战。

云斑天牛(*Batocera lineolata* Chevrolat),又名云斑白条天牛,属鞘翅目(Coleoptera)天牛科(Cerambycidae),是我国重大林木多食性蛀干害虫,主要危害用材林和经济林。其幼虫在树干木质部钻蛀坑道,致使树木衰弱,易遭风折枯死,严重时会导致成片林木枯死,影响到树木的经济、生态和社会效益^[3]。目前,该虫在我国危害面积较大和较重的树

种主要有江汉平原的杨树^[4]、全国各地的核桃树^[5-7]和黄河三角洲的白蜡^[8-9]以及近年来南方地区的速生桉和杨树等^[4,10-11]。云斑天牛在重庆普遍发生,其种群数量基数大且呈不断上升趋势,主要危害树种包括杨树、桉树、核桃树和桑树等^[12-14]。

目前有关云斑天牛在各地发生及危害特性的报道多集中在小范围调查或有限的几个采样点(标准地),且以探讨其扩散特性^[15]或分析其种群空间格局、抽样技术及生息坑道等为主^[9-10,16]。尽管也有学者开展了多年调查,但也仅集中在小尺度样点上的时空动态分析^[17]。此外,有报道认为云斑天牛侵入不同地域后会适应当地的小气候,其危害特性会随寄主树种不同而有所变化^[18]。因此,欲真实和全面了解该虫较大尺度范围的危害规律及其风险特征,开展大面积有针对性的系统调查和研究尤为必要和迫切。基于此,本研究在重庆局部区县桉树分布调查及分析基础上^[14],进一步开展重庆市桉树主栽区云斑天牛发生及危害规律大尺度视野下的研究,旨在为重庆市科学有效地控制该虫发生提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区及桉树栽植概况

重庆市(105°11′—110°11′E, 28°10′—32°13′N)位于中国内陆西南部、长江上游地区,市辖 38 个区县,地貌以丘陵和山地为主,属亚热带季风性湿润气候,年均气温 18.5℃,年均降雨量 1 091 mm,年均日照 1 100 h,无霜期 340~350 d。

重庆引种桉树已有 70 多年历史,但由于早期在引进新品种时未对其进行遗传改良,加上生态条件限制,桉树速生的性质未得到发挥,这直接导致经自然淘汰并适宜当地栽植的品种很少,仅有的几个老品种,如大叶桉(*Eucalyptus robusta*)、蓝桉(*E. globulus*)、邓恩桉(*E. dunnuui*)和赤桉(*E. camaldulensis*)等多为四旁栽植,成片林极其罕见^[1]。进入 21 世纪以来,为了加速重庆经济发展,改善三峡库区生态环境和水土保持,尤其是国家“天保工程”的实施及木材需求量上升等因素的影响,重庆速生桉良种引进与快繁技术得到迅猛发展,并将研发的优良无性系桉树在渝西生态经济区和三峡库区等 20 多个区县推广种植。迄今,桉树已成为重庆速生丰产林的标志性树种,如尾巨桉(*E. urophylla* × *E. grandis*)和巨尾桉(*E. grandis* × *E. urophylla*)等在永川、荣昌、铜梁、合川、大足、璧山、长寿、綦江、涪陵、丰都等 20 多个区县都有大面积栽植^[1-2]。

1.2 调查及研究方法

2017 年 7—9 月对重庆速生桉主栽区云斑天牛的危害情况进行全面系统调查。调查主要涉及渝西 18 个区县,分别是北碚区、巴南区、璧山区、长寿区、垫江区、大足区、丰都县、涪陵区、合川区、江津区、九龙坡区、南川区、綦江区、荣昌区、铜梁区、潼南区、渝北区和永川区(表 1)。另外,在远离主栽区的渝东北地区也有少量速生桉栽植,为了进行对比研究和了解该虫在不同地域的危害特性,同时选择重庆市巫溪县作为调查地点(表 1)。调查桉树品种为当地主栽的尾巨桉和巨尾桉。

在调查前根据重庆桉树的主栽现状及前期调查情况进行整体规划,并参考当地林业局森防站提供的信息,确保调查能基本反映当地云斑天牛的实际危害程度。利用手持式 GPS 测绘仪(Garmin 公司 Oregon 750)测定每个调查点的地理坐标和海拔,同时测量每个调查点所有样株树干 1.2 m 处的胸围,然后计算胸径。另外,由于云斑天牛的发生与公路和人为扰动程度等密切相关^[14],因此各调查点桉树林的林型覆盖了公路景观林、村庄四旁绿化林和生态经济林 3 种。单个调查点面积约 0.2 hm²,受调查桉树 30~105 株,所有调查点共调查了 5 203 株。采用逐株整片抽样法,对每个调查点所有样株从靠近地面的树干基部向上至树梢,按≤1.0, 1.1~2.0, 2.1~3.0 和≥3.1 m 4 个区间,统计云斑天牛当年有效刻槽数、无效刻槽数(简称刻槽数)和羽化孔数。其中当年有效刻槽为卵正常孵化并钻蛀危害的刻槽,即排粪孔或有虫蛀孔,其数量也代表受害的虫口密度;无效刻槽指当年空壳或卵未孵化死亡的刻槽。此外,统计林内受云斑天牛危害后风折木数量。

为了获得调查期所有样点云斑天牛真实的虫态及其发育指标,也为了校订该虫在每个林地因树木生长情况(是否有树皮脱落)和受害孔较高或旧受害孔影响而造成的误差,一般在每个样点砍倒 1~2 株桉树,记录天牛幼虫数量,比较记录当年天牛危害孔数并观察危害孔数的差异,同时测定其体长、前胸背板宽度及头壳宽度。共采集和记录云斑天牛幼虫 1 049 头。

按“LY/T 2108—2013 云斑天牛防治技术规范”中的划分标准进行云斑天牛危害程度分级,具体为:受害株率为 0 的属无危害,受害株率 1%~10% 为轻度危害,受害株率 11%~20% 为中度危害,受害株率 21% 以上为重度危害;成灾标准是受害株率 20% 以上。

表 1 2017 年重庆不同区县桉树云斑天牛调查地点基本信息

Table 1 Basic statistics of eucalypti *Batocera lincolata* in different sample points in Chongqing,2017

