

气候变暖与林木害虫的适应性变化

王培新, 杜薇薇, 李孟楼*

(西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100)

摘要:通过对我国 6 个增温区的气温变化分析表明, 气温变暖对我国林木害虫的发生、分布、危害有明显影响。气候变暖增加了林木害虫的年可利用积温, 导致部分害虫的年发育代数增多; 适宜害虫栖息的地理范围扩大, 导致其分布区扩大; 年均气温的增高, 导致部分害虫春季出蛰期提前、秋季推迟越冬, 进而使成虫提早出现, 发生期延长, 种群数量增加, 危害加重。

关键词:气候; 变暖; 林木害虫; 适应性变化

中图分类号:Q968.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2011)03-0124-05

Global Warming and Adaptive Changes of Forest Pests

WANG Pei-xin, DU Wei-wei, LI Meng-lou

(College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The temperature changes of six zones in China showed that atmospheric warming significantly affected the occurrence, distribution and damage of forest pests. Climate warming increases the annual accumulated temperature available for forest pests, leading to the increase of generations in some pests. It also expands the suitable temperature region for pests, resulting in the expansion of distribution area. The increase of average annual temperature leads to the advance of post-hibernant in Spring and overwintering and the delay in Autumn, then enables adults to emerge earlier, extends occurrence period, increases population, and aggravates damage.

Key words: climate; warming; forest pest; adaptive change

近百年来, 由于工业的迅速发展, 温室气体大量排放, 导致全球气候变暖。由多国所做的北极气候影响评估(ACIA)报告最近宣称, 阿拉斯加、加拿大西部和俄罗斯东部的平均温度在过去 50 a 上升了 3~4℃, 这种上升幅度几乎是全球平均上升幅度的 2 倍。而阿拉斯加(美国最北部的城市)的平均温度 30 a 中上升了 2.5~3.0℃。联合国气候变化政府座谈小组(IPCC)预测, 到本世纪末, 全球温度还将上升 1.6~5.5℃。我国的气温也发生了明显变化, 年平均气温上升了 0.6℃±0.1℃, 这种变化的趋势与全球气候变化的趋势基本一致^[1-3]。

根据对我国各类气象文献资料的查阅, 1951—2007 年, 我国各地年平均气温变化可分为 6 个不同的气候区, 即 I 区: 0℃以下(几乎无, 可忽略); II 区:

增暖 0~1.5℃, 包括滇、贵、桂、琼、台; III 区: 增暖 1.5~3.0℃, 包括川、渝、贵、豫、鄂、湘、桂、粤、赣、皖、苏、沪、浙、闽、新、晋; IV 区: 增暖 4~5℃, 北方暖冬明显, 包括青、宁、新、陕、甘、内蒙古、川、豫、鲁、苏、冀、津、京、吉、辽; V 区: 增暖 1~3℃, 包括藏、青、甘、黑、吉、辽; VI 区: 增暖 3~4℃, 仅西藏部分地区(图 1)。其中, 北方和青藏高原(除塔里木盆地外)全年气温都普遍上升; 东北(除秋季外)增温较明显, 西北地区和内蒙古全年显著增温, 新疆冬季增温明显, 青藏高原秋冬季升温显著; 尤其东北、华北、西北北部和高原区地面增暖最为明显, 每 10 a 增温 0.3~0.7℃^[4-8]。总体来看, 我国各地的气温普遍上升。这种气候增暖的现象, 对林木害虫的分布和危害产生了较明显的影响。

收稿日期: 2010-04-27 修回日期: 2010-11-17

基金项目: 国家林业局重点项目“气候变化对林业生物灾害影响及适应对策研究”(14210340)

