

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2022.03.012

# 长白山国家级自然保护区落叶松毛虫致灾状况调查与致灾因子分析

于德江<sup>1</sup>, 郑依国<sup>1</sup>, 孙晨辉<sup>2</sup>, 赵琛<sup>2</sup>, 靳英华<sup>2\*</sup>,  
张立军<sup>1</sup>, 李金功<sup>1</sup>, 刘丽杰<sup>3</sup>

(1. 长白山自然保护管理中心, 吉林 二道白河 133613; 2. 长白山地理过程与生态安全教育部重点实验室, 东北师范大学地理科学学院, 吉林 长春 130024; 3. 长白山科学研究院, 吉林 二道白河 133613)

**摘要:** [目的] 长白山自然保护区以原始林为主, 森林结构复杂, 稳定性好。建立自然保护区 60 年来, 仅在 2019 年大规模暴发了落叶松毛虫灾害。本研究旨在对致灾状况和致灾因子进行分析。[方法] 以长白山自然保护区遭受虫害的北坡森林为研究对象, 设置样地, 在 2019 年和 2020 年进行了监测, 对森林受损和恢复情况进行了研究; 并从气象条件和森林结构两个方面探究了长白山地区落叶松毛虫大暴发的原因。[结果] 研究表明: (1) 长白山自然保护区整体上成灾区发生比例不大, 但局部受灾程度很重。虫灾区占到长白山自然保护区北坡总面积的 12.5%, 其中, 一般灾区占 21.8%, 重灾区占 79.2%。受灾的主要树种为鱼鳞云杉、臭冷杉、红松和长白落叶松。(2) 长白山落叶松毛虫成灾区森林有所恢复, 但是不同林型恢复程度差异明显。长白落叶松林受损林全部恢复, 红松阔叶林中红松纯林以及海拔 1 100 m 至 1 300 m 云冷杉林重度受损林恢复差。(3) 3 种受损林型林分结构存在差异, 导致 3 种林型虫口的密度存在差异。云冷杉针叶林竞争指数和大小比数低, 树势强, 虽然其多样性和混交度高, 但都是针叶树种, 可视为纯林, 因此受害最重。红松针阔混交林竞争指数和大小比数高, 树势弱, 但是其多样性和混交度高, 有较多的阔叶树种, 因此受害程度低于云冷杉。长白落叶松林的竞争指数、混交程度、大小比数和多样性指数均为 3 种林型最低, 由于其为先锋树种, 树龄小, 叶片少, 虽然易遭受虫害, 但虫口较少, 特别是第二年受损落叶松可以恢复叶片生长, 其受害程度较低。(4) 2018 年和 2019 年气象条件总体高温、干旱和日照时数多, 特别是 2018 年秋冬气温极高和 2019 年春季降水极少是落叶松毛虫暴发的重要气象原因。[结论] 目前长白山自然保护区林分结构和气象气候条件有利于松毛虫的爆发, 可能会周期性出现。

**关键词:** 落叶松毛虫; 致灾状况和因子; 长白山自然保护区

**中图分类号:** S763.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-1498(2022)03-0103-09

森林生态系统在陆地生态系统中所占面积最大, 功能也最为稳定<sup>[1]</sup>, 其具有固碳、涵养水源、调节气候、保护生物多样性等重要生态功能, 是人类和多种生物赖以生存和发展的基础<sup>[2]</sup>。长白山是我国国家级自然保护区, 林地面积达 1 821.28 km<sup>2</sup><sup>[3]</sup>, 是一座森林资源宝库。落叶松毛虫

(*Dendrolimus superans* Butler) 属鳞翅目、枯叶蛾科、松毛虫属, 是一种以针叶树叶片为食的害虫<sup>[4]</sup>, 在国内主要分布于东北、西北、河北北部等地<sup>[5]</sup>。通常在春季开始上树啃食嫩叶, 使树木生长缓慢甚至枯死, 造成的经济损失和生态影响十分巨大<sup>[6]</sup>。落叶松毛虫的暴发具有大面积性和周期性等

收稿日期: 2021-07-10 修回日期: 2021-12-16

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41571078、41171072)

作者简介: 于德江, 工程师。主要研究方向: 林业灾害与保护。电话: 15943941337, Email: 904358096@qq.com

\* 通讯作者: 靳英华, 博士研究生, 教授。主要研究方向: 全球变化与区域响应。电话: 13039314850, Email: jinyh796@nenu.edu.cn

特征, 暴发周期多为 10~20 年<sup>[7]</sup>。长白山自然保护区建区 60 年来未有松毛虫大面积暴发记录, 但 2018 年底, 长白山自然保护区发现大量落叶松毛虫虫卵, 2019 年长白山林区落叶松毛虫虫害大规模暴发, 严重危害到云冷杉针叶林、长白落叶松林和红松针阔混交林。2019 年初在虫卵密集的北坡林地内设置监测样地, 对虫害程度和灾后恢复状况进行调查, 并结合林分和气象因子分析虫害暴发的原因。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