调查点编号 Sampling point number	调查日期 Date	区县和乡镇 County and town	海拔/m Altitude	调查株数 Number of sampling trees	受害株率/% Percentage of trees with insects	危害程度 Damage degree
1	07-31	永川区中山路街道 Zhongshanlu town, YC	345	45	66.7	HD
2	07-31	永川区三教镇 Sanjiao town, YC	319	70	44.3	HD
3	08-01	永川区松溉镇 Songgai town, YC	270	70	81.4	HD
4	08-01	永川区金龙镇 Jinlong town, YC	360	41	75.6	HD
5	08-01	永川区金龙镇 Jinlong town, YC	419	70	17.1	MD
6	08-01	永川区何埂镇 Hegeng town, YC	340	65	56.9	HD
7	08-02	大足区双流镇 Shuangliu town, DZ	436	51	39.2	HD
8	08-02	大足区双流镇 Shuangliu town, DZ	381	31	19.4	MD
9	08-02	大足区通桥镇 Tongqiao town, DZ	376	35	51.4	HD
10	08-03	荣昌区仁义镇 Renyi town, RC	395	70	12.9	MD
11	08-03	荣昌区古昌镇 Guchang town, RC	400	70	28.6	HD
12	08-03	荣昌区古昌镇 Guchang town, RC	411	70	57.1	HD
13	08-04	荣昌区广顺街道 Guangshun town, RC	478	59	33.9	HD
14	08-04	荣昌区盘龙镇 Panlong town, RC	388	70	60.0	HD
15	08-04	荣昌区盘龙镇 Panlong town, RC	466	58	62.1	HD
16	08-06	璧山区七塘镇 Qitang town, BS	359	66	47.0	HD
17	08-06	璧山区八塘镇 Batang town, BS	324	30	77.8	HD
18	08-07	潼南区桂林街道 Guilin town, TN	271	35	22.9	HD
19	08-07	潼南区梓潼街道 Zitong town, TN	340	47	23.4	HD
20	08-07	潼南区梓潼街道 Zitong town, TN	341	105	0.0	N
21	08-07	潼南区田家镇 Tianjia town, TN	297	80	1.3	SD
22	08-07	潼南区程林街道 Chenglin town, TN	324	35	8.6	SD
23	08-08	铜梁区维新镇 Weixin town, TL	235	35	54.3	HD
24	08-08	铜梁区维新镇 Weixin town, TL	235	70	52.9	HD
25	08-08	铜梁区维新镇 Weixin town, TL	276	45	31.1	HD
26	08-08	铜梁区少云镇 Shaoyun town, TL	280	35	20.0	MD
27	08-08	铜梁区少云镇 Shaoyun town, TL	281	70	0.0	N
28	08-08	铜梁区少云镇 Shaoyun town, TL	304	30	53.6	HD
29	08-08	铜梁区太平镇 Taiping town, TL	304	90	1.1	SD
30	08-08	铜梁区太平镇 Taiping town, TL	304	30	66.7	HD
31	08-09	合川区云门街道 Yunmen town, HC	244	53	60.4	HD
32	08-09	合川区钱塘镇 Qiantang town, HC	140	35	60.0	HD
33	08-09	合川区钱塘镇 Qiantang town, HC	239	56	58.9	HD
34	08-10	璧山区大路街道 Dalu town, BS	321	30	50.0	HD
35	08-10	璧山区大路街道 Dalu town, BS	376	70	64.3	HD
36	08-10	璧山区璧城街道 Bicheng town, BS	337	58	48.3	HD
37	08-10	璧山区青杠街道 Qinggang town, BS	340	61	60.7	HD
38	08-10	璧山区大兴镇 Daxing town, BS	359	35	94.3	HD
39	08-11	九龙坡区西彭镇 Xipeng town, JL	283	35	34.3	HD
40	08-11	九龙坡区西彭镇 Xipeng town, JL	284	35	31.4	HD
41	08-11	九龙坡区西彭镇 Xipeng town, JL	220	70	38.6	HD
42	08-11	九龙坡区铜罐驿镇 Tongguanyi town, JL	197	35	17.1	MD
43	08-11	九龙坡区铜罐驿镇 Tongguanyi town, JL	250	47	36.2	HD
44	08-11	九龙坡区金凤镇 Jinfeng town, JL	291	55	58.2	HD
45	08-14	江津区德感镇 Degan town, JJ	243	70	47.1	HD
46	08-14	江津区吴滩镇 Wutan town, JJ	517	30	22.2	HD
47	08-14	江津区吴滩镇 Wutan town, JJ	495	70	1.4	SD
48	08-14	江津区吴滩镇 Wutan town, JJ	467	35	42.9	HD
49	08-15	江津区贾嗣镇 Jiasi town, JJ	282	35	25.7	HD
50	08-15	江津区贾嗣镇 Jiasi town, JJ	293	30	0.0	N
51	08-16	渝北区洛滨镇 Luozi town, YB	252	44	25.0	HD
52	08-16	渝北区王家街道 Wangjia town, YB	394	100	30.0	HD
53	08-16	渝北区古路镇 Gulu town, YB	503	44	77.3	HD
54	08-17	巴南区一品街道 Yipin town, BN	417	99	47.5	HD
55	08-17	巴南区一品街道 Yipin town, BN	383	35	0.0	N
56	08-17	巴南区安澜镇 Anlan town, BN	464	30	14.8	MD
57	08-17	巴南区南彭街道 Nanpeng town, BN	447	22	13.6	MD
58	08-17	巴南区南彭街道 Nanpeng town, BN	517	95	1.1	SD
59	08-18	南川区南城街道 Nancheng town, NC	625	73	26.0	HD

表 1(续) Continued table 1

调查点编号 Sampling point number	调查日期 Date	区县和乡镇 County and town	海拔/m Altitude	调查株数 Number of sampling trees	受害株率/% Percentage of trees with insects	危害程度 Damage degree
60	08-19	北碚区澄江镇 Chengjiang town,BB	142	51	66.7	HD
61	08-19	綦江区中峰镇 Zhongfeng town,QJ	492	61	70.5	HD
62	08-21	綦江区永新镇 Yongxin town,QJ	407	30	0.0	N
63	08-21	綦江区古南街道 Gunan town,QJ	370	70	81.4	HD
64	08-21	綦江区古南街道 Gunan town,QJ	388	70	60.0	HD
65	08-21	綦江区永新镇 Yongxin town,QJ	364	42	7.1	SD
66	08-21	綦江区三江街道 Sanjiang town,QJ	386	79	0.0	N
67	08-22	綦江区赶水镇 Ganshui town,QJ	531	50	0.0	N
68	08-22	綦江区赶水镇 Ganshui town,QJ	538	37	0.0	N
69	08-22	綦江区赶水镇 Ganshui town,QJ	362	47	85.1	HD
70	08-22	綦江区篆塘镇 Zhuantang town,QJ	387	39	0.0	N
71	08-22	綦江区篆塘镇 Zhuantang town,QJ	338	34	0.0	N
72	08-22	綦江区新盛镇 Xinsheng town,QJ	311	30	0.0	N
73	08-23	长寿区合新镇 Hexin town,CS	391	70	18.6	MD
74	08-23	长寿区凤城街道 Fengcheng town,CS	299	46	69.6	HD
75	08-23	长寿区凤城街道 Fengcheng town,CS	330	70	54.3	HD
76	08-23	长寿区渡舟街道 Duzhou town,CS	460	41	51.2	HD
77	08-23	长寿区双龙镇 Shuanglong town,CS	473	34	14.7	MD
78	08-23	垫江区澄溪镇 Chengxi town,DJ	427	68	89.7	HD
79	08-24	垫江区砚台镇 Yantai town,DJ	392	70	51.4	HD
80	08-24	垫江区太平镇 Taiping town,DJ	451	54	35.2	HD
81	08-24	垫江区太平镇 Taiping town,DJ	410	48	41.7	HD
82	08-24	垫江区黄沙镇 Huangsha town,DJ	466	44	70.5	HD
83	08-24	垫江区黄沙镇 Huangsha town,DJ	440	47	57.4	HD
84	08-25	涪陵区江北街道 Jiangbei town,FL	276	50	34.0	HD
85	08-25	涪陵区江北街道 Jiangbei town,FL	530	41	85.4	HD
86	08-25	涪陵区江北街道 Jiangbei town,FL	343	46	65.2	HD
87	08-25	涪陵区蔺市镇 Linshi town,FL	649	35	37.1	HD
88	08-25	涪陵区龙桥街道 Longqiao town,FL	356	30	92.9	HD
89	08-26	垫江区大石乡 Dashi town,DJ	415	30	71.4	HD
90	08-26	丰都县社坛镇 Shetan town,FD	351	35	62.9	HD
91	08-26	丰都县社坛镇 Shetan town,FD	333	35	17.1	MD
92	08-26	丰都县社坛镇 Shetan town,FD	390	35	60.0	HD
93	08-26	丰都县保合镇 Baohe town,FD	349	35	31.4	HD
94	08-26	丰都县保合镇 Baohe town,FD	493	70	84.3	HD
95	08-26	丰都县三元镇 Sanyuan town,FD	435	35	45.7	HD
96	08-26	丰都县三元镇 Sanyuan town,FD	327	35	91.4	HD
97	08-26	丰都县三元镇 Sanyuan town,FD	620	84	13.1	MD
98	08-30	巫溪县大河乡 Dahe town,WX	308	35	14.3	MD
99	08-30	巫溪县宁厂镇 Ningchang town,WX	422	35	0.0	N
100	08-30	巫溪县中岗乡 Zhonggang town,WX	270	35	0.0	N
101	08-30	巫溪县上碛镇 Shanghuang town,WX	898	70	12.9	MD
102	09-02	荣昌区仁义镇 Renyi town,RC	395	35	97.1	HD