作者简介: 王培新, 男, 正高级工程师, 主要从事森林昆虫的科研与管理工。

* 通讯作者: 李孟楼, 男, 教授, 博士生导师, 主要从事森林害虫与花椒研究。

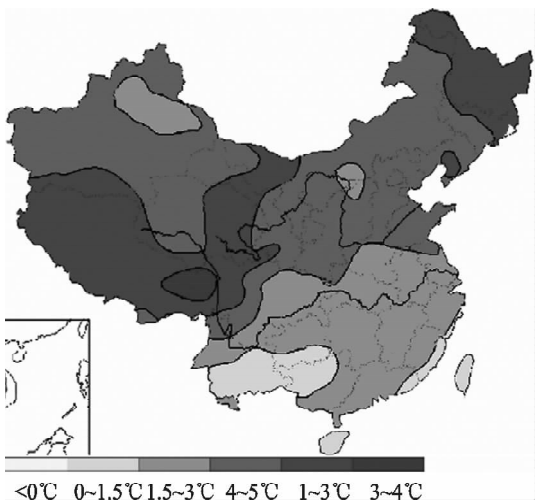


图 1 1951—2007 年中国年均增温区^[7]

Fig. 1 Annual temperature increased regions 1951~2007 in China

1 气候增暖对林木害虫的影响

1.1 气候增暖对林木害虫年发生代数的影响

气温的升高最明显的是改变了森林昆虫年有效积温的地理分布格局,年均升高 1℃ 相当于增加了 365℃ 的积温。若全国林木害虫的平均出蛰期为 2 月底,越冬始于 10 月底,即林木害虫的年发育天数约为 240 d,这 240 d 的增温既增加了积温,也增加了林木害虫的年可利用有效积温(表 1)。由于

表 2 部分害虫完成一个完整世代的有效积温^[10-20]

Table 2 Effective accumulated temperature of a complete generation for some insects

最低发育起点温度/℃	世代有效积温/℃	最低发育起点温度/℃	世代有效积温/℃
蚜虫类(6.6)	88.4~217.1	舞毒蛾(10.4)	738.2
蛭类(7.1)	706.6~865.0	美国白蛾(13.0)	885.0
螨类(9.9)	96.8~247.2	卷蛾类(9.0)	544.9~704.0
松毛虫类(11.2)	839.2~2 440.3	部分天牛类(9.3)	617.7~901.0
舟蛾类(6.2)	661.58~4 874.8	小蠹虫类(18.5)	205.4~518.2
毒蛾类(6.4)	219.7~838.5	吉丁虫类(15.3)	1 811.7~1 896.5

1.2 气候增暖对林木害虫分布区的影响

气候增暖对林木害虫产生的作用不只是增加了其年可利用的有效积温总量,还在于改变了其越冬期与出蛰期的时间及分布区。若按 1951—2007 增温区的年增积温平均值计算,则初春、秋末各 20 d 积温增量 $y=20x/240$, $x=(\text{年增积温下限值}+\text{年增积温上限值})/2$ (表 3)。由于害虫出蛰后的发育速度对温度敏感,而越冬前期对温度的反应敏感性较差。根据表 3,春季积温增量对林木害虫的作用效率按照 100%($y_1=1\times 1\%$)、秋季按照 90%($y_2=1\times 0.9\%$)计算,初春、秋末每天的积温若再按 20℃

3—10 月的平均气温基本都在常见林木害虫(小蠹虫、吉丁虫等除外)发育起点温度以上(表 2),因此,气候增温必然影响到林木害虫的年发生代数,导致部分害虫的年发生代数增加。由表 1、表 2 可知,蚜虫类、螨类、毒蛾类、小蠹虫类在气温升高 1~5℃ 区的繁殖世代数将可能增加 1~4 代,卷蛾类在气温升高 2~5℃ 区、舟蛾类与蛭类在气温升高 3~5℃ 区、舞毒蛾与美国白蛾和松毛虫类在气温升高 4~5℃ 区可能增加 1 代,部分天牛类及吉丁虫类在气温升高 3~5℃ 区的世代发育数也将受到影响。稻飞虱、稻纵卷叶螟由于气温增高,前代成虫盛发期提前,害虫发生量增加,发生世代数增加 1~2 代^[9]。

表 1 1951—2007 年我国各地区气温增加
对害虫积温的影响

Table 1 Influence of temperature increased to pests' accumulated temperature from 1951 to 2007 in China

