气候变暖对油松毛虫幼虫越冬及上下树发生期的影响*

何善勇[1] 骆有庆[1] 温俊宝[1] 赵宇翔[2] 宗世祥[1]**

(1. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室 北京 100083;
2. 国家林业局森林病虫害防治总站 沈阳 110034)

摘 要 温度是影响害虫生长发育最重要的因素之一,为了解气温的变化趋势以及在此背景下油松毛虫 *Dendrolimus tabulaeformis* Tsai *et* Liu 幼虫越冬及上下树的动态变化,本文根据辽宁省建平县 1988—2009 年期间油松毛虫上下树发生期资料和气象资料,分析了建平县气温年变化趋势和油松毛虫上下树发生期年变化趋势,探讨了发生期与气温之间的相关性,结果表明:近 22 年(1988—2009)建平县气侯变暖的趋势显著,线性倾向估计分析发现年均气温、年均最低气温和年均最高气温均呈现出上升趋势,气候倾向率分别达 0.50、0.59 和 0.36℃/10 年,四季中春季气温的升幅最大,夏秋两季次之,冬季最低。在此气候变暖背景下油松毛虫幼虫上下树及越冬发生着一定的变化趋势,其中:下树总体呈现出提前发生、提前结束、下树历期缩短的变化趋势;翌年幼虫上树期则呈现出延迟发生、提前结束、上树历期缩短的变化趋势;整个越冬期长度则呈现出延长的变化趋势。相关性分析认为气候变暖对油松毛虫的下树活动具有直接影响,主要表现为下树结束期随气候变暖而显著提前,在不考虑其它因素的影响下,9—10 月均气温上升 1℃则下树结束期会提前约 2 d,而幼虫越冬及上树发生期表现为并不受气候变暖的直接影响。研究结果为有效控制油松毛虫危害提供了理论依据。

关键词 气候变暖,油松毛虫,越冬,上下树,相关性

Influence of climate warming on overwintering behaviour of the larva of *Dendrolimus tabulaeformis*

HE Shan-Yong[1] LUO You-Qing[1] WEN Jun-Bao[1] ZHAO Yu-Xiang[2] ZONG Shi-Xiang[1]**

(1. The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;
2. General Station of Forest Pest Management, State Forestry Administration, Shenyang 110034, China)

Abstract Temperature is one of the most important factors affecting a pest's growth and development. We looked for a correlation between temperature change trends in Jianping county of Liaoning Province and the periods of occurrence of three behaviours of the larva of *Dendrolimus tabulaeformis* Tsai *et* Liu; climbing up the host tree, descending the host tree and overwintering. We compared recent temperature trends based on climate data from 1988—2009 with changes in timing of the selected behaviours of the larva of *D. tabulaeformis* based on observations recorded over the same period. The climate record indicates a significant warming trend in Jianping county of Liaoning Province during the 22 years from 1988 to 2009. Assuming a linear trend for temperature change we show that annual mean temperature, annual mean maximum temperature and annual mean minimum temperature all exhibit escalating trends, estimated at 0.50℃/10 years, 0.59℃/10 years and 0.36℃/10 years, respectively. Seasonally, spring shows the highest escalation in temperature, summer and autumn show medium escalation and winter the lowest. Under climate warming, the periods of occurrence of climbing up and down the host tree and overwintering displayed changing trends. The behaviour of descending the host tree tends to begin and end earlier and the duration of this behaviour decreases. The occurrence of climbing up the host tree tends to begin later and end earlier so that the duration of this behaviour decreases. The duration of overwintering tends to

* 资助项目:国家林业局林业公益性科研专项项目(200804023)。

** 通讯作者,E-mail:zongsx@126.com

收稿日期:2011-10-26,接受日期:2011-11-30

increase. Analysis shows that climate warming has a direct influence on the occurrence of climbing down behaviour, with the cessation of this behaviour tending to advance significantly with temperature escalation. Excluding other factors, the end of the climbing down period would advance 2 days with 1℃ of temperature increased. However, the periods of overwintering and climbing up the host tree appear not to be directly correlated with climate warming. This research could provide a theoretical basis for practical control of this pest.

Key words climate warming, *Dendrolimus tabulaeformis*, overwinter, climbing upon/down the host tree, correlation

IPCC 第四次气候变化评估报告中指出，全球气候变暖的趋势确信无疑，最近 100 年（1906—2005 年）气温变化的线性趋势达 0.74℃（0.56 ~ 0.92℃）（Intergovernmental Panel on Climate Change，2007）。中国的气温变化与全球变化有相当的一致性，在全球变暖背景下，近 100 年来中国年平均地表气温升温明显，主要发生在冬季和春季，升温幅度比同期全球平均值略高（丁一汇等，2006）。

昆虫属变温动物，自身受气温变化的影响较大，随着全球气温逐渐变暖，昆虫自身的生长发育速率、分布区、与其它物种之间的关系等也随之发生着适应性变化。目前国内外有关昆虫与气候变暖关系的研究较多，陈瑜和马春森（2010）认为，气候变暖主要影响着昆虫地理分布、发育速率、与寄主植物的同步性、种群数量以及分子学及生态机制。而通过室内外对与人类生产生活关系密切的农林害虫如粘虫、玉米棉铃虫、欧山松大小蠹、舞毒蛾等的具体研究发现，气候变暖往往有利于害虫的发展，如害虫会发生繁殖代数增加、越冬北界向北及高海拔地区扩展、迁飞范围的扩大、虫卵的安全越冬、越冬基数增加、翌年发生期提前、危害期发生面积增大等（李淑华，1997；Carroll *et al.*，2004；Karolewski *et al.*，2007；Musolin，2007；刘明春等，2009）。