长白山国家级自然保护区位于吉林省东南部, 与朝鲜民主主义人民共和国相毗邻, 地理坐标范围是 127°42'55"~128°16'48" E, 41°41'49"~42°25'18" N。气候是受季风影响的温带大陆性山地气候, 具有明显的垂直气候带。年均气温在 3℃~7℃, 年降水量在 700~1 400 mm, 6—9 月份降水占全年降水量的 60%~70%, 年日照时数不足 2 300 h。气温与植被的垂直分布关系极为密切, 海拔 1 100 m 以下为红松针阔混交林, 海拔 1 100~1 700 m 为云冷杉针叶林, 海拔 1 700~2 100 m 为岳桦林, 海拔 2 100 m 以上为高山苔原。

### 1.2 数据来源与处理

在 2019 年和 2020 年对长白山国家级自然保护区北坡海拔 750~1 445 m 的区域进行落叶松毛虫灾情样地监测。选取红松针阔叶混交林、云冷杉针叶林和长白落叶松林共 37 块样地, 每块样地随机划定 20 m × 20 m 的小样方 5 个, 总计 185 个样方。在样地内按 Z 字法抽取 10~20 株不同径级的寄主林木作为调查的目标树, 包括红松 (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc)、长白落叶松 (*Larix olgensis* Henry)、长白松 (*Pinus sylvestris* L. var. *syvestrifomis* (Takenouchi) Cheng et C. D. Chu)、鱼鳞云杉 (*Picea jezoensis* Carr. var. *microsperma* (Lindl.) Cheng et L. K. Fu) 和臭冷杉 (*Abies nephrolepis* (Trautv.) Maxim.)。记录样地信息 (经纬度、海拔高度、林型)、样方信息 (树种组成、郁闭度、失叶率) (表 1); 目标树每木检尺, 测量目标树的胸径、树高、活枝下高、冠幅和林下郁闭度等, 调查幼虫上树数量。并以该

目标树为中心, 记录半径为 6 m 以内的所有邻体乔木 (胸径 ≥ 5 cm) 的物种种类、胸径、树高、活枝下高、冠幅, 并实测这些树种与目标树之间的距离。

采用塑料环捆绑法对落叶松毛虫的上树情况进行调查<sup>[8]</sup>。在落叶松毛虫幼虫上树前, 清除样株林木胸径以下侧枝和与树干相连的灌木枝条, 为了使胶带和树干紧密粘合, 在胸高处用刀刮去树干上翘裂的松表皮, 以树干平滑又不损伤木栓层为度, 用黄色宽胶带紧紧缠绕胸径处做一个闭合隔离环, 环的宽度 > 10 cm。从 4 月下旬开始, 从发现有幼虫上树起, 每隔 3 天调查一次隔离环边缘及以下位置的树干上的幼虫数量, 计数后将幼虫杀死清除。直到连续 3 天未有新上树幼虫时停止调查, 最后统计落叶松毛虫上树虫口密度。

2019 年 7 月中旬调查失叶率, 失叶率为样方内记录的所有邻体乔木的平均失叶率 (不含目标树)。落叶松毛虫虫害发生在针叶树上, 落叶松毛虫取食针叶, 爆发时吃光针叶<sup>[9]</sup>。我们观察到只要在单株针叶树上发生松毛虫, 失叶率基本上达到 100%。因此, 平均失叶率为样方内记录的邻体树木受虫害的树木株数/邻体树木总数。

采用目测的方法在 2020 年 8 月中旬调查落叶松毛虫虫害恢复情况。对 2019 年样方内记录的所有邻体乔木中已经失叶的受损树木树冠进行目视判断, 树枝上基本满叶的为全部恢复, 树枝未见新叶视为枯死, 树枝绿叶恢复 50% 以上视为大部分恢复, 50% 以下视为少部分恢复。

林分结构分析包括空间结构和非空间结构分析。选取混交度、大小比数、竞争指数 3 个林分空间结构参数, 通过比较目标树与其距离最近的  $n$  株相邻木的树种差异性、大小差异性和竞争压力差异性分析空间结构; 用 Shannon-Wiener 指数分析非空间结构<sup>[10]</sup>。

(1) 树种混交度<sup>[11]</sup>, 描述混交林中树种的空间隔离程度:

$$M_i = 1/n \sum_{j=1}^n V_{ij}$$

式中:  $M_i$  为林木  $i$  点的混交度,  $n$  为最近相邻木的株数, 当参照树  $i$  与第  $j$  株相邻木非同种时  $V_{ij}=1$ , 反之,  $V_{ij}=0$ ; 取  $n=4$  时,  $M_i$  为 0、0.25、0.50、0.75、1.00, 分别表示零混交、弱度混交、中度混