气温区	1951—2000 年		1951—2007 年	
	年均增温/℃	年均增积温/℃	年均增温/℃	年均增积温/℃
II	0~1	0~240	0~1.5	0~360
V	0~2	0~480	1~3	240~720
III	1~2	240~480	1.5~3	360~720
VI	2~3	480~720	3~4	720~960
IV	3~4	720~960	4~5	960~1 200

计算,即可推算出增温对害虫出蛰期、越冬期的影响效果(表 3)。

在低层大气中,海拔每升高 100 m,气温将下降 0.6℃;即理论上气候增暖 0.7℃ 相当于害虫的分布区向北扩展 1',增温 0.6℃ 相当于害虫在山地的垂直分布区升高了 100 m。但是害虫分布区的扩大还受诸多因素的影响,如仅将增温对其分布范围的影响按照 50% 计算,可得我国部分林木害虫向北扩展和在山地海拔升高的理论参数(表 3)。根据我国林木害虫近 20 a 来的变化资料,可得部分害虫受气候增暖后危害及分布的变化情况(表 4)^[21-22]。

表 3 春前、秋末各 20 d 积温增量及其对林木害虫的作用^[5,11-12]

Table 3 Effect of the 20 d accumulated temperature to forest pests before Spring and after Autumn

1951—2007 增温/℃	初春、秋末各 20 d 积温 增量/℃	越冬期(y ₂)	出蛰期(y ₁)	害虫分布区变化	
				北扩纬度	海拔升高/m
II 0~1.5	15	不明显	/	0~1.1'	0~120
V 1~3	40	提前约 1.8 d	提前约 2.0 d	0.7'~2.1'	80~250
III 1.5~3	45	推迟约 2.0 d	提前约 2.0 d	1.1'~2.1'	120~250
VI 3~4	70	推迟约 3.2 d	提前约 3.5 d	2.1'~2.9'	250~330
IV 4~5	90	推迟约 4.0 d	提前约 4.5 d	2.9'~3.6'	330~410

表 4 中国各气候变化区害虫种类变化情况

Table 4 Change status of pests' species in various climatic change regions of China

种类	原分布区	现分布区及危害
星天牛	巴山—长江以南	秦岭以南,危害加重
光肩星天牛	局部分布	向北扩展,危害加重
锈色粒肩天牛	湖北以南	向北扩展至河南,山东、局部成灾
松褐天牛	秦岭以南	陕西黄龙桥山以南
云斑天牛	秦岭以南	已越过秦岭
横坑切梢小蠹	华北以南至西南局部分布	分布区扩大,危害加重
杨干象	东北—河北—陕西(关中)以北	越过秦岭向南扩
草履蚧	局部分布,不成灾	局部成灾害
吹绵蚧	秦岭以南	陕西关中—河南—山东以南,局部成灾
松针蚧	局部分布,不成灾	局部成灾害
蚜虫类	—	世代数增加,危害加重
苹果绵蚜	山东局部	分布区扩大,危害加重
北方蓝目天蛾	局部分布,不成灾	局部成灾害
栎黄枯叶蛾	秦岭以南及西南	陕西黄龙桥山以南,局部成灾害
杨小舟蛾	局部分布,不成灾	华中、华北、东北(吉林以南)、陕西成灾
杜仲梦尼夜蛾	局部分布,不成灾	局部成灾害
斜纹夜蛾	局部分布,不成灾	辽宁—河北—河南—陕西以南平原区局部成灾害
叶蜂类	—	分布区扩大,危害加重
林木害螨类	—	世代数增加,分布区扩大,危害加重
苹果蠹蛾	新疆	分布区扩大
竹小斑蛾	巴山—长江以南	秦岭以南
沙棘木蠹蛾	北方局部分布,不成灾	分布区扩大,局部成灾害

2 气候增暖与林木害虫的适应性变化

在气候变暖日益加剧的情况下,我国各气候区林木害虫已发生了适应性变化,这种变化显然不是单一因素的作用,而取决于各地气候增温幅度、降水量、害虫寄主的分布、害虫自身的习性(如完成 1 个世代需要的有效积温)等因素的综合作用,这种综合作用所导致的林木害虫发生的适应性变化也具有综合效应,体现在多个方面。表 5 表明,我国近年来林木害虫受气候变化的综合效应,在 II~VI 气候区,发生适应变化最明显的是 IV 气候区,增暖 4~5℃。