目前，我国对害虫与气候变暖的关系研究主要集中在农业害虫上（李淑华，1997；刘明春等，2009），而有关林业害虫与气候变暖之间的关系研究较少。油松毛虫 *Dendrolimus tabulaeformis* Tsai *et* Liu 是我国华北地区的重要森林害虫，是我国 6 种频繁暴发的松毛虫之一（曾菊平等，2010），主要危害油松、马尾松。该虫 1 年发生 1 代，以 3 ~ 5 龄幼虫于 9—10 月下树越冬，具有滞育特性，翌年 3—4 月幼虫上树取食针叶（刘晓萍，2008）。据统计，辽宁省 1996—2001 年油松毛虫的发生面积为 12 万 hm^2/年，年均直接经济损失 340 万元人民币（李艳杰，2008），而建平县从 20 世纪 80 年代起一直持续进行油松毛虫的预测预报与防治工作，为了解气候变暖背景下油松毛虫幼虫越冬及上下树的动态变化，本文根据建平县 1988—2009 年期间油松毛虫上下树发生期资料和气象资料，分析了建平县气温年变化趋势和油松毛虫上下树发生期年变化趋势，探讨了发生期与气温之间的相关性，以期为油松毛虫的防控提供参考。

1 材料与方法

1.1 资料来源

1.1.1 油松毛虫上下树发生期数据 来源于辽宁省建平县青松岭林场国家级中心测报点，其主要负责建平县油松毛虫的预测预报工作。幼虫上下树数据通过固定监测点人工观察获得。发生期的调查按照统计的要求，将害虫种群内所有个体进入某一虫态或虫龄期的发育进度百分率达 16%、50%、84% 左右时的时期，分别划作始盛期、高峰期和盛末期。

1.1.2 气象数据 包括月均气温、月均最高气温和月均最低气温 3 种气象数据，由建平县气象局提供。

1.2 分析方法

1.2.1 趋势分析 气温和油松毛虫发生期（y）分别随年序列（x）的变化趋势均采用一元线性倾向估计法进行分析，该方法认为因变量的变化趋势可以用一次直线方程 $\bar{y}_i = a_0 + a_1 x_i$ 来进行描述，一般地将 $a_1 \times 10$ 称为该因变量的变化倾向率（戴廷仁，2003），a_0 为常数，a_1 为回归系数，a_0 和 a_1 由最小二乘法进行估计，其计算公式如（1）（2）所示（魏凤英，2007）。

$$(1) \quad a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x}$$

$$(2) \quad a_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i x_i - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2}$$

increase. Analysis shows that climate warming has a direct influence on the occurrence of climbing down behaviour, with the cessation of this behaviour tending to advance significantly with temperature escalation. Excluding other factors, the end of the climbing down period would advance 2 days with 1℃ of temperature increased. However, the periods of overwintering and climbing up the host tree appear not to be directly correlated with climate warming. This research could provide a theoretical basis for practical control of this pest.

Key words climate warming, *Dendrolimus tabulaeformis*, overwinter, climbing upon/down the host tree, correlation

IPCC 第四次气候变化评估报告中指出，全球气候变暖的趋势确信无疑，最近 100 年（1906—2005 年）气温变化的线性趋势达 0.74℃（0.56 ~ 0.92℃）（Intergovernmental Panel on Climate Change，2007）。中国的气温变化与全球变化有相当的一致性，在全球变暖背景下，近 100 年来中国年平均地表气温升温明显，主要发生在冬季和春季，升温幅度比同期全球平均值略高（丁一汇等，2006）。

昆虫属变温动物，自身受气温变化的影响较大，随着全球气温逐渐变暖，昆虫自身的生长发育速率、分布区、与其它物种之间的关系等也随之发生着适应性变化。目前国内外有关昆虫与气候变暖关系的研究较多，陈瑜和马春森（2010）认为，气候变暖主要影响着昆虫地理分布、发育速率、与寄主植物的同步性、种群数量以及分子学及生态机制。而通过室内外对与人类生产生活关系密切的农林害虫如粘虫、玉米棉铃虫、欧山松大小蠹、舞毒蛾等的具体研究发现，气候变暖往往有利于害虫的发展，如害虫会发生繁殖代数增加、越冬北界向北及高海拔地区扩展、迁飞范围的扩大、虫卵的安全越冬、越冬基数增加、翌年发生期提前、危害期发生面积增大等（李淑华，1997；Carroll *et al.*，2004；Karolewski *et al.*，2007；Musolin，2007；刘明春等，2009）。

目前，我国对害虫与气候变暖的关系研究主要集中在农业害虫上（李淑华，1997；刘明春等，2009），而有关林业害虫与气候变暖之间的关系研究较少。油松毛虫 *Dendrolimus tabulaeformis* Tsai *et* Liu 是我国华北地区的重要森林害虫，是我国 6 种频繁暴发的松毛虫之一（曾菊平等，2010），主要危害油松、马尾松。该虫 1 年发生 1 代，以 3 ~ 5 龄幼虫于 9—10 月下树越冬，具有滞育特性，翌年 3—4 月幼虫上树取食针叶（刘晓萍，2008）。据统计，辽宁省 1996—2001 年油松毛虫的发生面积为 12 万 hm^2/年，年均直接经济损失 340 万元人民币（李艳杰，2008），而建平县从 20 世纪 80 年代起一直持续进行油松毛虫的预测预报与防治工作，为了解气候变暖背景下油松毛虫幼虫越冬及上下树的动态变化，本文根据建平县 1988—2009 年期间油松毛虫上下树发生期资料和气象资料，分析了建平县气温年变化趋势和油松毛虫上下树发生期年变化趋势，探讨了发生期与气温之间的相关性，以期为油松毛虫的防控提供参考。

