

东北地区落叶松毛虫灾害气象风险区划初步研究^{*}

郭安红¹, 王纯枝¹, 李 轩¹, 张玉书², 张旭东³

(1. 国家气象中心, 北京 100081; 2. 沈阳大气环境研究所, 辽宁 沈阳 110016;

3. 国家林业局森防总站, 辽宁 沈阳 110034)

摘 要: 利用黑龙江省牡丹江市海林市松毛虫发生情况与气象因子进行相关性分析, 筛选出 ≥ 10 °C 积温正距平、夏季气温正距平和日最高气温 ≥ 30 °C 天数正距平、冬季气温正距平以及3-10月降水量负距平与松毛虫大发生有较好的相关性。其次, 基于东北地区76个气象站, 利用上述关键气象因子作为利于东北地区松毛虫大发生的气象条件进行分析。结果表明, 1971-2010年40年东北地区年 ≥ 10 °C 积温、夏季和冬季气温均呈明显增加趋势, 3-10月降水呈微弱的降低趋势, 也就是说40年来东北地区气候变化趋向于利于松毛虫灾害发生。另外, 对东北地区1971-2010年上述关键气象因子单因子利于松毛虫灾害发生的历史风险以及综合气象因子利于松毛虫灾害发生的历史风险进行分析, 得出东北地区松毛虫灾害气象风险区划分布, 结果表明吉林省中部、黑龙江大小兴安岭、牡丹江半山区的南部和西部松毛虫灾害气象风险约为10年二、三遇; 辽宁大部, 吉林省东南部、黑龙江松嫩平原和三江平原松毛虫灾害气象风险约为10年三至四遇。

关键词: 落叶松毛虫; 灾害; 关键气象因子; 气象风险区划; 东北地区

中图分类号: P363.41⁺¹ **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2012)02-0024-05

落叶松毛虫(*Dendrolimus superans* (Butler))是我国东北落叶松林多发的主要害虫。林木遭受害虫危害后, 会引起生长受阻, 严重时甚至死亡^[1-3]。据不完全统计, 我国落叶松毛虫每年发生面积大约达200~280万 hm^2 , 发生周期大约为14年, 以每公顷每年减少生长量 1.38 m^3 计算, 减少木材生长量276~368万 m^3 ^[4]。

研究表明, 气象条件不但直接影响松毛虫的分布和世代的多少, 同时也影响整个生物种群间的动态平衡, 从而诱发间歇性周期发生和数量变动。在光、热充足的条件下, 生长发育期缩短; 在气象条件不适宜的情况下则可能造成松毛虫大量死亡, 张玉书等^[5]对松毛虫越冬死亡率与气象条件的关系进行了试验研究, 结果表明松毛虫越冬死亡率主要与冬季负积温呈明显指数关系, 相关达极显著水平; 另外, 长期干旱时寄主植物内部水分减少、糖分增加, 可使幼虫的取食量增大, 间接地促使害虫增加繁殖量; 短时的暴风骤雨可以冲刷树上的幼虫, 长期连绵阴雨会影响幼虫的结茧、化蛹和成虫的羽化^[6]。刘志明等^[7]分析了大兴安岭林区落叶松毛虫大发生与 ≥ 10 °C 积温、月平均相对湿度、降水量、温度等气象条件进行了分析, 结果表明, 连续2~3年4-6月的相对湿度低于多年平均值、4-9月降水量低于多年同期、4-9月份的 ≥ 10 °C 积温和平均气温高于历年同期平均值, 这三个条件以相对湿度指标占主要地位,

并在其它条件(虫口基数、天敌、人为活动)相适应的情况下, 则有松毛虫大发生的可能。此外, 还有不少学者开展了利用气象条件预测松毛虫发生期、发生量的预测研究^[8-10]。

气象因子对松毛虫灾害的发生有着直接影响, 但是目前关于松毛虫灾害发生的气象风险尚未见有相关研究。近年来, 随着全球气候变化和极端气候事件增多, 为松毛虫等病虫害发生提供了有利条件。本文利用黑龙江省牡丹江市海林市松毛虫发生情况与气象因子进行相关性分析, 筛选出影响松毛虫大发生的关键气象因子, 通过分析东北地区松毛虫大发生的关键气象因子1971-2010年的变化趋势以及出现的历史风险概率, 得出东北地区落叶松毛虫灾害气象风险区划。研究结果为松毛虫灾害防御以及气候变化下松毛虫发生的潜势提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 落叶松毛虫资料