注:1. HD、MD、SD 和 N 分别代表重度危害、中度危害、轻度危害和无危害。2. BB、BN、BS、CS、DJ、DZ、FD、FL、HC、JJ、JL、NC、QJ、RC、TL、TN、WX、YB 和 YC 分别代表北碚区、巴南区、璧山区、长寿区、垫江区、大足区、丰都县、涪陵区、合川区、江津区、九龙坡区、南川区、綦江区、荣昌区、铜梁区、潼南区、巫溪县、渝北区和永川区。下同。

Notes:1. HD,MD,SD and N represent heavy damage,moderate damage,slight damage and no damage,respectively. 2. BB,BN,BS,CS,DJ,DZ,FD,FL,HC,JJ,JL,NC,QJ,RC,TL,TN,WX,YB and YC represent counties Beibei,Banan,Bishan,Changshou,Dianjiang,Dazu,Fengdu,Fuling,Hechuan,Jiangjin, Jiulongpo,Nanchuan,Qijiang,Rongchang,Tongliang,Tongnan,Wuxi,Yubei and Yongchuan, respectively. The same below.

1.3 数据处理与分析

选取 18 个分析变量,包括调查株数、海拔、林分类型、树干胸径、桉树品种、羽化孔数、受害株率、≤1.0 m 排粪孔数、1.1~2.0 m 排粪孔数、2.1~3.0 m 排粪孔数、≥3.1 m 排粪孔数、不同树高区间排粪孔总数、≤1.0 m 刻槽数、1.1~2.0 m 刻槽数、

2.1~3.0 m 刻槽数、≥3.1 m 刻槽数、不同树高区间刻槽总数、林内危害风折木数。在参考统计软件 SPSS 24.0 因子分析及常规计算主成分综合得分值基础上,将计算主成分综合得分值方法进行公式表达。每个影响因素的主成分综合得分(Y_1)计算方式如下:

$$Y_1 = \sum_{j=1}^m (V_j Z_j) / V_{\text{总}}, j=1, 2, \dots, m。$$

式中: V_j 是第 j 个主成分的方差贡献率, Z_j 是第 j 个主成分的影响因子标准化后的得分, $V_{\text{总}}$ 是 j 个主成分的方差贡献率之和。

应用上述 18 个云斑天牛危害特征参数和环境因子,在 CANOCO 5.0 软件中绘制各区县调查点的 PCA 排序图。同时,利用上述 18 个因子中的受害株率、排粪孔总数(虫口密度)、调查株数、海拔、林分类型、树干胸径、桉树品种和林内危害风折木数,计算影响调查样点桉树林云斑天牛危害差异的主成分及其综合得分值。综合得分值越大,表明生境条件及危害特征参数影响力越大。

经对数或平方根转换后,若服从正态分布和方差齐性的试验数据进行单因素方差分析(One-way ANOVA);若不服从正态分布的试验数据,采用非参数检验中 Kruskal Wallis 秩和检验(H)进行总体分析,若有统计学意义($P<0.05$),进一步用该方法

中的两两成对比较法检验分析。在各因素符合正态分布基础上,相关性分析采用 Pearson 法两两比较分析;若不符合正态分布,则采用 Spearman 法两两比较分析。

在受害株率与虫口密度相关性分析基础上进行回归分析,并建立回归方程。以上分析均采用 SPSS 24.0 软件完成。

2 结果与分析

2.1 桉树云斑天牛基本危害特征

2.1.1 云斑天牛危害程度 调查结果显示,重庆桉树云斑天牛以中、老龄幼虫危害为主,幼虫体长10~105 mm,前胸背板 3~17 mm,头壳宽度为 2~10 mm;8月下旬始见其蛹,偶有成虫存活。云斑天牛无危害、轻度危害、中度危害及重度危害的样点数依次为 13,6,13 和 70 个,分别占总调查样点数的 12.8%,4.9%,12.8%和 69.5%(图 1)。

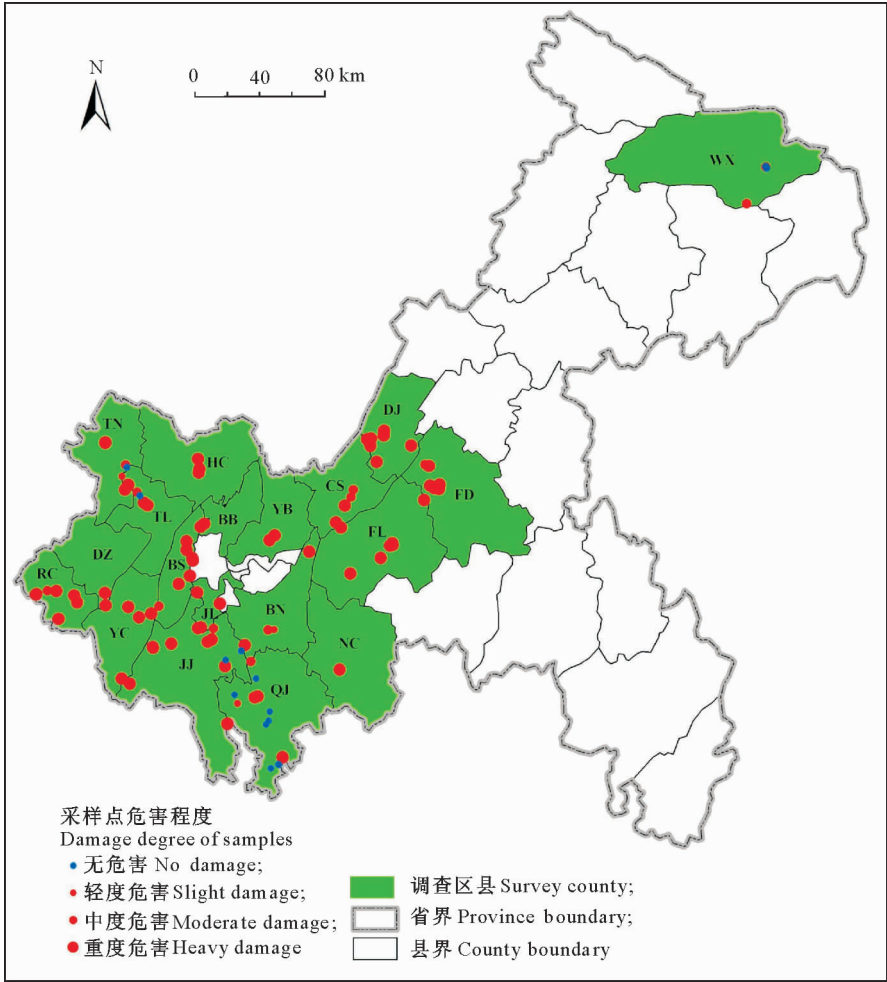


图 1 重庆桉树云斑天牛危害分布
Fig. 1 Distribution of damage of eucalypti *Batocera lineolata* in Chongqing