1 材料与方法

1.1 资料来源

1.1.1 油松毛虫上下树发生期数据 来源于辽宁省建平县青松岭林场国家级中心测报点，其主要负责建平县油松毛虫的预测预报工作。幼虫上下树数据通过固定监测点人工观察获得。发生期的调查按照统计的要求，将害虫种群内所有个体进入某一虫态或虫龄期的发育进度百分率达 16%、50%、84% 左右时的时期，分别划作始盛期、高峰期和盛末期。

1.1.2 气象数据 包括月均气温、月均最高气温和月均最低气温 3 种气象数据，由建平县气象局提供。

1.2 分析方法

1.2.1 趋势分析 气温和油松毛虫发生期（y）分别随年序列（x）的变化趋势均采用一元线性倾向估计法进行分析，该方法认为因变量的变化趋势可以用一次直线方程 $\bar{y}_i = a_0 + a_1 x_i$ 来进行描述，一般地将 $a_1 \times 10$ 称为该因变量的变化倾向率（戴廷仁，2003），a_0 为常数，a_1 为回归系数，a_0 和 a_1 由最小二乘法进行估计，其计算公式如（1）（2）所示（魏凤英，2007）。

$$(1) \quad a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x}$$

$$(2) \quad a_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n} y_i x_i - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)^2}$$

相关系数 r 公式如(3)所示。相关系数 r 表示变量 y 与自变量 x 之间线性相关的密切程度,若 $|r| > r_{(a,\ n-2)}$,则表明 y 随 x 的变化趋势是显著的,否则表明变化趋势是不显著的。

$$(3)\quad r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - x)^2 \sum_{i=1}^{n}(y_i - y)^2}}$$

1.2.2　发生期相关气温因子选择　生产实践中对油松毛虫的上下树发生期预测主要采用与气温相关的回归式,如下树始见期参照的是 9 月均温,上树始见期参照的是 3 月下旬均温(段君博等,1997)。本文为探讨气温与油松毛虫上下树之间的相关性,根据实际上下树发生历期最终选择 9—10 月均气温作为下树期考察变量,11—翌年 3 月均气温作为越冬期考察变量,3—5 月均气温作为上树期考察变量,对气温与发生期之间的相关性进行了探讨。

1.2.3　相关性分析　参考 Hassall 等(2007)的研究方法,使用 SPSS13.0 软件中的 Kendall 非参数估计法对温度与油松毛虫上下树及越冬发生期进行了相关性分析,该方法为常用的双变量相关性分析方法,适用于非正态或分布不明的变量值,计算时先对离散数据进行排序或对连续变量的值求秩,再计算其秩分数间的相关系数(孙逸敏,2007)。

2　结果与分析

2.1　历年气温及四季气温变化趋势

对 1988—2009 年辽宁省建平县年均气温、年均最高气温和年均最低气温进行线性倾向估计分析,结果如图 1 和表 1 所示。近 22 年来,建平县年均气温、年均最高气温和年均最低气温随着年份的变化总体均呈现出上升的趋势。其中年均最低气温气候倾向率最大,为 0.6℃/10 年,且升温趋势极为显著,年均气温气候倾向率为 0.5℃/10 年,且升温趋势极为显著,年均最高气温气候倾向率为 0.4℃/10 年,但升温趋势不显著。

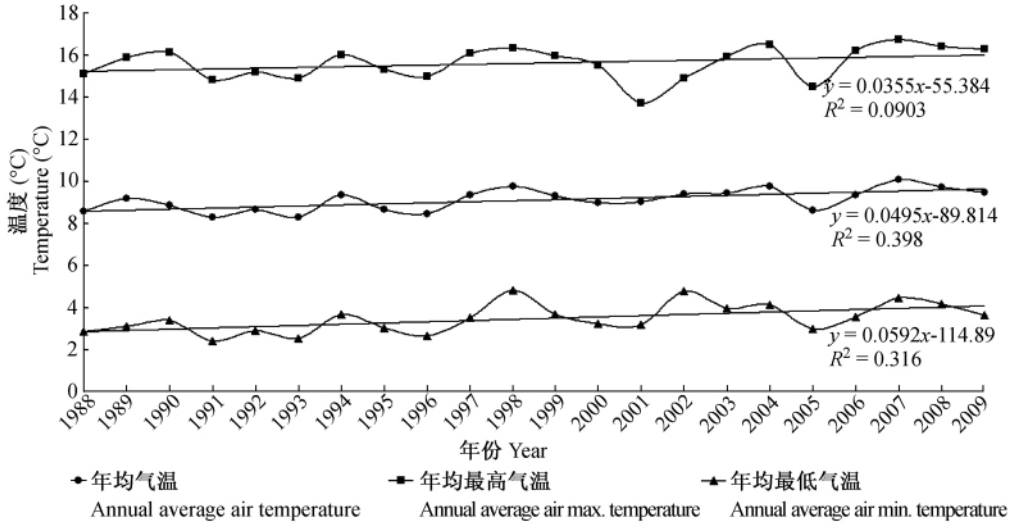

图 1　年均气温变化趋势

Fig. 1　The change trend of annual mean temperature

将 1988—2009 年春季(3—5 月)、夏季(6—8 月)、秋季(9—11 月)和冬季(12—2 月)的平均气温、平均最低气温和平均最高气温分别进行线性倾向估计分析,结果如图 2 和表 1 所示。