我国林木害虫受气候变化体现的适应性变化主要有 5 个方面。①春季出蛰提前^[23],越冬期推迟。日均气温增加,导致部分害虫的越冬成活率提高,发育速率加快,繁殖量和种群数量增大,危害期延长,危害性加重^[24-25],蚜虫类^[10]、棉铃虫、林木害螨类就

是典型的事例^[26]。② 相同气候区的等温线北移,导致昆虫的越冬界线北移,分布范围扩大^[26],如锈色粒肩天牛、吹绵蚧等。③ 气温变暖使昆虫年可利用有效积温量增加,发育时间缩短,成虫产卵期提前^[27],导致部分林木害虫的年世代数增加;如杨梅毛虫从 20 世纪的每年 1 代增加到每年 2 代,华北地区的黄毒蛾在 19 世纪 50 年代每年 1 代,现为每年

表 5 1951—2007 年我国各地区气温变化情况
及对林木害虫的影响^①

Table 5 Situation of temperature change in various regions of China and its influence to forest pests from 1951 to 2007

2007 年均 气温区	1951—2007 增温 /℃	成虫 提早 出现	种群 数量 增加	世代 数增多	危害 加重
II	0~1.5	+	+	+	+
III	1.5~3	++	+	+	++
IV	4~5	+++	+++	+++	+++
V	1~3	+	++	+	+
VI	3~4	+	++	+	++

①+、++、+++表示变化程度分别为轻、重、严重。

2 代^[20]。④ 随着气候变暖,春季回暖期逐渐提前,秋季入冬期延迟,所有昆虫的活动期均延长,进而导致具有迁飞行为的害虫在春季北迁时间提前,秋季南迁时间推迟,滞育时间缩短^[28],如小地老虎等。⑤ 由于气候的增温,扩大了适宜部分害虫栖息的区域,迁移概率的增加致使迁出或迁入地的种类组成发生了一定的变化^[26,29-33]。

3 讨论

国内外的研究表明,气候变暖将导致部分害虫的分布区域扩大,年世代数增多,危害期延长,种群数量增加,危害性上升。日本的 3 种稻田害虫(二化螟、绿色水稻叶蝉、灰飞虱)由于气温增高,其丰度均有了明显的提高^[1]。虽然过去已对许多害虫的生物学习性、分布区、年发育史等有了透彻的研究,但这方面资料多数已有 20 余年的历史,与气候变化后的实际情况有较大的出入。

因此,为应对气候增暖后防控林木害虫的需要,了解主要林木害虫的发生和危害动态,在气候变暖的大背景下,今后应对影响较大的重要害虫的分布区、年生活史等进行重新调查和研究,加强预测预报;选定部分种类的林木害虫,对其在气候增暖后的适应特征、分布区的扩张速度等进行专题研究,为发生和危害趋势的预测提供可靠依据;对原分布区和扩张后分布区的天敌等自然掣衡因素进行调查和研究,为在新发生区利用生物、生态手段和技术调控其危害提供参考。

参考文献:

[1] KOHJI Y, MASAYUKI Y, MOTOKI N, *et al.* How to analyze long-term insect population dynamics under climate change: 50-year data of three insect pests in paddy fields [J]. *Popul Ecol*, 2006, 48: 31-48.

[2] IPCC. Climate change 2001: The scientific basis[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

[3] IPCC. Climate change 2007: The scientific basis. Contribution of working group 1 to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

[4] 屠其璞,邓自旺,周晓兰. 中国近 117 年年平均气温变化的区域特征研究[J]. *应用气象学报*, 1999, 10(Z1): 34-42.

TU Q P, DENG Z W, ZHOU X L. Study of regional characteristics on mean annual temperature variation of near 117 years in China [J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 1999, 10(Z1): 34-42.

[5] 王绍武,董光荣. 中国西部环境特征及其演变[M]. 北京: 科学技术出版社, 2002.

[6] 李栋梁. 中国西北地区年平均气温的气候特征及异常研究 [M]. 中国西北干旱气候变化与预测研究(第一卷)[M]. 北

京: 气象出版社, 2000.