由表 2 可知,桉树云斑天牛轻度、中度及重度危害的受害株率分别为 3.4%,15.8%和 55.3%,重度危害显著大于轻度和中度危害($P<0.05$),轻度与中度危害间差异不显著($P>0.05$);所有调查样点桉树云斑天牛危害的受害株率平均值为 40.2%,说

明重庆桉树云斑天牛已达到重度危害且达成灾标准。由表 2 还可知,受害株率在各桉树林样点的变异程度依次为轻度危害>重度危害>中度危害;不同危害程度下调查样点的海拔、调查株数和胸径均差异不显著($P>0.05$)。

表 2 重庆桉树云斑天牛危害情况

危害程度 Damage degree	海拔/m Altitude	调查株数 Tree numbers per sampling point	树干胸径/cm Trunk diameter at breast height	受害株率/% Damage rate	
				测定值 Measured value	变异系数 Coefficient of variation
无危害 No damage	376.0±23.7 a	46.7±6.5 a	13.9±0.7 a	0	0
轻度危害 Slight damage	383.5±40.0 a	68.7±10.2 a	13.6±1.0 a	3.4±0.4 a	100.7
中度危害 Moderate damage	431.2±48.4 a	47.5±5.9 a	13.1±0.9 a	15.8±0.7 a	16.0
重度危害 Heavy damage	362.3±12.1 a	50.8±2.0 a	14.1±0.5 a	55.3±2.4 b	35.9
均值 Mean	374.1±11.1	50.9±1.9	13.9±0.4	40.2±2.8	50.9

注:同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note:Different lowercase letters represent significant differences ($P<0.05$).

2.1.2 云斑天牛刻槽和虫口密度 当年有效刻槽数(有虫蛀孔或排粪孔)和无效刻槽数(简称刻槽数)相关性分析显示,在轻度和中度危害下,这两种刻槽数间均无显著相关性($P>0.05$),但在重度危害下存在显著相关性($P<0.05$),相关系数为0.619。

无论是同一树高区间下不同危害程度间还是同一危害程度下不同树高区间比较,云斑天牛当年株均刻槽数均出现了明显的规律变化(表 3)。轻度、中度和重度危害的刻槽数主要在树高 2.0 m 以下,且在重度危害各区间分布均较多。在同一树高区

间,重度危害的刻槽数显著高于中度危害($P<0.05$),且轻度与中度危害间差异不显著($P>0.05$)。在轻度危害下,不同树高区间的刻槽数均差异不显著($P>0.05$);在中度危害下,树高 1.0 m 以下刻槽数显著高于 2.1 m 以上各区间($P<0.05$),但 1.0 m 以下与 1.1~2.0 m 间差异不显著($P>0.05$);在重度危害下,1.0 m 以下和 1.1~2.0 m 刻槽数均显著高于其他区间($P<0.05$),且两者间差异不显著($P>0.05$)(表 3)。

表 3 不同危害程度及树干高度下云斑天牛的株均刻槽数

危害程度 Damage degree	株均刻槽数 Numbers of notch groove per tree			
	≤1.0 m	1.1~2.0 m	2.1~3.0 m	≥3.1 m
轻度危害 Slight damage	0.558±0.212 bA	0.340±0.223 abA	0.020±0.015 abA	0.007±0.007 abA
中度危害 Moderate damage	0.845±0.198 bA	0.245±0.173 bcAB	0.015±0.013 bcBC	0.000±0.000 bcBC
重度危害 Heavy damage	2.116±0.199 aA	2.116±0.199 aA	0.609±0.110 aB	0.428±0.114 aB

注:同列数据后标不同小写字母或同行数据后标不同大写字母表示差异显著($P<0.05$)。表 4 同。
Note:Different lowercase letters in same column or capital letters in same row represent significant differences ($P<0.05$). The same for Table 4.

由表 4 可以看出,无论是同一危害程度下不同树高区间还是同一树高区间下不同危害程度间,云斑天牛当年株均虫口密度(有效刻槽数)均有明显的规律性变化。同一危害程度下不同树高区间的虫口密度从树干基部向上逐渐减少,1.0 m 以下虫口密度均显著高于 2.1~3.0 m 和 3.1 m 以上($P<0.05$);此外,中度危害 1.0 m 以下和 1.1~2.0 m 间也差异显著($P<0.05$);重度危害在 1.0 m 以下、1.1~2.0 m 和 2.1~3.0 m 间均差异显著($P<0.05$)。同一树高不同危害程度下的虫口密度均为

重度危害显著大于轻度和中度危害($P<0.05$),轻度和中度危害间差异不显著($P>0.05$)。

对不同危害程度及总危害程度下的受害株率与不同树高区间虫口密度进行相关性分析,结果见表 5。由表 5 可以看出,除轻度危害下受害株率与 1.1~2.0 m 虫口密度显著线性相关($P<0.05$)外,其他轻度和中度危害条件下受害株率与不同树高区间虫口密度均无线性显著相关性($P>0.05$);在重度及总危害程度条件下受害株率与不同树高区间(包括总高度)虫口密度均显著线性相关($P<0.05$)。

或 0.01)。通过对上述显著相关性进行回归分析,受害株率与虫口密度间的回归模型总体上可用一元幂函数或三次函数方程式表示,但在不同危害程度及树高条件下,函数关系存在明显不同。在轻度和中度危害条件下,尽管三次函数可以反映它们间的关系,但除树高 1.1~2.0 m 极显著($P<0.01$)外,

其他均差异不显著($P>0.05$);而在重度及总危害条件下,除了重度危害树高 ≥ 3.1 m 回归关系不显著($P>0.05$)外,其他回归关系均极显著($P<0.01$),其中 ≤ 1.0 m 和总高度可用幂函数反映它们间的关系,其他高度均符合三次函数关系。

表 4 不同危害程度及树干高度下云斑天牛的虫口密度

危害程度 Damage degree	株均虫口密度 Individual numbers per tree			
	≤ 1.0 m	1.1~2.0 m	2.1~3.0 m	≥ 3.1 m
轻度危害 Slight damage	0.533±0.472 bA	0.065±0.038 bBA	0.008±0.007 bCB	0.002±0.001 bCB
中度危害 Moderate damage	0.888±0.239 bA	0.132±0.043 bB	0.028±0.017 bCB	0.002±0.002 bC
重度危害 Heavy damage	3.423±0.274 aA	1.861±0.225 aB	0.735±0.105 aC	0.415±0.121 aC