平均气温随着年份的变化总体均呈现出上升的趋势,春季平均气温升温幅度最大,气候倾向率为 0.66℃/10 年,且升温趋势显著;夏季平均气温气候倾向率为 0.57℃/10 年,但升温趋势并不显著;秋季平均气温气候倾向率为 0.50℃/10 年,但升温趋势并不显著;冬季平均气温升温幅度最小,为 0.23℃/10 年,且升温趋势并不显著。

平均最低气温随着年份的变化总体均呈现出

上升的趋势，春季平均最低气温升温幅度最大，气候倾向率为 0.77℃/10 年，且升温趋势显著；夏季平均最低气温气候倾向率为 0.47℃/10 年，但升温趋势并不显著；秋季平均最低气温气候倾向率为 0.72℃/10 年，且升温趋势显著；冬季平均最低气温升温幅度最小，为 0.41℃/10 年，且升温趋势并不显著。

平均最高气温除冬季平均最高气温随着年份的变化总体呈现出不显著的下降趋势外，春、夏和秋季平均最高气温随着年份的变化总体均呈现出上升的趋势，春季平均最高气温气候倾向率为 0.79℃/10 年，升温幅度最大，且升温趋势显著，夏季平均最高气温气候倾向率为 0.51℃/10 年，但升温趋势并不显著，秋季平均最高气温气候倾向率为 0.38℃/10 年，且升温趋势并不显著。

综上分析，1988—2009 年期间，辽宁省建平县气候变暖现象比较明显，气温呈现逐年上升的变化趋势。

表 1　各温度因子的变化倾向率及变化趋势显著性结果

Table 1　The change tendency rate of temperature factors and the significant results

温度因子 Temperature	时期 Period	温度倾向率(℃/10 年) Temperature trend rate	相关系数 r Correlation coefficient	变化趋势显著性 Trend significance
平均气温(℃) Average temperature(℃)	全年 Year	0.50	$\|r=0.6309\|>r_{(0.01,20)}=0.5368$	极显著 Extremely significant
	春季 Spring	0.66	$\|r=0.4328\|>r_{(0.05,20)}=0.4227$	显著 Significant
	夏季 Summer	0.57	$\|r=0.3844\|<r_{(0.05,20)}=0.4227$	不显著 Non-significant
	秋季 Autumn	0.50	$\|r=0.3632\|<r_{(0.05,20)}=0.4227$	不显著 Non-significant
	冬季 Winter	0.23	$\|r=0.1253\|<r_{(0.05,19)}=0.4329$	不显著 Non-significant
平均最低气温(℃) Average air min. temperature(℃)	全年 Year	0.59	$\|r=0.5621\|>r_{(0.01,20)}=0.5368$	极显著 Extremely significant
	春季 Spring	0.77	$\|r=0.4968\|>r_{(0.05,20)}=0.4227$	显著 Significant
	夏季 Summer	0.47	$\|r=0.3559\|<r_{(0.05,20)}=0.4227$	不显著 Non-significant
	秋季 Autumn	0.72	$\|r=0.4907\|>r_{(0.05,20)}=0.4227$	显著 Significant
	冬季 Winter	0.41	$\|r=0.2193\|<r_{(0.05,19)}=0.4329$	不显著 Non-significant
平均最高气温(℃) Average air max. temperature(℃)	全年 Year	0.36	$\|r=0.3005\|<r_{(0.05,20)}=0.4227$	不显著 Non-significant
	春季 Spring	0.79	$\|r=0.4719\|>r_{(0.05,20)}=0.4227$	显著 Significant
	夏季 Summer	0.51	$\|r=0.2460\|<r_{(0.05,20)}=0.4227$	不显著 Non-significant
	秋季 Autumn	0.38	$\|r=0.1187\|<r_{(0.05,20)}=0.4227$	不显著 Non-significant
	冬季 Winter	−0.19	$\|r=-0.0762\|<r_{(0.05,19)}=0.4329$	不显著 Non-significant