表1 样地的主要记录信息  
Table 1 Main information of the sample sites

样地编号 Sample number	海拔 Altitude/m	林型 Forest type	平均树高/m Average height/m	平均胸径 Average DBH/cm	平均冠幅半径 Average crown radius/m	平均幼虫数 Average number of larvae	平均郁闭度 Average canopy density/%	平均失叶率 Average leaf loss rate/%
1	984	红松针阔叶混交林	10.14	52.4	3.2	82	70	60
2	989	红松针阔叶混交林	15.78	41.4	2.4	31	60	20
3	1 041	红松针阔叶混交林	13.78	68.0	7.0	7	65	2
4	760.3	红松针阔叶混交林	12.7	44.0	3.6	10	30	3
5	763.4	红松针阔叶混交林	13.28	31.6	2.8	10	35	3
6	1 161.9	云冷杉针叶林	10.17	51.0	3.8	143	45	70
7	1 160.6	云冷杉针叶林	13.34	38.0	3.7	347	70	75
8	1 166.4	云冷杉针叶林	13.94	38.9	3.4	101	50	40
9	1 155.7	云冷杉针叶林	13.77	34.0	3.6	371	70	80
10	1 166.6	云冷杉针叶林	15.32	39.8	2.8	0	46	0
11	1 149.5	云冷杉针叶林	12.12	38.4	4.0	199	65	60
12	1 153.8	云冷杉针叶林	14.02	31.0	3.7	270	75	80
13	1 105	长白落叶松林	11.71	32.5	2.8	130	46	90
14	1 156.9	云冷杉针叶林	13.5	43.7	4.7	324	65	75
15	1 406.3	长白落叶松林	14.6	40.3	3.9	4	30	3
16	1 430.0	长白落叶松林	13.5	32.1	3.4	41	40	70
17	1 419.1	长白落叶松林	15	33.7	4.8	123	70	80
18	1 408.2	长白落叶松林	11.37	31.3	2.8	2	51	0
19	1 401.9	长白落叶松林	13.94	32.4	3.7	55	55	70
20	1 408.6	长白落叶松林	13.41	20	3.5	11	34	10
21	1 380.7	云冷杉针叶林	14.08	27.2	3.6	55	60	50
22	1 419	红松针阔叶混交林	16.76	24.9	2.9	1	30	0
23	1 390.6	长白落叶松林	13.85	24.1	3.4	27	45	15
24	1 022.9	长白落叶松林	11.94	40.5	4.6	25	50	15
25	1 030.3	长白落叶松林	14.42	59.4	5.2	18	50	10
26	1 036.3	长白落叶松林	13.67	45.0	3.5	135	65	80
27	1 032.3	红松针阔叶混交林	13.04	39.4	4.1	150	75	65
28	1 314.3	云冷杉针叶林	16.29	49.6	5.2	148	35	60
29	1 016.9	红松针阔叶混交林	14.5	49	3.7	90	46	60
30	1 017.2	红松针阔叶混交林	13.86	46.0	5.0	226	85	80
31	1 240	红松针阔叶混交林	16.76	32.7	3.5	147.8	70	64
32	1 363	云冷杉针叶林	13.85	36.8	3.7	25.9	80	30
33	1 402	云冷杉针叶林	12.78	35.6	3.5	1	80	0
34	768	红松针阔叶混交林	13.28	28.1	3.2	1.1	70	0
35	914	红松针阔叶混交林	14.83	40.2	4.4	0	70	0
36	871	红松针阔叶混交林	16.32	50.3	5.2	26.9	70	5
37	814	红松针阔叶混交林	15.14	42.3	4.8	0	65	0

交、强度混交和极强度混交。

(2) 树种大小比数<sup>[12]</sup>, 描述林木个体大小分化程度, 或树种的生长优势程度:

$$U_i = 1/n \sum_{j=1}^n K_{ij}$$

式中:  $U_i$  为林木  $i$  点的大小比数,  $n$  为最近相邻木的株数, 若参照树  $i$  比第  $j$  株相邻木小时  $K_{ij}=1$ , 否则,  $K_{ij}=0$ ; 取  $n=4$  时,  $U_i=0、0.25、0.50、0.75、1.00$ , 分别表示参照树处于优势、亚优势、中庸、劣势和绝对劣势。

(3) 采用 Hegyi 提出的单木竞争指数模型计算竞争指数<sup>[13]</sup>:

$$CI_i = \sum_{j=1}^n (D_j/D_i)(1/L_{ij})$$

式中:  $CI_i$  为竞争指数,  $CI_i$  越大, 表明树种之间的竞争越激烈;  $D_i$  为对象木  $i$  的胸径,  $D_j$  为竞争木  $j$  的胸径,  $L_{ij}$  为对象木  $i$  与竞争木  $j$  之间的距离,

$n$  为竞争木的株数。

(4) Shannon-Wiener 指数描述生物多样性<sup>[14]</sup>:

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

式中:  $S$  是样方中的物种数,  $P_i$  是第  $i$  个种的相对多度。

在中国气象数据网中选取近十年长白山地区的气温、降水量、日照时数、平均相对湿度、降雨日数等气象数据。以上数据均用 Excel 2010 做初步计算和整理, SPSS 24.0 做进一步分析和统计。