资料来源于国家林业局森林病虫害防治总站林木害虫发生情况测报统计资料, 监测点为黑龙江省牡丹江市海林林场, 资料时间序列为1987-2008年, 包括被害株率(%)指标、虫口密度(头/

^{*} 收稿日期: 2011-11-03

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY200906028); 公益性行业(林业)科研专项(200804023)

作者简介: 郭安红(1972-), 女, 陕西商州人, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事应用气象研究. E-mail: guoah@ cma. gov. cn

株)或病情指数指标、发生面积指标以及危害情况等。

1.2 相关气象资料的处理

基础气象资料来源于国家气象中心,包括黑龙江、吉林和辽宁三个省 76 个气象站逐日气象观测资料。由于松毛虫的主要活动期集中在 4 月下旬至 9 月下旬日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的时段。所以选择年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温(距平),夏季(6-8 月)气温,夏季日最高气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 天数,冬季(前一年 12 月-当年 2 月)气温,前一年 11 月-当年 3 月日最低气温 $\leq -20^{\circ}\text{C}$ 天数,松毛虫活动期前后 1 个月(即 3-10 月)降水 $\geq 0.1\text{ mm}$ 日数等作为对松毛虫生长发育有影响的气象因子进行分析。气候倾向率的计算采用一元线性拟合分析方法,分别计算出 76 个气象站 1971-2010 年 40 年上述各要素气候倾向率,并且利用 ArcGIS 软件进行空间插值进行分析。

1.3 影响落叶松毛虫大发生的关键气象因子筛选

由于牡丹江市海林市松毛虫发生情况统计资料时间的序列为 1987-2008 年,因此整理牡丹江市 1987-2008 年对松毛虫生长发育有影响的气象因子与同年被害株率(%)、虫口密度(头/株)或病情指数和发生面积进行相关分析,筛选出影响落叶松毛虫大发生的关键气象因子。

1.4 气象因子利于松毛虫灾害发生的历史风险计算

由于松毛虫灾害的发生可能同时与多种关键气象因子有关,因此首先针对 1.3 节中筛选出来的每个关键气象因子,计算其 40 年来出现利于松毛虫灾害发生的概率。例如年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温与松毛虫灾害发生具有正相关关系,则计算某一地区 1971-2010 年 40 年来出现的正距平的概率,如果出现正距平的概率 ≥ 0.5 ,那么该地区年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温单因子利于松毛虫灾害发生的历史风险概率较大;反之,对于负相关的关键气象因子,如果某一地区该气象因子出现负距平的概率 ≥ 0.5 ,那么该地区这个负相关单因子利于松毛虫灾害发生的历史风险概率较大。基于黑龙江、吉林和辽宁三个省 76 个气象站进行计算,并且利用 ArcGIS 软件进行空间插值分析得到单因子利于松毛虫灾害发生的历史风险分布。

2 主要结果

2.1 影响落叶松毛虫大发生的关键气象因子

通过牡丹江市 1987-2008 年气象因子与松毛虫发生情况进行相关分析表明,松毛虫的发生面积与 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、夏季气温和日最高气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 天数之间有良好的正相关关系(r 分别为 0.427、0.308 和 0.445),而与 3-10 月降水量呈负相关关

系(r 为 0.398)。

另外,从海林市松毛虫发生面积较高的 1998、1999、2006 年个例来看,1998 年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温距平达到 $549.3^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,日平均气温稳定通过 10°C 日数达到 177 d,为近 20 年来的极值;另外,1997 年 12 月-1998 年 2 月(1997/1998 冬季)气温为正距平,1997 年 11 月-1998 年 3 月日最低气温 $\leq -20^{\circ}\text{C}$ 天数均为负距平;同时,1998 年 3-10 月降水量和降水日数为负距平。也就是说 1998 年冬季相对偏暖,年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温较高,3-10 月降水量偏少,三因素共同作用导致了 1998 年海林市松毛虫发生面积较高。

同样分析表明,1999 年夏季气温、日最高气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 天数分别为近 20 年来的第 2 高和第 1 高;1998/1999 冬季气温为正距平,1998 年 11 月-1999 年 3 月日最低气温 $\leq -20^{\circ}\text{C}$ 天数为负距平;1999 年 3-10 月降水量为近 20 年来的最低值,3-10 月降水 $\geq 0.1\text{ mm}$ 日数为负距平。显然 1999 年经历了一个较为温暖的冬季和相对炎热的夏季,松树生长季持续干旱(1998 年 3-10 月降水也偏少),导致了 1999 年海林市松毛虫发生面积较高。