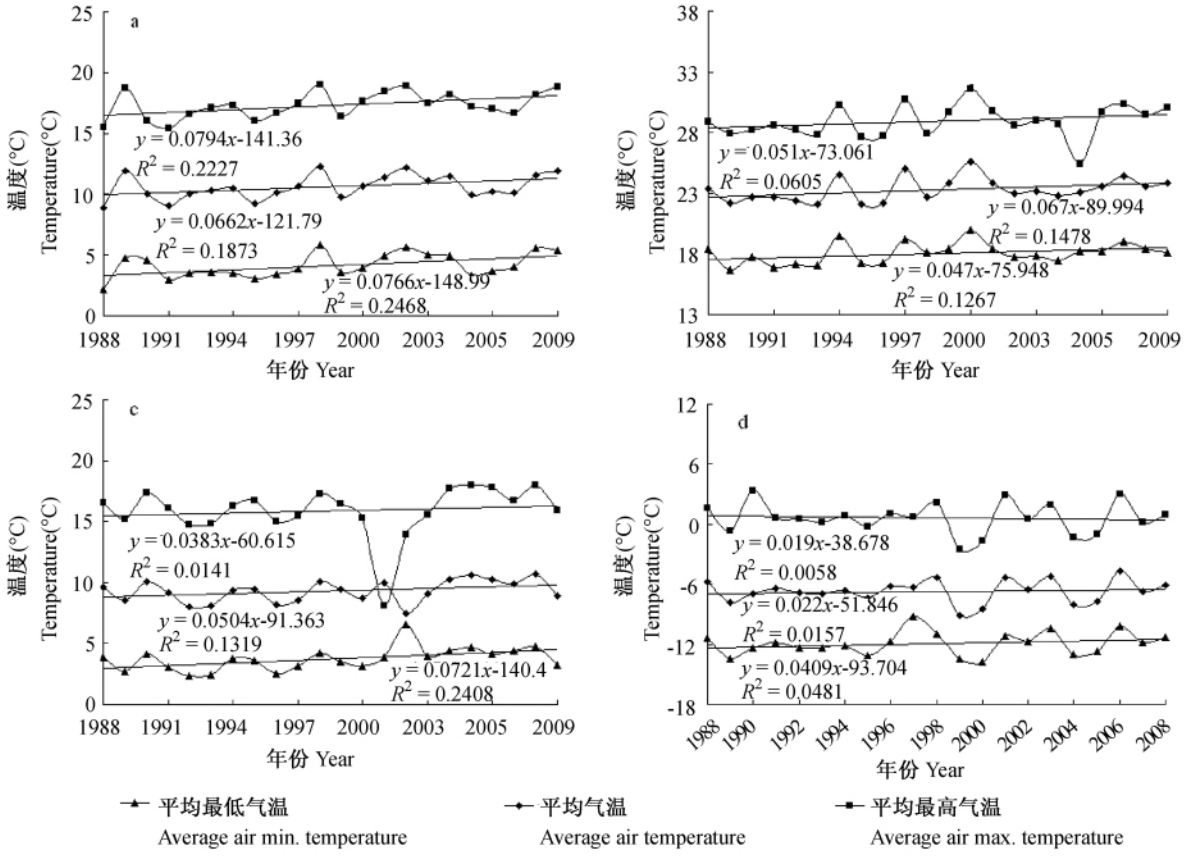

图 2　四季气温年变化趋势

Fig. 2　The change trend of the season's temperature

a. 春季;b. 夏季;c. 秋季;d. 冬季。

a. spring; b. summer; c. autumn; d. winter.

2.2　历年幼虫发生期变化趋势

2.2.1　下树期　下树期线性倾向结果及年变化趋势如表 2 和图 3 所示。线性倾向估计分析发现，22 年间,油松毛虫幼虫下树始见期、始盛期、高峰期、盛末期和结束期随着年份的变化总体均呈现出提前的趋势。其中,下树结束期提前的幅度最大,发生期倾向率达到 -5.85 d/10 年,且提前趋势极显著,2000—2009 年幼虫平均下树结束期相比 1988—1999 年提前约 10 d ;下树始见期、始盛期、高峰期和盛末期也呈现出提前发生的趋势,但趋势并不显著,发生期倾向率分别为 -1.76、-2.65、-1.46 和 -1.02 d/10 年,2000—2009 年平均下树始见期、始盛期、高峰期和盛末期相比 1988—1999 年分别提前约 2、5、4 和 1 d。整个下树历期则由于下树结束期的显著提前而总体呈现出缩短的显著趋势,发生期倾向率为 -4.09 d/10 年,2000—2009 年平均下树历期相比 1988—1999 年提前了 8 d。

2.2.2　越冬期　将油松毛虫下树始见期与上树始见期、下树始盛期与上树始盛期、下树高峰期与上树高峰期、下树盛末期与上树盛末期、下树结束期与上树结束期的间隔长度平均值作为越冬历期的参照,经线性倾向估计分析,结果表明,近 21 年来油松毛虫越冬期长度随着年份的变化总体呈现出上升的趋势,2000—2009 年的平均越冬期长度相比 1988—1999 年增加了 7 d,但上升趋势并不显著(表 2),越冬历期年变化趋势如图 4 所示。

2.2.3　上树期　线性倾向估计分析发现,22 年期间油松毛虫幼虫的上树始见期、始盛期、高峰期和盛末期随着年份的变化总体均呈现出推迟发生的趋势,但趋势并不显著,二者发生期倾向率分别为 0.58、0.75、1.54 和 2.04 d/10 年,2000—2009 年平均上树始见期相比 1988—1999 年仅推迟了1 d,平均上树始盛期相比 1988—1999 年推迟了1 d,平

表 2　幼虫上下树及越冬期年变化趋势及显著性结果

Table 2　The change trend of the period of climbing upon/down host tree and overwintering of *Dendrolimus tabulaeformis* and the significant results

	发生期 Occurrence date	2000—2009 平均发生期 Average occurrence date from 2000 to 2009	1988—1999 平均发生期 Average occurrence date from 1988 to 1999	发生期倾向率(d/10 年) Occurrence date trend rate (d/10 years)	相关系数 r Correlation coefficient	趋势显著性 Trend significance
下树 Climbing down tree	始见期(月.日) Beginning occurrence date(month.day)	9.20	9.22	−1.76	$\|r=-0.3003\|<r_{(0.05,20)}=0.4227$	不显著 Non-significant
	始盛期(月.日) Full occurrence date(month.day)	10.2	10.7	−2.65	$\|r=-0.2508\|<r_{(0.05,20)}=0.4227$	不显著 Non-significant
	高峰期(月.日) Peak occurrence date(month.day)	10.11	10.15	−1.46	$\|r=-0.1552\|<r_{(0.05,20)}=0.4227$	不显著 Non-significant
	盛末期(月.日) Descending date (month.day)	10.19	10.23	−1.02	$\|r=-0.1349\|<r_{(0.05,20)}=0.4227$	不显著 Non-significant
	结束期(月.日) End date(month.day)	10.28	11.7	−5.85	$\|r=-0.5967\|>r_{(0.01,20)}=0.5368$	极显著 Extremely significant
	历期(d) Duration	37	46	0.66	$\|r=-0.4754\|>r_{(0.05,20)}=0.4227$	显著 Significant
越冬 Overwintering	历期(d) Duration	181	174	43.3	$\|r=0.3437\|<r_{(0.05,20)}=0.4329$	不显著 Non-significant
	始见期(月.日) Beginning occurrence date(month.day)	3.18	3.17	0.58	$\|r=0.0794\|<r_{(0.05,20)}=0.4329$	不显著 Non-significant