## 2 结果与分析

### 2.1 落叶松毛虫致灾状况分析

2.1.1 受损程度 2019 年样方调查数据表明, 受损样方 (落叶松毛虫啃食) 占 16%, 其中失叶率在 66.7%~90% 的一般受损样方占 23.3%, 失叶率达 90% 以上的重度受损样方占到 76.7% (表 2)。整体上受损样方比例不大, 但是在局部受损程度很重。

表 2 长白山自然保护区受损程度

Table 2 Damage degree of Changbai Mountain Nature Reserve

失叶率 Leaf loss rate	66.7%以下 Less than 66.7%	66.7%以上 More than 66.7%	一般受损 General degree of damage	重度受损 Degree of severe damage
样方数 Number of samples	155	30	7	23
比例 Ratio /%	83.8	16.2	23.3	76.7

受损主要树种为云冷杉林中的鱼鳞云杉和臭冷杉 (占到全部受损树木的 57%)、红松 (31%)

和长白落叶松 (12%), 部分受损树木在第二年有所恢复 (表 3)。

表 3 虫灾区森林主要优势种受损和恢复情况

Table 3 Damage and recovery of main dominant forest species in insect-stricken areas %

优势种 Dominant species	红松 <i>Pinus koraiensis</i>	鱼鳞云杉和臭冷杉 <i>Picea jezoensis</i> and <i>Abies nephrolepis</i>	长白落叶松 <i>Larch olgensis</i>
受损比例 Damage ratio	31	57	12
叶片完全恢复 Complete recovery of leaves	6	2	68
叶片大部分恢复 Most of the leaves recovered	18	9	11
叶片少部分恢复 Small part of leaves recovered	32	7	20
叶片枯死 Leaves withered	44	82	1

### 2.1.2 恢复程度 (1) 3 种受损林型恢复特征

2020 年样地调查结果表明受损森林有所恢复, 但不同林型恢复程度差异明显。重度受损的红松阔叶林中红松纯林恢复 8%、海拔 1 100 m 至 1 300 m 云冷杉林恢复 10%。红松阔叶林 (中度受损林地) 总恢复达到 20%, 由于阔叶树较多, 林相尚好。海拔 1 300 m 以上的云冷杉林恢复达

到 35%。长白落叶松林受损样地全部恢复。

### (2) 优势种恢复特征

主要受损的优势种中以落叶松恢复最快, 叶片完全恢复树木比例可达近 70%; 红松和云冷杉林中的鱼鳞云杉和臭冷杉恢复慢, 红松叶片完全恢复树木占 6%, 鱼鳞云杉和臭冷杉叶片完全恢复树木占 2%。鱼鳞云杉和臭冷杉叶片完全枯死树木达到

80%以上(表3)。

**2.1.3 致灾程度** 根据2019年受损和2020年恢复情况, 长白山国家级自然保护区遭受松毛虫危害的森林目前虽有所恢复, 但主体恢复不好, 形成虫灾区。虫灾区占到北坡面积的12.5%, 约为8 337 hm<sup>2</sup>, 占保护区总面积的4.24%, 其中一般虫灾区占总虫灾区面积的21.8%, 重灾区占79.2%(表4), 以重灾区为主。重灾区占北坡面积的9.7%, 占保护区总面积的3.3%。

表4 落叶松毛虫致灾程度

Table 4 Disaster degree of *Dendrolimus superans*

类型 Type	占北坡面积比例 Proportion of north slope area/%	占保护区 总面积的比例 Proportion of the total area of the reserve/%
虫灾区 Insect-infested area	12.5	4.24
一般灾区 General insect-infested area	2.8	0.94
重灾区 Severe insect-infested areas	9.7	3.3

表5 长白山自然保护区虫灾区不同林型林分结构特征

Table 5 Forest structure characteristics of different forest types in insect-infested areas of Changbai Mountain Nature Reserve

森林类型 Forest type	竞争指数均值 Mean value of competition index	混交程度均值 Mean value of mixed degree	大小比数均值 Mean value of size ratio	多样性指数均值 Mean of diversity index
红松针阔混交林 Coniferous-broad leaved Korean pine mixed forest	0.54	0.85	0.33	1.3
云冷杉针叶林 Spruce fir forest	0.21	0.85	0.15	1.2
长白落叶松林 <i>Larix olgensis</i> forest	0.19	0.51	0.17	0.8

从表5可以看出: 竞争指数指标上, 红松针阔混交林>云冷杉针叶林>长白落叶松林; 混交程度指标上, 红松针阔混交林 = 云冷杉针叶林>长白落叶松林; 大小比数指标上, 红松针阔混交林>云冷杉针叶林>长白落叶松林; 多样性指数指标上, 红松针阔混交林>云冷杉针叶林>长白落叶松林。通过计算样地的3种不同寄主树木林型虫口密度数据得到, 云冷杉针叶林(175头·株<sup>-1</sup>)>红松针阔混交林(56头·株<sup>-1</sup>)>长白落叶松林(44头·株<sup>-1</sup>)。