2006 年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温、夏季气温和日最高气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 天数等温度要素均为正距平,而 2003-2006 年连续 4 年 3-10 月降水量为负距平,也就是说 2006 年松毛虫生长季和夏季温度偏暖,松树生长季长期持续干旱造成松毛虫发生面积较高。

总结 1998、1999、2006 年这三个大发生年个例,发现都有 3-10 月降水量负距平这个关键气象因子,显然松毛虫生长季降水偏少对松毛虫大发生是极为有利的。而在年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温正距平、夏季气温正距平、夏季日最高气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 天数正距平以及冬季气温正距平温度类关键气象因子中,往往有年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温正距平、夏季气温正距平(或者夏季日最高气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 天数正距平,因为夏季气温正距平与夏季日最高气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 天数正距平往往具有变化上的一致性),以及冬季气温正距平三个温度要素中的任意两个因子满足条件,主要是因为生长季温度偏高、夏季炎热以及暖冬都是导致松毛虫灾害发生的有利温度气象条件,而当有利温度条件出现一定程度的叠加时往往会导致松毛虫的大发生,单一条件满足尚不足以导致大发生。

2.2 东北地区 40 年来影响松毛虫大发生的关键气象因子变化趋势

根据上述分析,选用 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、夏季气温和日最高气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 天数、冬季气温四个正相关因子和 3-10 月降水量一个负相关因子综合分析东北地区 40 年来影响松毛虫大发生的关键气象因子变化趋势

(1)1971 - 2010 年东北地区年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、夏季和冬季气温均呈明显增加趋势。其中, 黑龙江南部、吉林西部等年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温气候倾向率基本都在 $10^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 以上(图 1a); 黑龙江中部地区冬季气温气候倾向率在 $0.6^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 以上(图 1b); 以黑龙江小兴安岭为主的地区夏季气温气候倾向

率为 $0.4 - 0.6^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (图 1c)。图 1d 中显示除了黑龙江三江平原东部地区外, 东北地区大部夏季日最高气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 日数呈现增多的趋势, 其中黑龙江北部以小兴安岭为主的地区、辽宁大部和吉林西部部分地区夏季日最高气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 日数气候倾向率在 $0.2\text{d}/10\text{a}$ 以上。