[7] 《气候变化国家评估报告》编写委员会. 气候变化国家评估报告 [M]. 北京: 科学技术出版社, 2007.

[8] 水利部应对气候变化研究中心. 全球变暖及我国气候变化的事实[J]. *中国水利*, 2008(2): 28-30.

Research Center for Climate Change, Ministry of Water Resources. Global warming and climate change in China [J]. *China Water Resources*, 2008(2): 28-30.

[9] 葛道阔,金之庆. 气候变化对江苏省水稻主要虫害影响初探 [J]. *江苏农业科学*, 2006(4): 36-38.

[10] 李锋,杨芳,李云翔,等. 枸杞蚜虫发育的有效积温和发育起点温度测定[J]. *宁夏农林科技*, 2002(3): 18-19.

[11] 于晓,范青海,徐加利. 腐食酪螨有效积温的研究[J]. *华东昆虫学报*, 2002, 11(1): 55-58.

[12] 徐家雄,余海滨,方天松. 湿地松粉蚧有效积温及其在国内可能扩散范围的研究[J]. *广东林业科技*, 1996, 12(3): 19-24.

[13] 刘奎,彭正强,符悦冠,等. 温度对莲雾毒蛾实验种群影响的研究[J]. *热带作物学报*, 2002, 23(3): 61-65.

[14] 程桂林. 有效积温法统计美国自蛾在青岛市区的发生代数 [J]. *北方园艺*, 2010(4): 175-176.

[15] 王莉萍,雷桂林,段兆尧,等. 德昌松毛虫文山松毛虫有效积温的初步研究[J]. *西南林学院学报*, 2000, 20(3): 169-173.

[16] 方松山. 杨扇舟蛾幼虫发育起点温度和有效积温研究[J]. *河南林业科技*, 2009, 29(1): 7-8.

[17] 佟雪,杨彬,王志明. 云杉八齿小蠹的有效积温[J]. *昆虫知识*, 2007, 44(6): 844-846.

TONG X, YANG B, WANG Z M. The effective accumulated temperature of *Ips typographus* [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2007, 44(6): 844-846.

[18] 杨志敏,王西南,姚文生,等. 光肩星天牛世代分化及有效积温的研究[J]. *森林病虫通讯*, 2000(6): 12-14.

YANG Z M, WANG X L, YAO W S, *et al.* Generation differentiation and effective accumulated temperature of *Anoplophora glabripennis* (Motsch.) [J]. *Forest Pest and Disease*, 2000(6): 12-14.

[19] 毕湘虹,杨忠伟,徐柏林,等. 云杉球果小卷蛾蛹有效积温的测定[J]. *吉林林业科技*, 1996, 12(2): 14-15.

[20] 王娜. 杨十斑吉丁虫防治方法探究[J]. *新疆林业*, 2003(2): 41.

[21] 忻介六. 森林昆虫学[M]. 北京: 新农出版社, 1953.

[22] 李孟楼. 森林昆虫通论[M]. 北京: 中国林业出版社, 2005.

[23] AKIKO S, TAKAYUKI O, SATORU U, *et al.* Modeling population dynamics of a tea pest with temperature-dependent development: Predicting emergence timing and potential damage [J]. *Ecol Res*, 2006, 21: 107-116.

[24] RICHARD A F, JEANNOEL C. Influences of climatic change on some ecological processes of an insect outbreak system in canada's boreal forests and the implications for biodiversity[J]. *Environmental Monitoring and Assessment* 1998, 49: 235-249.

[25] JAN W, VOLNEY A, RICHARD A F. Climate change and impacts of boreal forest insects [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2000, 82: 283-294.

[26] 张润杰,何新风. 气候变化对农业害虫的潜在影响[J]. *生态学杂志*, 1997, 16(6): 36-40.

ZHANG R J, HE X F. Potential effects of climate change on agricultural insect pests [J]. Chinese Journal of Ecology, 1997, 16 (6): 36-40.