表 5 不同危害程度下云斑天牛受害株率(Y)与不同树高区间虫口密度(X)的相关性及回归分析

Table 5 Correlation and regression analysis under different damage degrees between damage rates (Y) and individual numbers (X) of larval <i>Batocera lineolata</i> at different tree heights of eucalypti						
危害程度 Damage degree	树高/m Trunk height	线性相关性 Linear correlation		回归分析 Regression analysis		
		R	P	回归方程 Regression equation	R ²	P
轻度危害 Slight damage	≤ 1.0	-0.522	>0.05	—	—	—
	1.1~2.0	0.951	<0.05	$Y=1.267-17.908X+501.634X^2-1\,143.791X^3$	1.000	<0.01
	2.1~3.0	0.399	>0.05	—	—	—
	≥ 3.1	-0.478	>0.05	—	—	—
	总高度 Total	0.850	>0.05	—	—	—
中度危害 Moderate damage	≤ 1.0	0.338	>0.05	—	—	—
	1.1~2.0	0.520	<0.05	$Y=15.158-80.295X+864.255X^2-1\,876.649X^3$	0.780	<0.01
	2.1~3.0	0.037	>0.05	—	—	—
	≥ 3.1	0.311	>0.05	—	—	—
	总高度 Total	0.489	>0.05	—	—	—
重度危害 Heavy damage	≤ 1.0	0.644	<0.01	$Y=36.455X^{0.354}$	0.397	<0.01
	1.1~2.0	0.597	<0.01	$Y=40.454+8.636X+1.562X^2-0.444X^3$	0.274	<0.01
	2.1~3.0	0.379	<0.01	$Y=46.467+1.308X+37.489X^2-15.126X^3$	0.279	<0.01
	≥ 3.1	0.314	>0.05	—	—	>0.05
	总高度 Total	0.603	<0.01	$Y=33.722X^{0.285}$	0.397	<0.01
总危害 Total damage	≤ 1.0	0.762	<0.01	$Y=24.833X^{0.683}$	0.746	<0.01
	1.1~2.0	0.745	<0.01	$Y=21.293+39.301X-11.561X^2+1.15X^3$	0.491	<0.01
	2.1~3.0	0.629	<0.01	$Y=31.277+57.288X-17.985X^2-0.043X^3$	0.353	<0.01
	≥ 3.1	0.486	<0.01	$Y=35.382+303.768X-925.966X^2+794.847X^3$	0.214	<0.01
	总高度 Total	0.790	<0.01	$Y=19.144X^{0.61}$	0.629	<0.01

注:总危害结果来自轻度、中度和重度危害汇总的数据。总高度指 4 个树干高度区间汇总后的结果,即整株树干高度结果。
Note:Data of total damage is from the sum of slight,moderate and heavy damages. Data of total height is the sum of four height intervals of tree trunk,i. e. the whole tree trunk.

2.2 影响云斑天牛危害程度差异的因素

2.2.1 主要危害特征参数与环境因子的相关性

表 6 为受害株率和虫口密度(排粪孔数)2 个主要危害特征参数及 6 个环境因子间的相关性分析结果。由表 6 可知,受害株率与虫口密度极显著相关($P<0.01$),两者均受到林分类型和林内危害风折木数的极显著影响($P<0.01$);而受害株率受胸径显著影响($P<0.05$),虫口密度受桉树品种的显著影响

($P<0.05$)。在环境因素间,林分类型与桉树品种显著相关($P<0.05$),与林内危害风折木数极显著相关($P<0.01$)。另外,受害株率和虫口密度与林分类型和桉树品种的相关性分析(表 7)表明,受害株率和虫口密度均与公路景观林极显著正相关($P<0.01$),与生态林极显著负相关($P<0.01$);受害株率与桉树品种混栽显著正相关($P<0.05$),虫口密度与尾巨桉显著负相关($P<0.05$)。

表 6 云斑天牛危害程度及环境因子间的相关性

Table 6 Correlation analysis among damage parameters of *Batocera lineolata* and environmental factors

指标 Indexes	受害株率 DR	虫口密度 FT	调查株数 NT	海拔 AL	树干胸径 DBH	林分类型 PT	桉树品种 VE	林内危害 风折木数 WLW
受害株率 DR	1							
虫口密度 FT	0.859* *	1						
调查株数 NT	0.007	0.044	1					
海拔 AL	−0.045	−0.080	0.111	1				
树干胸径 DBH	0.204*	0.189	0.044	0.016	1			
林分类型 PT	0.658* *	0.595* *	0.014	−0.235*	0.141	1		
桉树品种 VE	0.172	0.206*	−0.057	0.032	0.049	0.225*	1	
林内危害风折木数 WLW	0.321* *	0.291* *	0.132	−0.159	−0.034	0.391* *	−0.059	1

注:1. DR、FT、NT、AL、DBH、PT、VE、WLW 分别代表受害株率、虫口密度(排粪孔数)、调查株数、海拔、树干胸径、林分类型、桉树品种和林内危害风折木数。表 7 和表 9 同。2. * 和 * * 分别指在 0.05 和 0.01 水平上差异显著。表 7 同。

Note:1. DR,FT,NT,AL,DBH,PT,VE and WLW represent percentage of trees with insects,total numbers of individual (numbers of frass holes),sampling number of tree,altitude,diameter at breast height,variety of eucalypti,plantation types,numbers of wood damaged by longicorn beetle and folded by wind,respectively. The same for Table 7 and Table 9. 2. * and * * represent significant differences at the 0.05 and 0.01 significant levels,respectively. The same for Table 7.

表 7 受害株率和虫口密度与林分类型和桉树品种的相关性

Table 7 Correlation between damage parameters of *Batocera lineolata* and plantation type or variety of eucalypti

指标 Indexes	尾巨桉 EUG	巨尾桉 EGU	2 种桉树混栽 EE	生态经济林 EP	村庄四旁绿化林 VP	公路景观林 RP
受害株率 DR	−0.158	−0.039	0.216*	−0.612* *	−0.040	0.565* *
虫口密度 FT	−0.201*	0.059	0.192	−0.592* *	0.029	0.484* *

注:EUG、EGU、EE、EP、VP 和 RP 分别代表尾巨桉、巨尾桉、2 种桉树混栽、生态经济林、村庄四旁绿化林和公路景观林。

Note:EUG,EGU,EE,EP,VP and RP represent *E. urophylla*×*E. grandis*,*E. grandis*×*E. urophylla*,and mixed-growing variety of eucalypti,ecological plantations,four-side greening plantations and highway landscape plantations,respectively.

2.2.2 影响桉树云斑天牛危害差异因素的主成分分析 利用不同林分类型和桉树品种或单独环境因子进行主成分分析时不能形成正定矩阵,因此选择 2 个主要危害特征参数及 6 个环境因子作为主成分分析变量,结果可知,KMO(kaiser-meyer-olkin)取样足够度为 0.70,Bartlett 球形度检验概率<0.01

($\chi^2=205.28,P=0.000$),说明利用这些因子可以进行主成分分析。由表 8 可知,本研究选取的前 3 个主成分累积方差贡献率为 63.260%,说明一个 3 因子模型可解释原始试验数据的绝大部分信息。每个影响因子主成分的计算结果及综合分值和排序如表 9 所示。

表 8 影响桉树云斑天牛危害差异的各因素主成分特征根及方差贡献率

Table 8 Eigenvalue and variance contribution of principal components in different influential factors of damage difference caused by eucalypti *Batocera lineolata* at different sampling points

主成分 Principal component	特征根 Eigenvalues	方差贡献率/% Variance contribution	累积方差贡献率/% Cumulative variance contribution
1	2.749	34.366	34.366
2	1.195	14.941	49.307
3	1.116	13.953	63.260

表 9 影响桉树云斑天牛危害差异的主要参数及环境因子的主成分、综合分值和排序

Table 9 Comprehensive values and rank of principal components of main damage parameters and environmental factors affecting damage caused by eucalypti *Batocera lineolata* among different sampling points