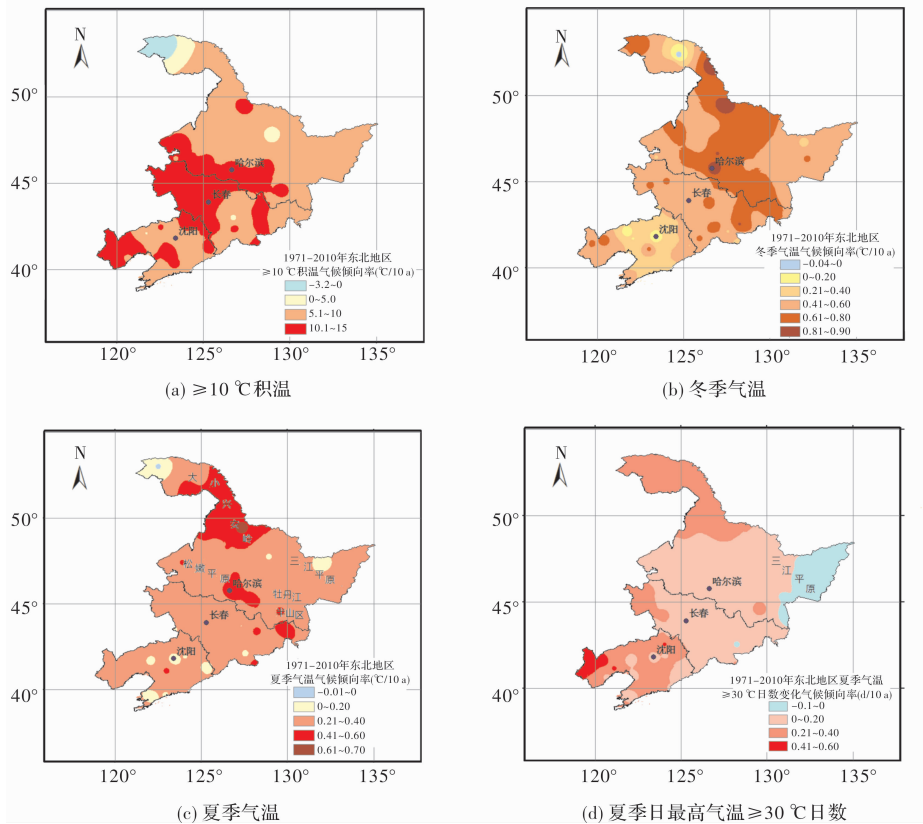


图 1 1971 - 2010 年东北地区气温气候倾向率分布

(2)东北地区大部松毛虫生长季前后(3 - 10月)降水呈现微弱的降低趋势。图 2 中表明黑龙江中东部大部地区、吉林中西部大部和辽宁大部 3 - 10 月降水量呈现微弱的减少趋势; 黑龙江小兴安岭为主的地区、吉林东部和辽宁东北部则呈现微弱的增加趋势。

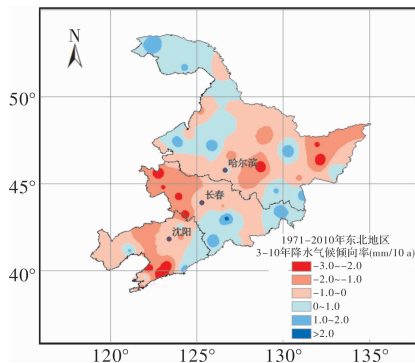


图 2 1971 - 2010 年东北地区 3 - 10 月降水量气候倾向率分布

根据前述得分析, 松毛虫的发生面积与 \geq

10°C 积温、夏季气温和日最高气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 天数之间有良好的正相关关系; 而与 3 - 10 月降水量有良好的负相关关系; 另外, 暖冬对于松毛虫的安全越冬较为有利。总体看来, 40 年来东北地区大部气候趋向于利于松毛虫灾害的发生。

2.3 气象因子利于松毛虫灾害发生的历史风险分析

根据 1.4 节中的分析方法, 采用 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、夏季气温和日最高气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 天数、冬季气温等关键气象因子 1971 - 2010 年 40 年正距平概率 ≥ 0.5 来表示该地区该关键气象因子利于松毛虫灾害发生的历史风险概率较大; 采用 3 - 10 月降水量负距平概率 ≥ 0.5 来表示该地区 3 - 10 月降水量利于松毛虫灾害发生的历史风险概率较大。

图 3 为东北地区 1971 - 2010 年 40 年中 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温正距平和夏季气温正距平出现的概率分布图。从图 3a 中可以看出在辽宁大部、吉林东部和黑龙江三江平原东部 40 年来 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温出现正距平的

概率都在 0.51 以上, 上述地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温单因子利于松毛虫灾害发生的历史风险概率较大; 从图 3b 中可以看出黑龙江大兴安岭地区、三江平原西北部以及辽宁中部平原的部分地区 40 年来夏季气温出现正距平的概率都在 0.51 以上, 上述地区夏季气温单因子利于松毛虫灾害发生的历史风险概率较大。东北地区夏季日最高气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 天数出现正距平概率 ≥ 0.5 的分布区域很小(图略), 也就是说东北地区夏季日最高气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 天数单因子利于松毛虫灾害发生的历史风险概率较小。

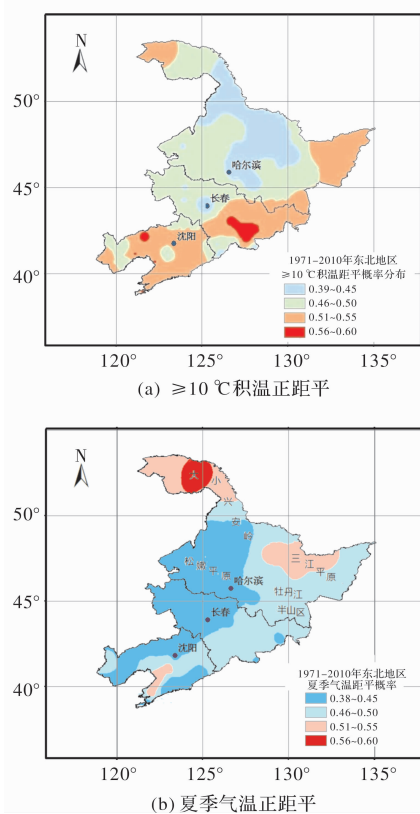


图3 东北地区 1971-2010 年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温正距平和夏季气温正距平概率分布