3种林型中, 云冷杉针叶林所遭受的落叶松毛虫虫害最为严重, 原因可能与林内有大面积针叶纯林有关。由于云冷杉针叶林竞争指数和大小比数均

## 2.2 致灾因子分析

**2.2.1 林分结构分析** 合理的林分结构是充分发挥森林多种功能的基础<sup>[15]</sup>, 较好的林分结构抵御虫害侵扰能力也较强<sup>[16]</sup>。林分结构包括空间结构和非空间结构, 空间结构包括林木竞争指数、混交程度、大小比数等3个方面, 非空间结构包括树种多样性等<sup>[10]</sup>。竞争指数反映了林木生长受到的竞争压力大小, 林木所受竞争大小取决于林木自身和邻近木的状态, 属负向指标。混交程度反映了物种之间的隔离程度, 通常认为林木的混交度越高, 林分生产力越高、结构性越好, 属正向指标。大小比数反映了对象木和相邻木的大小空间配置情况, 调整时应使保留木处于优势地位, 因此大小比数越小对于保留木的生长越有利, 属负向指标<sup>[11]</sup>。树种多样性通常是指整个生态系统内各个不同树种的总和, 数值越大树木种类就越多样, 属于正向指标。林分结构的各个指标测定方法参考魏红洋<sup>[17]</sup>、韩敏<sup>[18]</sup>等人的研究, 对长白山国家级自然保护区3种主要寄主树木林型调查结果如表5所示:

偏低, 这说明种间和种内竞争压力关系较弱, 林中各树木之间的养分和光照需求较为均衡, 树势并未受竞争影响而减弱。而混交程度和树种多样性较高说明树种较为丰富, 但是仍然以针叶林为主, 大面积的针叶纯林为落叶松毛虫提供丰富的食料; 纯林也会导致生态系统脆弱, 林木抵御逆境、抗病虫的能力弱。这为云冷杉针叶林内落叶松毛虫害的暴发提供了有利条件。红松针阔混交林的竞争指数和大小比数均最高, 这说明红松针阔混交林所受到的整体竞争压力偏大。其种间和种内竞争较大, 林分内个体间横向和纵向空间的竞争激烈, 树木生长光合作用、营养吸收及输送等均受到影响, 树势偏弱,

容易受到病虫害的影响。但红松针阔混交林的混交程度和树种多样性为3种林型最高,不同于云冷杉针叶林,针阔混交林为落叶松毛虫提供的食料较少,森林群落结构复杂,林木抗性较强。因此虫口密度也较云冷杉针叶林小。长白落叶松林的竞争指数、混交程度、大小比数和多样性指数均为3种林型最低,其林内整体竞争压力小,树木长势一致,由于其为先锋树种,树龄小,叶片少,虽然易受虫害,但虫口较少,特别是第二年受害落叶松可以恢复长叶,故其受害程度较低。

**2.2.2 气象条件分析** 自建立长白山自然保护区以来,2019年为首次暴发落叶松毛虫虫害,但是这种大规模虫害爆发并不应该是突发的偶然事件,应该存在气象上的有利条件。落叶松毛虫在长白山地区1年1世代,跨2个年度,幼虫共7龄。10月底至来年4月上旬在树下枯枝落叶层越冬,4月中旬至6月中旬开始上树取食嫩叶,之后蜕变为成虫<sup>[4]</sup>。落叶松毛虫还具有世代积累性的特征,如果秋冬气象条件适宜,则落叶松毛虫幼虫越冬存活率较高,次年虫害暴发的几率也相对提高;春季气象条件适宜,则落叶松毛虫幼虫产卵量较大,带来较大的越冬幼虫基数。一般来说,气温越高,落叶松毛虫虫害的发生面积越大<sup>[19]</sup>,尤其是秋冬气温偏高

更能帮助抵抗力较弱的低龄幼虫存活。而降雨量的减少也会促使虫害的暴发,其原因是温暖干燥的环境有利于落叶松毛虫的生命活动。在高湿的环境中,虫卵不易被孵化,并且降雨可以直接机械杀死上树的落叶松毛虫幼虫<sup>[20]</sup>。

近10年长白山地区年平均气温和秋冬平均气温均呈现上升态势,2018年年平均气温比10年平均值高0.3℃,秋冬平均气温为近10年最高,比平均值高1.7℃,温暖的秋冬不仅使得大量落叶松毛虫幼虫越冬,还有利于雌性产卵量的增加(表6)。长白山地区近10年降水呈现减少趋势。2018年降水日数、年平均相对湿度和春季平均降水量分别与平均值相比偏低12.6%、1.5%和5%(表6)。年日照时数与平均值相比增加1.6%,为落叶松毛虫繁殖提供了有利的光照条件(表6)。特别是春季平均降水量偏低,导致落叶松毛虫幼虫上树数量增加,这是2018年虫害初见端倪的主要原因。2018年秋冬平均气温高于同期,同时2019年春季平均降水量更是达到近10年最低水平,促使落叶松毛虫越冬和上树的数量激增,最终造成2019年松毛虫大规模暴发(表6)。2018年和2019年气象条件虽存在差异,但总体高温、干旱和日照时数多,是落叶松毛虫暴发的重要气象原因。