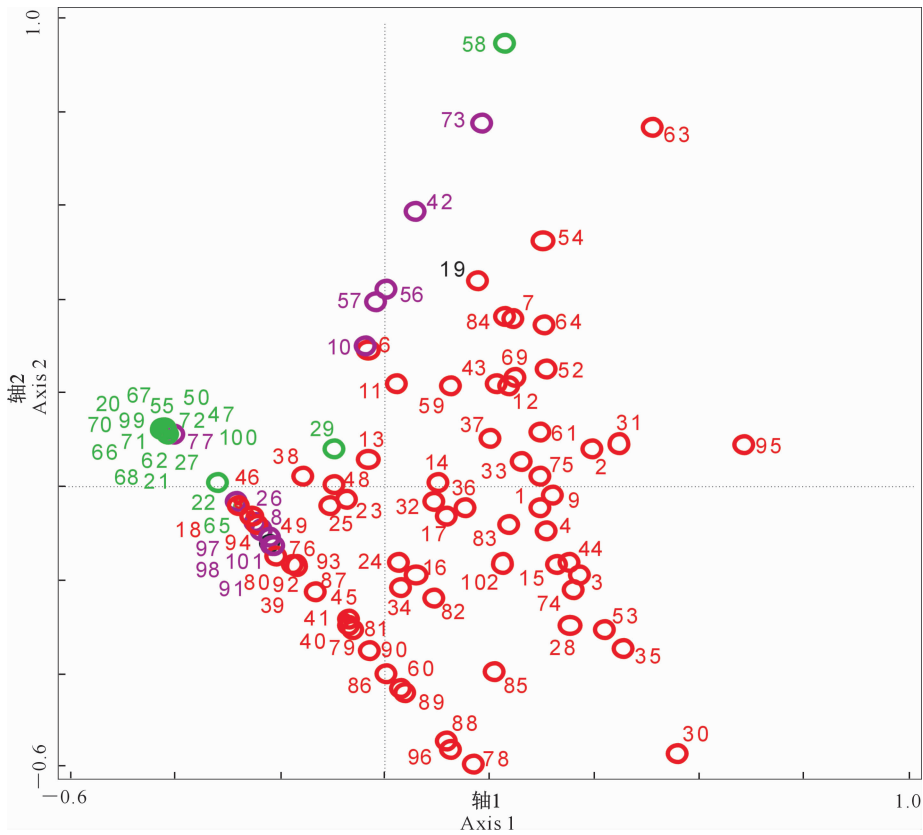
指标 Index	主成分 1 Principal component 1	主成分 2 Principal component 2	主成分 3 Principal component 3	综合分值 Comprehensive values	排序 Rank
受害株率 DR	0.182	0.591	−0.103	0.215	4
虫口密度 FT	0.515	−0.042	−0.041	0.261	3
调查株数 NT	0.146	0.277	0.053	0.156	7
海拔 AL	−0.156	0.553	0.505	0.157	6
树干胸径 DBH	0.028	−0.167	0.825	0.158	5
林分类型 PT	0.529	0.086	0.008	0.309	2
桉树品种 VE	0.527	0.123	0.029	0.322	1
林内危害风折木数 WLW	0.313	−0.466	0.217	0.108	8

由表 9 可知,各环境因素对桉树云斑天牛发生及危害的影响力明显不同,其中综合分值排名前 2 位的关键因子依次为桉树品种和林分类型,第 1 主成分受林分类型和桉树品种影响较大,第 2 主成分受受害株率和海拔影响较大,第 3 主成分受胸径影响最大。

2.3 不同危害程度下各调查样点的受害风险水平

利用 18 个不同危害程度下各样点云斑天牛危害特征参数及环境因子的主成分及其综合得分值,进行受害风险水平排序分析,结果如图 2 所示。由图 2 可以看出,无危害或轻度危害调查点主要集中在第 2 象限,多数调查点高度重叠,说明各样点生境条件极相似,受害风险水平低且差异很小。中度危

害调查点主要集中在第 2 和第 3 象限,在轻度和重度危害样点间呈明显的分界或过渡;尽管部分样点间重叠或接近,但也有部分样点分散且相互间分布较远,表明中度危害各样点生境条件差异较大,受害风险水平呈增加趋势。重度危害样点主要分布在第 1 和第 4 象限,多数样点分散且重叠度小,说明生境条件差异很大,受害风险水平总体很高。一些得分值较高的重度危害样点远离中心点,且与无危害或轻度危害多数样点的相似度最小,如 30,35,95,53,78,96,28,74 和 3 等,是位于铜梁、璧山、丰都、渝北、垫江、长寿和永川等区县需要密切关注的一些高风险危害中心。



图中数字代表各个区县调查点编号,同表 1;绿色圆圈和数字代表无危害和轻度危害调查点,紫色圆圈和数字代表中度危害调查点,红色的圆圈和数字代表重度危害调查点

The symbol represents the number of survey points in different counties,as in Table 1. Green,purple and red represent the sampling points of no damage and slight damage,moderate damage,and heavy damage, respectively

图 2 基于桉树云斑天牛危害特征参数和环境因子综合得分的 PCA 排序图

Fig.2 PCA ordination of different sampling points based on comprehensive values of principal components in different damage and influential factors of eucalypti *Batocera lineolata*

3 讨论与结论

2019 年国家林业和草原局发布的全国林业有害生物普查情况公告认为,多斑白条天牛(*Batocera*

horsfieldi (Hope))是近年来我国发生面积超过6.7 万 hm² 的三级危害性林业有害生物(<http://www.forestry.gov.cn/>)。而根据目前云斑天牛在我国的大量研究报道^[3-5,8,10,12,15-17],认为公告中的多斑白条

天牛就是本研究中的云斑天牛,它们在分类地位上属同物异名。本研究对重庆 19 个区县 102 个桉树林采样点云斑天牛幼虫危害期的系统调查表明,该虫总体发生普遍且呈加重扩散态势,各地种群数量基数庞大。鉴于该虫是多食性钻蛀类害虫且传统防治手段效果差,为防止其进一步对桉树及其他林木造成更大危害,尽快研发绿色防控新技术是抑制其种群数量不断增长的有效途径。而目前以植物挥发物和该虫信息化合物配方为突破口的化学引诱剂研发^[4,7,19-20],以及更加有效的寄生天敌发现^[21]等方面都令人期待。目前在重庆大面积防控桉树云斑天牛尚处于初步阶段,主要是利用毒签和寄生天敌等传统技术防控,也多局限在城市郊区桉树林,且以公路景观林和四旁绿化林为主,开展面积较小,如在永川、长寿和璧山等地;因此本研究未对这些防效情况进行比较分析。另外,庞帅等^[14]指出,该虫在丘陵山地发生与人为扰动程度关系非常密切;因此本次调查样点的选择重点是公路景观林及村庄四旁绿化林,对一些偏僻生态林调查样点覆盖较少,这也会对本次调查结果产生一定影响。

本研究发现,各调查区县桉树林样点不同危害程度和不同树干高度区间云斑天牛有效刻槽数(虫口密度或排粪孔数)存在明显差异。司徒春南等^[6]研究指出,云斑天牛在轻度危害林主要产卵于 1.0 m 以下,重度危害林则在 3.0 m 以下各区间均有分布,且差异不显著。钱范俊等^[22]研究发现,云斑天牛在杨树树干上产卵刻槽数随胸径增加而上移,且产卵刻槽数与树龄密切相关。庞帅等^[14]报道,云斑天牛排粪孔 70%~90%集中在 1.0~2.0 m,且虫口密度与胸径显著相关。云斑天牛产卵时对树龄及胸径的选择特性也与树皮厚度有关^[3]。由上述研究可知,要在生产中通过云斑天牛受害株率或虫口密度判断危害程度,并为测报和防治工作提供有效信息,需了解受害林分树木生长情况,特别是分析该虫不同危害程度及不同树高区间虫口密度与受害株率关系。本研究相关性及回归分析结果表明,云斑天牛受害株率与虫口密度关系总体符合幂函数关系,但在受害程度轻的桉树林和树高大于 1.0 m 以上虫口密度低的区间,它们间的关系更适合用三次函数方程拟合。其他研究认为,钻蛀类害虫受害株率与虫口密度关系可用指数函数来描述,如萧氏松茎象(*Hylobitelus xiaoi*)^[23]、杨树光肩星天牛(*Anoplophora glabripennis*)^[24]和桑树桑天牛(*Apriona germari*)^[25]。造成上述结果差异的原因可能与调