图 4 为东北地区 1971-2010 年 3-10 月降水量出现负距平的概率分布图。可以看出在东北的大部分地区 40 年来 3-10 月降水量出现负距平的概率都在 0.51 以上, 其中辽宁东部、吉林东南部和黑龙江北部部分地区 3-10 月降水量出现负距的概率平都在 0.55 以上。也就是说东北地区大部 3-10 月降水量单因子利于松毛虫灾害发生的历史风险概率较高。

图 5 为东北地区 1971-2010 年 40 年中冬季气温出现正距平的概率分布图。可以看出在辽宁和吉林的大部分地区以及黑龙江大兴安岭的部分地区 40 年来冬季气温出现正距平的概率都在 0.51 以上, 上述地区冬季气温单因子利于松毛虫灾害发生的历史风险概率较大。

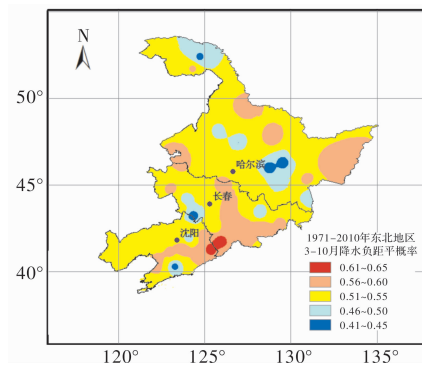


图4 东北地区 1971-2010 年 3-10 月降水量负距平概率分布图

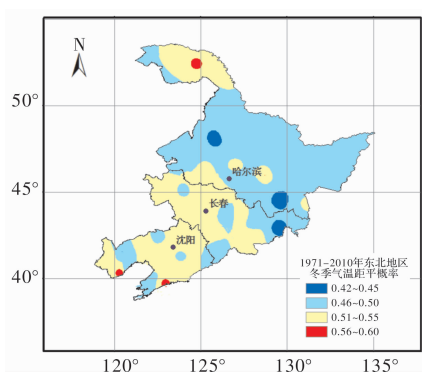


图5 东北地区 1971-2010 年冬季气温正距平概率分布图

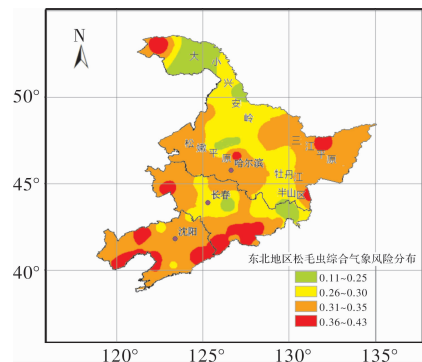


图6 东北地区松毛虫灾害气象风险区划示意图

2.4 东北地区松毛虫灾害气象风险区划

根据 2.1 节中分析的 1998、1999、2006 年这三个大发生年个例, 可以得出: 如果某一地区某年份出现 3-10 月降水量负距平的同时, 又出现了 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温正距平、夏季气温正距平(或者日最高气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 天数正距平), 以及冬季气温正距平三温度要素中任意两个因子正距平, 则该年气象条件利于松毛虫灾害发生的可能性较大。如果该地区 1971-2010 年 40 年中满足上述气象条件的年份较多, 则该地区松毛虫灾害气象风险就较高; 反之 40 年中满足上述气象条件的年份少, 则该地区松毛虫灾害气象风险较低。

图 6 中给出了根据上述条件分析的松毛虫灾害发生的气象风险分布图。可以看出, 吉林省中部、

黑龙江大小兴安岭、牡丹江半山区的南部和西部松毛虫灾害气象风险约为 10 年二、三遇；辽宁大部，吉林省东南部、黑龙江松嫩平原和三江平原松毛虫灾害气象风险约为 10 年三至四遇。

3 讨论

(1) 本文利用黑龙江省牡丹江市海林市松毛虫发生情况与气象因子进行相关性分析，筛选出影响松毛虫发生的关键气象因子，其主要结论与近年来的研究结果基本相同。由于松毛虫对环境气象因子的生理需求具有一定的一致性，所以利用该关键气象因子外推并用以分析影响东北地区松毛虫发生的气象条件。本文的主要结论之一——1971–2010 年 40 年来东北地区气候变化趋向于利于松毛虫发生，显然与近年来气候变化和极端气候事件增多，为松毛虫发生提供了有利条件的研究结果相一致。