续表 2

	发生期 Occurrence date	2000—2009 平均发生期 Average occurrence date from 2000 to 2009	1988—1999 平均发生期 Average occurrence date from 1988 to 1999	发生期倾向率（d/10 年） Occurrence date trend rate (d/10 years)	相关系数 r Correlation coefficient	趋势显著性 Trend significance
上树 Climbing upon tree	始盛期（月.日） Full occurrence beginning date(month.day)	3.30	3.29	0.75	$\|r=0.0911\|<r_{(0.05,20)}=0.4329$	不显著 Non-significant
	高峰期（月.日） Peak occurrence date (month.day)	4.10	4.7	1.54	$\|r=0.2102\|<r_{(0.05,20)}=0.4329$	不显著 Non-significant
	盛末期（月.日） Descending date (month.day)	4.20	4.16	2.04	$\|r=0.2874\|<r_{(0.05,20)}=0.4329$	不显著 Non-significant
	结束期（月.日） End date(month.day)	5.2	5.1	−0.90	$\|r=-0.1476\|<r_{(0.05,20)}=0.4329$	不显著 Non-significant
	历期（d） Duration	44.20	45.08	−1.49	$\|r=-0.1936\|<r_{(0.05,20)}=0.4329$	不显著 Non-significant

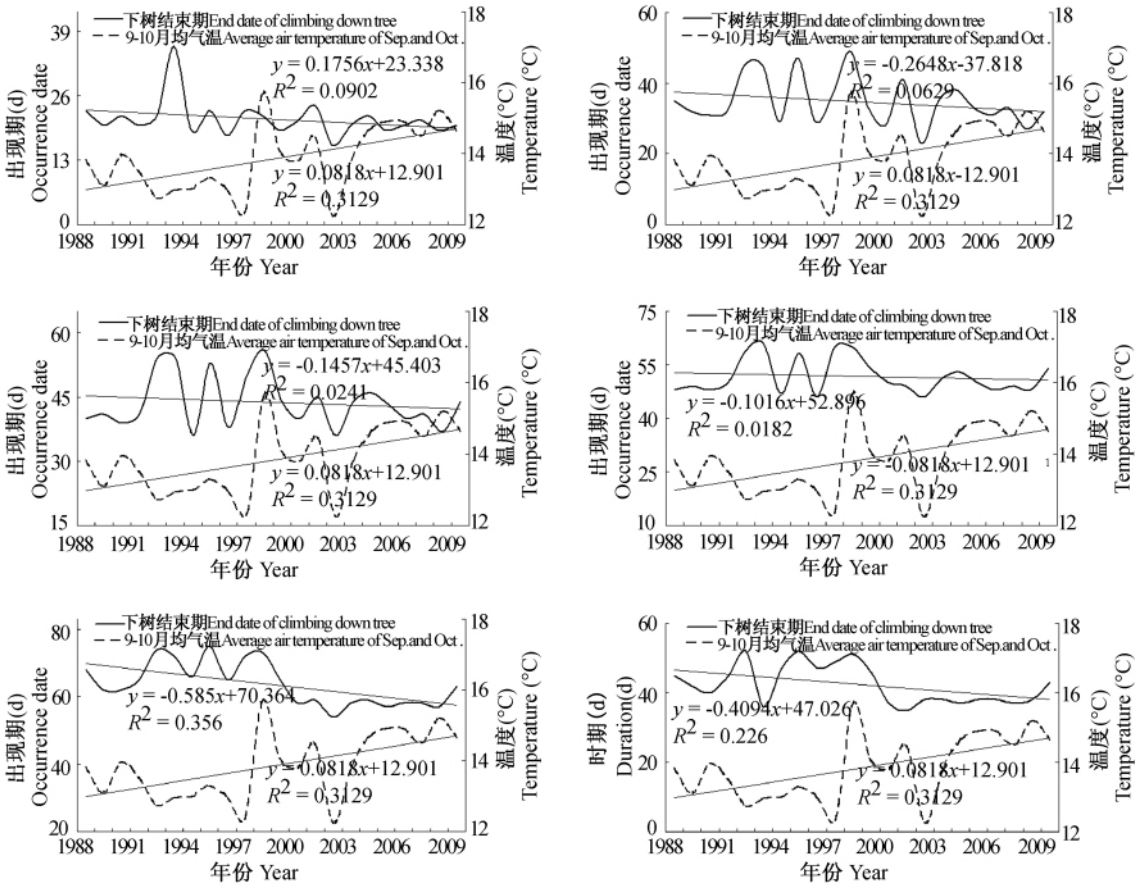

图 3　幼虫下树期与 9—10 月均气温变化趋势

Fig. 3　The change trend of climbing down host tree and mean temperature from September to October

a. 始见期; b. 始盛期; c. 高峰期; d. 盛末期; e. 结束期; f. 历期。

a. beginning date; b. full occurrence date; c. peak date; d. descending date; e. end date; f. duration.