查钻蛀害虫种类不同、调查面积及样点数或样株数较小有关,也可能与调查记录的钻蛀孔数误差较大相关。在本研究中,重度危害林地的钻蛀孔多分布在 2.0 m 以上(甚至 10 m 以上),且受限于桉树脱落树皮或旧危害孔影响,如不进行砍树解剖并校订记录的危害孔数,统计结果会有很大误差,最终导致结果较大不同。本研究也发现,云斑天牛在受害树上的无效刻槽数所占比例较高,且与天牛有效刻槽和受害株率等密切相关,这些发现也可作为分析该虫危害的重要特征指标。相关报道也指出,该虫虽然卵期虫口数大,但死亡率(无效刻槽数)也高^[26]。

本研究比较了轻度、中度和重度危害下影响云斑天牛扩散危害的关键因子,结果发现桉树品种、林分类型、海拔和胸径等非生物因子与该虫危害密切相关。相关研究指出,云斑天牛主要发生在人为活动区及其附近,与林分是否靠近公路、人为扰动程度和虫口密度的差异等密切相关^[14];也与树木品种、树龄、林分类型、林中位置及虫源地距离等因素有关^[13,15,27]。在本研究中,受害株率和虫口密度高的样点以公路景观林和 2 种桉树混栽林为主,而危害较轻的林分多数是生态经济林,这进一步说明该虫发生与人为传播的密切关系;另外,本研究也发现尾巨桉可能较巨尾桉更为抗虫。其他研究认为,影响松墨天牛发生的关键环境因子是郁闭度,其次是海拔、坡位、坡向和树高等^[28-29]。本研究也利用各危害特征参数及环境因子分析了云斑天牛在各个调查点的风险水平,结果表明重庆市桉树云斑天牛危害和分布在各区县存在明显差异,一些区县是该虫高风险危害中心,如铜梁、璧山、丰都、渝北、垫江、长寿和永川等。因此在采取有效措施控制该虫危害时,应密切监测这些地区的发生情况。

虽然本研究只进行了 1 年调查,但所得结果基本能反映桉树云斑天牛在重庆当地各调查区县的实际情况,这主要是因为云斑天牛危害及扩散主要受制于树种和人类经济活动^[3,14,15,18]。该虫近距离扩散危害与当地树种密切相关,长距离扩散危害又受频繁人类经济活动及交通工具等影响,且与林木食叶和枝梢害虫相比其危害受气候条件及天敌等生物因素影响较小;而目前各调查区县分布有大面积云斑天牛嗜食纯林树种,特别是速生桉,这也导致其种群密度或受害株率均呈稳定增长型。基于此认为,要从根本上抑制云斑天牛进一步加剧危害,最根本手段是筛选当地造林树种营造混交林。

综上所述,重庆桉树云斑天牛在各调查区县发

生普遍,种群数量呈上升趋势,各调查样点危害的基本特征总体上符合重度及成灾水平;受害株率和虫口密度极显著相关,两者关系可用三次函数方程或幂函数方程表示;林分类型和桉树品种是影响各样点云斑天牛受害程度差异的关键因素;该虫在重度危害下各样点的危害特征及生境条件差异很大;各调查区县存在明显高风险危害中心。

志谢:西南大学植保学院宋艾妮、殷禄燕和重庆市林科院张国豪以及重庆市各区县林业局及森防站相关负责人或参与了调查或在调查过程中提供了帮助,包括璧山区刘兴武、九龙坡区冯磊和苏顺军、永川区袁凯歌、荣昌区何世文、綦江区马明友和吴兆忠、潼南区肖凤、铜梁区刘刚、大足区吴天强、巴南区周安会、长寿区刘军、合川区杨波和杨皓、江津区罗丽、垫江县岳泽芳、涪陵区向仕荣、南川区吴茂菱、巫溪县顾启英及彭海龙和胡阳,在此表示衷心感谢!

[参考文献]

- [1] 刘奕清,刘长春,徐安辉.重庆西部速生桉树可持续发展战略探讨[J].重庆文理学院学报(自然科学版),2006,5(5):36-39.
Liu Y Q, Liu C C, Xu A H. Discussion on *Eucalyptus* continuous development strategies in western region of Chongqing [J]. Journal of Chongqing University of Arts and Sciences (Natural Science Edition), 2006, 5(5): 36-39.
- [2] 陈 勇,刘奕清,唐建民,等.新世纪重庆桉树研究进展与发展策略[J].重庆文理学院学报(自然科学版),2010,9(3):75-78.
Chen Y, Liu Y Q, Tang J M, et al. Recent advances and new strategies in *Eucalyptus* development of Chongqing in the new century [J]. Journal of Chongqing University of Arts and Sciences (Natural Science Edition), 2010, 9(3): 75-78.
- [3] 严放金,嵇保中,钱范俊,等.云斑天牛 *Batocera horsfieldi* (Hope) 的研究[J].南京林业大学学报,1997,21(1):1-6.
Yan A J, Ji B Z, Qian F J, et al. A study of *Batocera horsfieldi* (Hope) [J]. Journal of Nanjing Forestry University, 1997, 21(1): 1-6.
- [4] 李 娟,王满困,张志春,等.云斑天牛成虫对植物气味的行为反应[J].林业科学,2008,44(6):168-170.
Li J, Wang M Q, Zhang Z C, et al. Behavioral response of *Batocera horsfieldi* adults to plant volatiles [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(6): 168-170.
- [5] 张世权,杨宝祥,郑丽芳.云斑天牛空间分布型与种群密度估计的研究[J].河北林学院学报,1992,7(3):210-213.
Zhang S Q, Yang B X, Zheng L F. Studies on space distribution model and population density estimation of *Batocera horsfieldi* (Hope) [J]. Journal of Hebei Forestry College, 1992, 7(3): 210-213.
- [6] 司徒春南,王 健,路纪芳,等.杨树和核桃树两种寄主植物上云斑天牛产卵刻槽的分布[J].环境昆虫学报,2015,37(6):1300-1304.
Situ C N, Wang J, Lu J F, et al. Distribution of oviposition site of *Batocera lineolata* on *Populus* spp. and *Juglans regia* [J]. Journal of Environmental Entomology, 2015, 37(6): 1300-1304.
- [7] 卓志航,杨 伟,徐丹萍,等.云斑天牛寄主核桃树皮及树叶的挥发性成分[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2016,44(5):205-214.
Zhuo Z H, Yang W, Xu D P, et al. Volatile components in bark and leaf of host plant *Juglans regia* L. of *Batocera lineolata* Chevrolat [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2016, 44(5): 205-214.
- [8] 杨忠岐,李建庆,梅增霞,等.释放花绒寄甲防治危害白蜡的云斑天牛[J].林业科学,2011,47(12):78-84.
Yang Z Q, Li J Q, Mei Z X, et al. Biocontrol of *Batocera horsfieldi* (Coleoptera: Cerambycidae) attacking ash trees by releasing the parasitoid *Dastarcus helophoroides* (Coleoptera: Braconidae) [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2011, 47(12): 78-84.
- [9] 李建庆,梅增霞,杨忠岐.不同林分白蜡树云斑白条天牛种群空间格局地统计学分析[J].生态学报,2016,36(7):4540-4547.
Li J Q, Mei Z X, Yang Z Q. Geostatistical analysis on the spatial distribution of *Batocera lineolata* (Coleoptera: Cerambycidae) populations in different types of ash tree forests [J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(7): 4540-4547.
- [10] 杨 桦,杨茂发,杨 伟,等.杨树云斑天牛幼虫空间分布格局及生息坑道[J].四川农业大学学报,2010,28(2):148-152.
Yang H, Yang M F, Yang W, et al. A study on the spatial distribution pattern and the living-inhabiting tunnel of the larvae of *Batocera horsfieldi* (Hope) [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2010, 28(2): 148-152.
- [11] 黄志平,庞正轰,张少军,等.广西桉树蛀干害虫的风险分析及管理对策研究[J].中国森林病虫,2013,32(3):16-23.
Huang Z P, Pang Z H, Zhang S J, et al. Risk analysis and management countermeasures of eucalyptus trunk borers in Guangxi [J]. Forest Pest and Disease, 2013, 32(3): 16-23.
- [12] 吴开明,张建强,代方银,等.云斑天牛危害桑树及生物学特性研究[J].蚕业科学,1995,21(1):53-54.
Wu K M, Zhang J Q, Dai F Y, et al. Study on the harmfulness of *Batocera horsfieldi* on mulberry and its biological characteristics [J]. Acta Sericologica Sinica, 1995, 21(1): 53-54.
- [13] 胡 斌.云斑天牛在酉阳县杨树上的发生及防治[J].植物医生,2005,18(3):24-25.
Hu B. Occurrence and control countermeasure of *Batocera lineolata* in *Populus* spp. of Youyang [J]. Plant Doctor, 2005, 18(3): 24-25.
- [14] 庞 帅,陈本文,冯 磊,等.重庆尾巨桉林云斑天牛危害程度及影响因素分析[J].西南林业大学学报,2016,36(6):124-130.
Pang S, Chen B W, Feng L, et al. The difference of damage degree of *Batocera lineolata* in different *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* plantations in Chongqing and its influencing factors research using factor analysis [J]. Journal of Southwest Forestry University, 2016, 36(6): 124-130.
- [15] 钱范俊,杜夕生,梅爱华,等.云斑天牛成虫在杨树林带中扩散特性的研究[J].南京林业大学学报,1994,18(1):21-25.
Qian F J, Du X S, Mei A H, et al. Study on *Batocera horsfieldi*