表6 长白山地区近十年气象数据

Table 6 Meteorological data sheet of Changbai Mountain in recent ten years

年份 Year	年降水量 Annual precipitation/mm	年平均气温 Annual average temperature/℃	春季平均降水量 Average precipitation in spring/mm	秋冬平均气温 Average temperature in autumn and winter/℃	年日照时数 Annual sunshine hours/h	年平均相对湿度 Annual average relative humidity/%	年降雨日数 Annual rainfall days
2009	694.0	3.7	62.7	-11.2	2 223.9	65.5	145
2010	883.6	3.4	64.4	-10.2	2 082.7	68.5	159
2011	598.3	3.4	91.7	-10.9	2 372.2	66.5	123
2012	838.7	3.0	68.9	-11.3	2 224.8	68.5	155
2013	837.0	3.6	74.6	-8.8	2 242.8	68.3	152
2014	541.1	4.3	71.3	-8.4	2 422.5	65.5	134
2015	698.1	4.5	98.2	-9.1	2 253.2	66.0	147
2016	849.2	4.3	68.0	-8.9	2 258.2	67.0	149
2017	674.9	4.0	77.8	-10.7	2 263.2	64.5	145
2018	787.9	4.1	69.6	-7.9	2 300.2	65.6	125
2019	740.3	3.8	59.1	-8.1	2 264.4	66.6	143
平均值 Average value	740.3	3.8	73.3	-9.6	2 264.4	66.6	143
变化速率 The rate of change	-0.36/mm·a <sup>-1</sup>	0.1/℃·a <sup>-1</sup>	-0.15/mm·a <sup>-1</sup>	0.3/℃·a <sup>-1</sup>	7.5/h·a <sup>-1</sup>	-0.16/%·a <sup>-1</sup>	-1/day·a <sup>-1</sup>

### 3 讨论

落叶松毛虫的发生受到立地类型、林分结构和气象条件等因素的综合影响<sup>[9]</sup>。原始森林生物多样性高、结构复杂不易发生虫害<sup>[21]</sup>。长白山自然保护区内为保护良好的原始森林,生物多样性高,之所以能暴发落叶松毛虫有其特殊性,与自然保护区内外林分结构关系密切。在长白山自然保护区内,北坡森林带状分布明显,在一定的海拔区域内林型单一,且处于火山干扰导致的植被演替后期,针叶树种优势明显,物种多样性低;而西坡和南坡虽总体上体现带状分布,但带内镶嵌大量斑块,带间存在过渡,演替处于中期,先锋的阔叶树种多<sup>[22]</sup>,在林分结构上不利于落叶松毛虫暴发,因此,本次落叶松毛虫暴发位于北坡。

自然保护区内红松针阔混交林、云冷杉针叶林和长白落叶松林3种林型的林分结构都有利于发生落叶松毛虫虫害,其原因各不相同。云冷杉林虽然混交度和物种多样性高,但都是性质相同的针叶树种可视为针叶纯林,同质性强,可为落叶松毛虫提供丰富的食料易暴发虫害。长白落叶松为火山灰上直接发育的先锋树种,处于演替初级阶段,生物多样性低,极易暴发虫害。红松阔叶林自身的生物多样性高,但是在长白山自然保护区内由于人为保护,很少发生林火等灾害,红松比例越来越高,局部已经形成纯林,生物多样性下降易暴发虫害。

长白山自然保护区内自建区60年来未有松毛虫大面积暴发记录,主要是保护区有双重保障不受落叶松毛虫的侵害,一个是生物屏障,另一个是气候屏障。过去长白山自然保护区外低海拔区,由于人类活动对针阔混交林中的红松进行采伐,针叶树比例小,不易发生虫害;目前区外天然林获得保护,红松等针叶树比例提升,同时栽种大量的生物多样性低的人工落叶松林,失去了对保护区有效隔离的作用。过去松毛虫在保护区外也有暴发,但是不能侵入保护区内,原因是高海拔气候条件存在冬季严寒、夏季低温、暴雨的特点,不利于松毛虫入侵。已有的研究表明在以温度升高为主要特征的全球气候变化背景下,昆虫的代谢速率、生存繁殖和迁移扩散等核心生命活动受到显著影响<sup>[23,24]</sup>,本研究结果与此观点相一致。近10年长白山地区的温度在升高,特别是秋冬温度升高强烈、降水减少、湿度减小和日照增加,为松毛虫的暴发奠定了气候基础,特别是2018和2019年出现了高温、干旱

和日照时数多的极端气象条件,导致松毛虫可以在区外暴发后,从低海拔区向高海拔区迁移扩散。因此,长白山自然保护区目前存在气象上发生落叶松毛虫的风险,加之林型和保护区内不能药物防治等问题,可能会带来更大规模的虫害。