注:幼虫下树出现期度量以 9 月 1 日作为第 1 天。

The occurrence date 1 represent September 1st.

均上树高峰期相比 1988—1999 年推迟了3 d,平均上树盛末期相比 1988—1999 年则推迟了4 d。上树结束期和上树历期则随着年份的变化总体呈现出提前和缩短的趋势,但趋势并不显著,二者发生期倾向率分别为 -0.90 和 -1.49 d/10 年,不过 2000—2009 年平均上树结束期相比 1988—1999 年则推迟了 1 d,平均上树历期相比 1988—1999 年则提前了约 1 d。上树期线性倾向分析结果和上树期年变化趋势示意图如表 2 和图 5 所示。

2.3　气温与油松毛虫上下树发生期相关性分析

过去的 22 年中建平县气温升高趋势显著,为了解气温与油松毛虫幼虫上下树发生期之间的相关性,利用 Kendall 非参数估计方法计算了气温与各发生期之间的相关系数 T,结果见表 3。

2.3.1　下树期与气温相关性　下树期间 9—10 月均气温随年份变化总体呈现出显著的上升趋势(相关系数 $|r = 0.5594| > r_{(0.01,20)} = 0.5368$,图 3),幼虫下树各个时期则总体呈现出提前发生的趋势,而 Kendall 相关性分析结果发现油松毛虫下树结束期与气温变化呈显著负相关关系,下树历期与气温之间呈现出低度的负相关关系,而其它下树时期与气温并未呈现出明显的相关性(表 3)。这一结果表明在一定的温度范围内油松毛虫幼虫的下树会呈现出显著的提前结束趋势,而由于结束期的显著提前使得整个下树历期具有缩短的趋势。进一步对 9—10 月均气温(x)与下树结束期(y)做简单的直线回归分析得直线方程式 $y = -2.103x + 92.787$,即在不考虑其它因素的影响

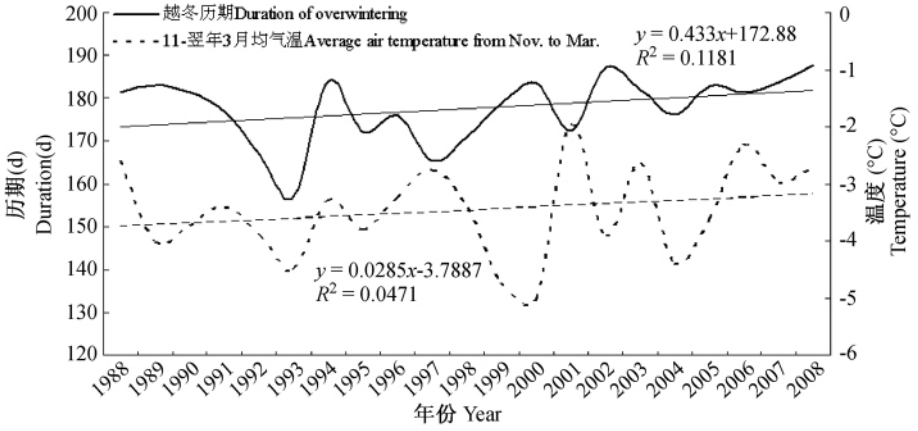

图 4　幼虫越冬历期与 11—翌年 3 月均气温年变化趋势

Fig. 4　The change trend of overwintering duration and mean temperature from November to March