- di* and its spread characteristics in the protective forest belt [J]. Journal of Nanjing Forestry University, 1994, 18(1): 21-25.
- [16] 李建庆, 杨忠岐, 张雅林, 等. 杨树上云斑天牛种群的空间格局及抽样技术 [J]. 昆虫学报, 2009, 52(8): 860-866.
Li J Q, Yang Z Q, Zhang Y L, et al. Spatial distribution pattern and sampling technique for *Batocera horsfieldi* (Coleoptera: Cerambycidae) in poplar [J]. Acta Entomologica Sinica, 2009, 52(8): 860-866.
- [17] 胡瑜珩, 武海卫, 许志春. 基于地统计学的云斑天牛幼虫种群时空动态 [J]. 东北林业大学学报, 2015, 43(1): 92-97.
Hu Y H, Wu H W, Xu Z C. Spatio-temporal distribution pattern of the larvae of *Batocera horsfieldi* (Hope) by geostatistics [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2015, 43(1): 92-97.
- [18] 李建庆, 梅增霞, 杨忠岐. 危害白蜡树的云斑白条天牛种群空间格局及抽样技术 [J]. 林业科学研究, 2015, 28(6): 877-882.
Li J Q, Mei Z X, Yang Z Q. Spatial distribution pattern and sampling technique of *Batocera lineolata* (Coleoptera: Cerambycidae) population in ash trees [J]. Forest Research, 2015, 28(6): 877-882.
- [19] Luo S L, Zhuge P P, Wang M Q. Mating behavior and contact pheromones of *Batocera horsfieldi* (Hope) (Coleoptera: Cerambycidae) [J]. Entomological Science, 2011, 14: 359-363.
- [20] Yang H, Yang W, Yang M F, et al. Effects of plant volatiles on the EAG and behavioral responses of *Batocera horsfieldi* Hope (Coleoptera: Cerambycidae) [J]. Journal of Agricultural and Urban Entomology, 2010, 27(1): 20-32.
- [21] 杨忠岐, 王小艺, 张翌楠, 等. 以生物防治为主的综合控制我国重大林木病虫害研究进展 [J]. 中国生物防治学报, 2018, 34(2): 163-183.
Yang Z Q, Wang X Y, Zhang Y N, et al. Research advances of Chinese major forest pests by integrated management based on biological control [J]. Chinese Journal of Biological Control, 2018, 34(2): 163-183.
- [22] 钱范俊, 袁俊杰, 杜夕生. 云斑天牛产卵刻槽在杨树树干上的分布规律 [J]. 中南林学院学报, 1997, 17(3): 82-85.
Qian F J, Yuan J J, Du X S. The distributive law of oviposition cut marks of *Batocera horsfieldi* on poplar trunk [J]. Journal of Central South Forestry University, 1997, 17(3): 82-85.
- [23] 温小遂, 唐艳龙, 施明清. 萧氏松茎象有虫株率与虫口密度关系的研究 [J]. 江西农业大学学报, 2005, 27(6): 843-846.
Wen X S, Tang Y L, Shi M Q. Relationship between mean larval population density of *Hylobitelus xiaoi* Zhang and the ratio of infested slash pine trees [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2005, 27(6): 843-846.
- [24] 邵崇斌, 周嘉熹, 陈 辉, 等. 杨树天牛有虫株率与平均虫口密度关系的研究 [J]. 西北林学院学报, 1995, 10(2): 32-35.
Shao C B, Zhou J X, Chen H, et al. Relationship between average population density of poplar longicorn and the ratio of harmed trees [J]. Journal of Northwest Forestry College, 1995, 10(2): 32-35.
- [25] 赵瑞良, 刘随存, 吕小红. 桑天牛综合治理的研究 [C]//中国主要森林病虫害防治研究进展. 北京: 中国林业出版社, 1999: 211-214.
Zhao R L, Liu S C, Lü X H. Integrated pest management of *Batocera horsfieldi* in mulberry [C]//Research progress on management of main forest diseases and insect pests in China. Beijing: China Forestry Publishing House, 1999: 211-214.
- [26] 梅增霞, 李建庆, 张智涛. 危害白蜡树云斑天牛种群不同虫态的数量动态和频次比较 [J]. 中国农学通报, 2017, 33(28): 142-145.
Mei Z X, Li J Q, Zhang Z T. *Batocera horsfieldi* population of different developmental stages in ash tree: quantitative dynamics and frequency comparison [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33(28): 142-145.
- [27] 胡光辉, 闫争亮, 段兆尧, 等. 云斑天牛对永善县核桃危害程度分析 [J]. 西部林业科学, 2018, 47(5): 104-107.
Hu G H, Yan Z L, Duan Z Y, et al. Analysis of the damage of *Batocera horsfieldi* Hope in Yongshan County [J]. Journal of West China Forestry Science, 2018, 47(5): 104-107.
- [28] 陈顺立, 杜瑞卿, 高宛莉, 等. 影响武夷山景区松墨天牛种群动态变化的因素分析 [J]. 昆虫学报, 2010, 53(4): 427-435.
Chen S L, Du R Q, Gao W L, et al. Analysis of the factors influencing population dynamics of *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae) in Wuyishan scenic spot [J]. Acta Entomologica Sinica, 2010, 53(4): 427-435.
- [29] 杜瑞卿, 陈顺立, 余培旺, 等. 武夷山景区松墨天牛种群密度与环境因子的坐标变换对应分析 [J]. 昆虫学报, 2010, 53(2): 183-191.
Du R Q, Chen S L, Yu B W, et al. Correspondence analysis between population density and environmental factors of *Monochamus alternatus* Hope (Coleoptera: Cerambycidae) in Wuyishan scenic spot by coordinate transformation [J]. Acta Entomologica Sinica, 2010, 53(2): 183-191.