致灾程度评估必须要考虑受灾第二年的恢复情况。以往大多数研究是对落叶松毛虫发生和成灾程度进行研究,根据暴发当年虫口数量评估发生程度,根据失叶率评估成灾程度<sup>[25]</sup>,而忽视了暴发后第二年林木的恢复状况。不同林型恢复差别大,例如长白落叶松遭受松毛虫按照当年的失叶情况可以判定为受灾严重,但是第二年长白落叶松叶片基本恢复生长,枯死的很少,应视为轻度受灾。

### 4 结论

(1)长白山自然保护区整体上成灾区发生比例不大,但局部受灾程度很重。虫灾区占到长白山自然保护区北坡总面积的12.5%,其中,一般灾区占21.8%,重灾区占79.2%。受灾的主要树种为鱼鳞云杉、臭冷杉、红松和长白落叶松。

(2)长白山自然保护区落叶松毛虫成灾区森林有所恢复,但是不同林型恢复程度差异明显。长白落叶松林受损林全部恢复,红松针阔混交林中红松纯林以及海拔1100 m至1300 m云冷杉林重度受损林恢复差。

(3)3种受损林型林分结构存在差异,导致3种林型虫口的密度存在差异。云冷杉竞争指数和大小比数低,树势强,虽然其多样性和混交度高,但是都是针叶树种,可视为纯林,因此受害最重。红松针阔混交林竞争指数和大小比数高,树势弱,但是其多样性和混交度高,有较多的阔叶树种,因此受害程度低于云冷杉。长白落叶松的竞争指数、混交程度、大小比数和多样性指数均为3种林型最低,由于其为先锋树种,树龄小,叶片少,虽然易受虫害,但虫口较少,特别是第二年受损落叶松可以恢复叶片生长,其受害程度较低。

(4)2018年和2019年气象条件总体高温、干旱和日照时数多,特别是2018年秋冬气温极高和2019年春季降水极少是落叶松毛虫暴发的重要气象原因。

### 参考文献:

[1] 李秀林,陈庆英,张睿,等.长白山森林资源发展现状及对策[J].

- 广东蚕业, 2020, 54 ( 10 ): 50-51.
- [ 2 ] 余新晓, 鲁绍伟, 靳 芳, 等. 中国森林生态系统服务功能价值评估[J]. 生态学报, 2005, 25 ( 8 ): 2096-2102.
- [ 3 ] 王绍先, 许嘉巍, 孟庆繁. 吉林长白山国家级自然保护区森林生态系统评价[M]. 北京: 中国林业出版社, 2020.
- [ 4 ] 陈方昕, 李文光, 马小丽. 长白山地区落叶松毛虫生物学特性研究[J]. 防护林科技, 2018 ( 8 ): 40-42.
- [ 5 ] 萧刚柔. 中国森林昆虫(增订本)[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992.
- [ 6 ] 王东育, 李 楠. 长白山林区松毛虫种群变动的气象因素及对策探究[J]. 南方农业, 2020, 14 ( 26 ): 72-74.
- [ 7 ] 韩瑞东, 何 忠, 戈 峰. 影响松毛虫种群动态的因素[J]. 昆虫知识, 2004, 41 ( 6 ): 504-511.
- [ 8 ] 王文革, 庞丽杰, 王志强. 尚志国有林场落叶松毛虫监测及防治技术[J]. 防护林科技, 2020, 199 ( 4 ): 83-84.
- [ 9 ] 邹 莉, 张国权, 黄建伟. 东北地区落叶松毛虫研究进展[J]. 安徽农业科学, 2014, 42 ( 9 ): 2584-2587.
- [ 10 ] 龚直文, 亢新刚, 顾 丽, 等. 天然林分结构研究方法综述[J]. 浙江林学院学报, 2009, 26 ( 3 ): 434-443.
- [ 11 ] 惠刚盈, Von Gadow K, Albert M. 一个新的林分空间结构参数——大小比数[J]. 林业科学研究, 1999, 12 ( 1 ): 1-6.
- [ 12 ] 惠刚盈, 胡艳波. 混交林树种空间隔离程度表达方式的研究[J]. 林业科学研究, 2001, 14 ( 1 ): 23-27.
- [ 13 ] 黄新峰, 亢新刚, 杨 华, 等. 5个林木竞争指数模型的比较[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2012, 40 ( 7 ): 135-142, 148.
- [ 14 ] 苏宇乔, 张 毅, 贾小容, 等. 几种多样性指标在森林群落分析中的应用比较[J]. 生态科学, 2017, 36 ( 1 ): 134-140.
- [ 15 ] 张建国, 段爱国, 童书振. 林分直径结构模拟与预测研究概述[J]. 林业科学研究, 2004 ( 6 ): 787-795.
- [ 16 ] 黄咏槐, 梁 军, 马 琳, 等. 森林空间结构对崑崙山腮扁叶蜂虫口密度的影响[J]. 林业科学, 2018, 54 ( 7 ): 84-90.
- [ 17 ] 魏红洋, 董灵波, 刘兆刚. 大兴安岭主要森林类型林分空间结构优化模拟[J]. 应用生态学报, 2019, 30 ( 11 ): 3824-3832.
- [ 18 ] 韩 敏, 董希斌, 刘 慧, 等. 大兴安岭天然落叶松次生林不同演替阶段的空间结构[J]. 东北林业大学学报, 2020, 48 ( 6 ): 123-127.
- [ 19 ] 于 跃, 房 磊, 方国飞, 等. 气象因子对落叶松毛虫种群数量的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27 ( 9 ): 2839-2847.
- [ 20 ] 赵可新, 乌秋力, 乔文斌, 等. 大兴安岭森林松毛虫发生的气象条件相关分析[J]. 内蒙古气象, 2010 ( 6 ): 31-33.
- [ 21 ] 周淑芷, 张 真, 黄孝运, 等. 生物多样性保护与森林病虫害的综合管理[J]. 世界林业研究, 1996, 2: 18-22.
- [ 22 ] 靳英华, 许嘉巍, 梁 宇, 等. 火山干扰下的长白山植被分布规律[J]. 地理科学, 2012, 33 ( 2 ): 203-208.
- [ 23 ] 杜 尧, 马春森, 赵清华, 等. 高温对昆虫影响的生理生化作用机理研究进展[J]. 生态学报, 2007, 27 ( 4 ): 1565-1572.
- [ 24 ] Gray D R. The relationship between climate and outbreak characteristics of the spruce budworm in eastern Canada[J]. Climatic Change, 2008, 87(34): 361-383.
- [ 25 ] 国家林业局. LY/T 1681-2006林业有害生物发生及成灾标准[S]. 北京, 2006.