(2) 本文利用气象条件满足 3–10 月降水量负距平的同时，又满足冬季气温、 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温、夏季气温(或者日最高气温 $\geq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 天数)三个关键温度要素中任两个要素正距平作为判别东北地区松毛虫灾害气象风险区划的依据。但是需要注意的是，该气象条件与松毛虫灾害发生为充分而非必要条件，即满足上述气象条件，则存在松毛虫灾害发生的可能性，但不是必然性。

(3) 本文在利用 ArcGIS 软件进行空间插值进

行分析时主要是基于东北地区 76 个气象站点的气象资料以及站点的空间分布，采用反向距离插值法(IDW)进行的空间分析，对于地形和高程的考虑不足，可能还有其它插值方法更适合于本文各要素的分析。此外，东北地区松毛虫灾害气象风险区划仅为气象条件这一充分非必要条件，没有考虑东北地区落叶松以及落叶松毛虫的主要分布区，在以后的研究中将进一步展开。

参考文献：

- [1] 陈昌洁. 松毛虫综合管理[M]. 北京：中国林业出版社，1990：8–35.
- [2] 候陶谦. 中国松毛虫[M]. 北京：中国科学技术出版社，1987：145–187.
- [3] 陈宏伟，胡远满，常禹，等. 我国大兴安岭林区落叶松毛虫综合研究进展[J]. 西北林学院学报，2011，26(1)：119–127.
- [4] 张旭东. 黑龙江大兴安岭林区森林昆虫[M]. 哈尔滨：东北林业大学出版社，2001：18–35.
- [5] 张玉书，肖艳，戴德纯，等. 松毛虫越冬死亡率与气象条件关系试验统计研究[J]. 辽宁气象，1998(4)：22–23.
- [6] 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.
- [7] 刘志明，晏明，张旭东，等. 气象因子对落叶松毛虫的影响分析[J]. 灾害学，2002，17(4)：32–37.
- [8] 张玉书，冯锐，陈鹏狮，等. 松毛虫发生期与气象条件关系[J]. 中国农业气象，2004，25(3)：26–27.
- [9] 毕湘虹，王凤霞，徐光烈，等. 应用气象因子预测落叶松毛虫的发生[J]. 林业科技，1996，21(2)：43–44.
- [10] 唐红艳，牛宝亮. 气象因子对落叶松毛虫繁殖的影响及其产卵量预测[J]. 东北林业大学学报，2010，38(1)：84–87.

Preliminary Study on Meteorological Risk Zoning of Pine Moth Infestation in Northeast China

Guo Anhong¹, Wang Chunzhi¹, Li Xuan¹, Zhang Yushu² and Zhang Xudong²

(1. National Meteorological Centre, CMA. Beijing 100081, China; 2. Institute of Atmospheric Environment (IAE), CMA. Shengyang 110016, China; 3. Forest Disease and Pest Prevention Station, SFA. Shengyang 110034, China)

Abstract: The relationship between pine moth infestation and meteorological factors in Hailin city of Mudanjiang, Heilongjiang Province is analysis in this paper. It indicates that positive anomaly of $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature, mean air temperature in summer, number of days in summer that daily maximum air temperature $\geq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, mean air temperature in winter, and negative anomaly of precipitation from March to October played good roles in pine moth infestation. Farther more, above key meteorological factors are used to evaluate the meteorological conditions that induced pine moth infestation in northeast China based on 76 meteorological stations. Firstly, the climate tendency rate of above meteorological factors from 1971 to 2010 in northeast China indicates that $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature, mean air temperature in summer, and mean air temperature in winter increased evidently in recent 40 years in northeast China, meanwhile the precipitation amount from March to October during pine moth growth season decreased slightly, that is climate changes in northeast China tends to make for pine moth infestation. Secondly, historical risk of above mention meteorological factors (single and integrated) is analyzed to get the meteorological risk zoning of pine moth infestation in northeast China. The results show that the meteorological risk of pine moth infestation is twice to three times in-a-decade in the center region in Jilin province, and in Daxing'an and Xiaoxing'an mountains as well as in south and west region of Mudanjiang mountains in Heilongjiang province. It is about three to four times in-a-decade in most regions in Liaoning province, in southeast regions in Jilin province, and in Songnen Plain and Sanjiang Plain in Heilongjiang province.

Key words: pine moth; infestation key meteorological factors; meteorological risk zoning; northeast China