[27] MIDORI T, TAKASHI M, TAKAO L, *et al.* Climatic and intertrophic effects detected in 10-year population dynamics of biological control of the arrowhead scale by two parasitoids in southwestern Japan [J]. Popul Ecol, 2006: 48:59-70.

[28] SIGRID N, AXEL S. Potential effects of climate change on insect herbivores in European forests—General aspects and the pine processionary moth as specific example [J]. Forest Ecology and Management, 2010 (259): 831-838.

[29] ANGUS R, WESTGARTH S, SUZANNE A G L, *et al.* Temporal variations in English populations of a forest insect pest, the green spruce aphid (*Elatobium abietinum*), associated with the North Atlantic Oscillation and global warming [J]. Quaternary International, 2007: 153-160.

[30] 张燕燕. 气候变暖将引起昆虫数量猛增[J]. 农药市场信息, 2007(4):26.

[31] 王 娟,姬兰柱,Marina Khomutova. 黑龙江大兴安岭地区森林害虫发生面积与气象因子的关系[J]. 生态学杂志,2007,26(5):673-67.

WANG J, JI L Z, MARINA K. Relationships between forest insect pest occurrence area and meteorological factors in Great Xing'an Mountains of Heilongjiang Province, Northeast China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2007,26(5):673-677.

[32] 叶彩玲,霍治国. 气候变暖对我国主要农作物病虫害发生趋势的影响[J]. 中国农业信息快讯,2004(1):9-10

[33] 姚 青,张志涛. 迁飞昆虫的研究进展[J]. 昆虫知识,1999,36(4):239-243.

(上接第 83 页)

[35] MCLEODA A R, NEWSHAMB K K, FRY S. Elevated UV-B radiation modifies the extractability of carbohydrates from leaf litter of *Quercus robur*[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2007, 39:116-126.

[36] 李青超,张远彬,王开运,等. 大气 CO₂ 浓度升高对亚高山红桦碳水化合物含量与分配的影响[J]. 西北林学院学报,2008, 23(1):1-5.

LI Q CH, ZHANG Y B, WANG K Y, *et al.* Effects of elevated CO₂ concentration on carbohydrate contents and allocation in *Betula albo-sinensis* seedlings in sub-alpine forest area [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008,23(1): 1-5.

[37] MOODY S A, PAUL N D, BJORN L O, *et al.* The direct effects of UV-B radiation on *Betula pubescens* litter decomposing at four European field sites[J]. Plant Ecology,2001,154 (1-2):27-36.

[38] GEHRKE C, JOHANSON U, CALLAGHAN T V, *et al.* The impact of enhanced ultraviolet-B radiation on litter quality and decomposition processes in *Vaccinium* leaves from the Subarctic[J]. Oikos, 1995,72, 213-222

[39] JULKUNEN R, HAGGMAN H, APHALO P J, *et al.* Growth and defense in deciduous trees and shrubs under UV-B[J]. Environmental Pollution,2005,137:404-414.

[40] VETELI T O. Global atmospheric change and herbivory: effects of elevated levels of UV-B radiation, atmospheric CO₂ and temperature on boreal woody plants and their herbivores [D]. University of Joensuu, PhD Dissertations in Biology, 2003. 3.

[41] ZALLER J G, SEARLES P S, ROUSSEAUX M C, *et al.* Solar ultraviolet-B radiation can affect slug feeding preference for some plant species native to a fen ecosystem in Tierra del Fuego, Argentina[J]. Plant Ecology,2003,169: 43-51.

[42] ROUSSEAUX M C, JULKUNEN-TIITTO R, SEARLES P S, *et al.* Solar UV-B radiation affects leaf quality and insect herbivory in the southern beech tree *Nothofagus Antarctica* [J]. Oecologia,2004,138: 505-512.

[43] HARBORNE J B, GRAYER R J. Flavonoids and insects [A]//HARBORNE J B. The flavonoids: advances in research since 1986[C]. London: Chapman & Hall, 1993. 589-618.

[44] ROUSSEAUX M C, BALLARE C L, SCOPEL A L, *et al.* Solar ultraviolet-B radiation affects plant-insect interactions in a natural ecosystem of Tierra del Fuego (southern Argentina) [J]. Oecologia, 1998,116: 528-535.