# Investigation and Factors Analysis of *Dendrolimus superans* Outbreaks in Changbai Mountain National Nature Reserve

YU De-jiang<sup>1</sup>, ZHENG Yi-guo<sup>1</sup>, SUN Chen-hu<sup>2</sup>, ZHAO Chen<sup>2</sup>, JIN Ying-hua<sup>2</sup>,  
ZHANG Li-jun<sup>1</sup>, LI Jin-gong<sup>1</sup>, LIU Li-jie<sup>3</sup>

(1. Changbai Mountain Nature Conservation and Management Center, Erdaobaihe 133613, Jilin, China; 2. Key Laboratory of Geographical Process and Ecological Security of Changbai Mountain, Ministry of Education, School of Geographical Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, Jilin, China; 3. Changbai Mountain Academy of Sciences, Erdaobaihe 133613, Jilin, China)

**Abstract:** [Objective] To analyze the disaster situation and factors inducing *Dendrolimus superans* outbreaks in Changbai Mountain Nature Reserve (CMNR). [Method] Sample plots in the northern slope of CMNR were investigated in 2019 and 2020, including meteorological conditions, stand structures, severity of disturbance, and forest restoration. [Result] The results showed that: (1) The *Dendrolimus superans* disturbance area was small, which occupied 12.5% of the total area of the northern slope of CMNR and of which 21.8% was mild disturbance and 79.2% was severe disturbance. The main tree species affected were *Picea jezoensis*, *Abies nephrolepis*, *Pinus koraiensis*, and *Larix olgensis*. (2) Within the disturbance area, the recovery degree of forests varied significantly among different forest types. All the disturbed *Larix olgensis* forests recovered, and poor recovery occurred in pure *Pinus koraiensis* forests and severe disturbance forests in spruce fir forests in altitude of 1 100 m to 1 300 m. (3) There were significant differences in the density of insect populations in the three types of forests because of different stand structures. Despite the high diversity and mingling degree, spruce fir forests dominated by coniferous species (pure forest) with low competition index, neighborhood comparison index, and strong tree vigor, were prone to pests disaster. The competition index and neighborhood comparison index in coniferous-broad leaved Korean pine mixed forest were high and tree vigor was weak. but the forests were dominated by broad-leaved tree species with high diversity and mingling degree, and the damage degree was lower than spruce fir forests. The competition index, mingling degree index, neighborhood comparison index, and the diversity index of *Larix olgensis* forests were the lowest among all three forest types. *Larix olgensis* was a pioneer species with small tree ages and few leaves. Although it was susceptible to insect damage, the damage degree was low due to less population densities. And leaf growth of the damaged *Larix olgensis* forests restored in the next year. (4) High temperature, drought, and more sunshine hours happened in 2018 and 2019. The extremely high temperature in autumn and winter of 2018 and the low precipitation in spring of 2019 were the main climatic factors for the outbreak of *Dendrolimus superans*. [Conclusion] At present, the stand structure, climatic conditions in CMNR are favorable for the outbreak of *Dendrolimus superans*, which indicates that *Dendrolimus superans* disasters will occur periodically.

**Keywords:** *Dendrolimus superans* Butler; disaster conditions and factors; Changbai Mountain Nature Reserve