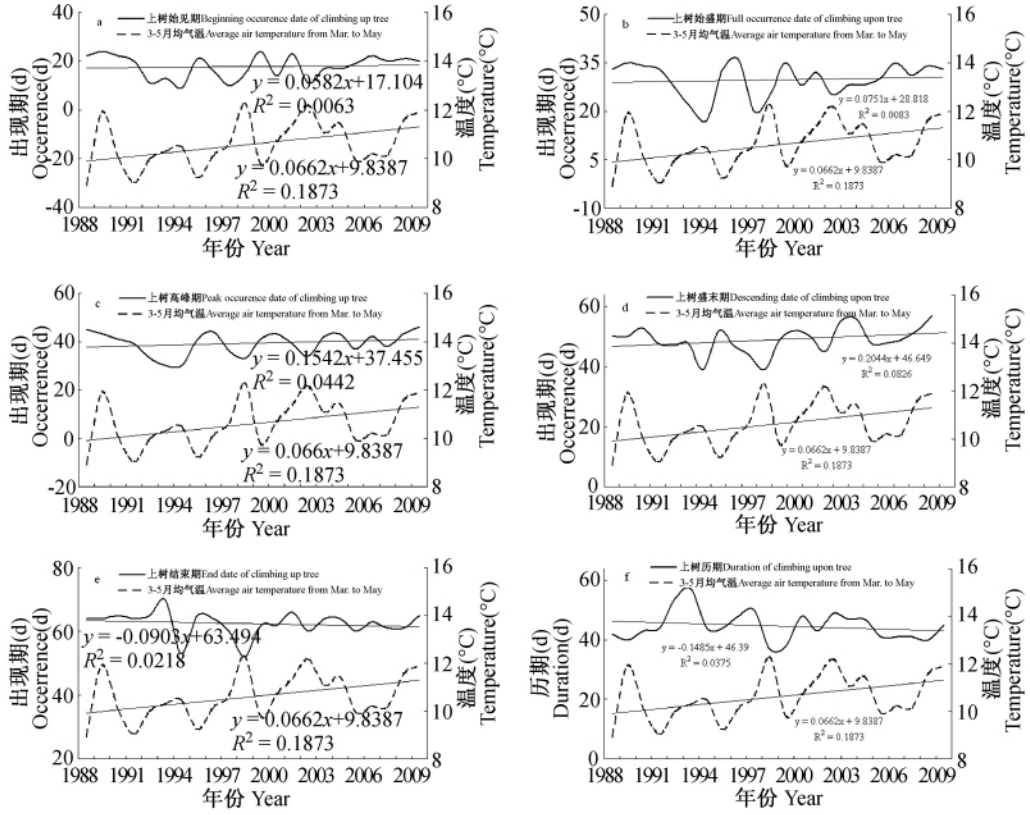

图 5　幼虫上树期与 3—5 月均气温年变化趋势

Fig. 5　The change trend of climbing upon host tree and mean temperature from March to May

a. 始见期; b. 始盛期; c. 高峰期; d. 盛末期; e. 结束期; f. 历期。

a. beginning date; b. full occurrence date; c. peak date; d. descending date; e. end date; f. duration.

注:幼虫上树出现期以 3 月 1 日作为第 1 天。

The occurrence date 1 represents March 1st.

表 3 油松毛虫上下树及越冬发生期与气温之间的 Kendall 相关系数

Table 3 The Kendall correlation coefficient between the period of climbing upon/down host tree and overwintering and temperature

发生期 Occurrence date		Kendall 相关系数 T Kendall correlation coefficient T			显著性 P 值 Significance P
		9—10 月均气温 Average air temperature of Sep. and Oct.	11—翌年 3 月均气温 Average air temperature from Nov. to Mar.	3 月气温 Average air temperature of Mar.	
下树 Climbing down tree	始见期 Beginning occurrence date	-0.028	—	—	0.863
	始盛期 Full occurrence date	0.036	—	—	0.820
	高峰期 Peak occurrence date	0.054	—	—	0.733
	盛末期 Descending date	0.018	—	—	0.909
	结束期 End date	-0.336*	—	—	0.035
	历期 Duration	-0.238	—	—	0.137
越冬 Overwintering	历期 Duration	—	0.038	—	0.809
上树 Climbing upon tree	始见期 Beginning occurrence date	—	—	-0.133	0.395
	始盛期 Full occurrence date	—	—	-0.170	0.280
	高峰期 Peak occurrence date	—	—	0.031	0.842
	盛末期 Descending date	—	—	0.031	0.842
	结束期 End date	—	—	-0.166	0.302
	历期 Duration	—	—	-0.018	0.910

注:* 表示相关系数显著性概率水平为 0.05。

* indicate correlation coefficient is significantly different at 0.05 level(2-tailed).

下,未来 9—10 月均气温如升高 1℃则下树结束期会提前约 2 d。

2.3.2 越冬期与气温相关性 幼虫越冬期间的气温随年份变化总体呈现出上升趋势,但并不显

著(相关系数$|r=0.2170| > r_{(0.05,19)}=0.4329$),与此同时幼虫越冬历期呈现出并不显著的上升趋势(图 4),而 Kendall 相关性分析结果发现越冬历期与越冬期间气温无相关关系(表 3),由此表明近年来油松毛虫越冬历期随年份变化而有延长趋势,但气温对其无直接影响。

2.3.3　上树期与气温相关性　幼虫上树期间的月均气温随年份变化总体呈现出并不显著的上升趋势($|r=0.3421| < r_{(0.05,19)}=0.4329$,图 5),幼虫上树始见期、始盛期、高峰期、盛末期随年份变化总体呈现出推迟发生的趋势,上树结束期和历期随年份变化总体呈现出提前的趋势,但均不显著(图 5),Kendall 相关性分析结果认为气温与幼虫上树时期无相关关系(表 3),由此表明幼虫上树活动的发生存在着并不显著的变化趋势,但气温对其无直接影响。

3　结论与讨论

3.1　建平县与辽宁省气温变化趋势比较

同辽宁省历史气温变化趋势相比(戴廷仁,2003),建平县气温变化具有以下异同点:①建平县和辽宁省年气温均具有上升趋势,升温幅度顺序均为年均最高气温 > 年均气温 > 年均最低气温,不过同辽宁省平均水平相比,建平县年气温升温幅度较大;②四季气温变化趋势中,建平县和辽宁省的均表现为春季升温趋势显著,不过前者升温幅度顺序为春季最高气温 > 春季最低气温 > 春季均温,后者则为春季最低气温 > 春季均温 > 春季最高气温,同辽宁省相比,建平县春季升幅较大,而在其它季节中,平均气温升温幅度顺序辽宁省为冬季 > 夏季 > 秋季,建平县为夏季 > 秋季 > 冬季,平均最低气温升温幅度顺序辽宁省为冬季 > 秋季 > 夏季,建平县为秋季 > 夏季 > 冬季,平均最高气温升温幅度顺序辽宁省为夏季 > 冬季 > 秋季,而建平县冬季最高气温表现为下降的趋势,夏季升温幅度高于秋季。由此可见建平县的气温升温趋势总体上同辽宁省平均变化趋势相同,具有显著的气候变暖趋势,但在增温幅度和季节变化趋势上有其特殊性。

3.2　油松毛虫上下树及越冬发生期受气候变暖的影响

通过分析幼虫上下树及越冬期变化趋势以及其与气温之间的相关性,结果发现幼虫下树期年变化趋势具有提前发生、提前结束、下树历期缩短的变化趋势,其中下树结束期和历期受气候变暖的影响较明显,主要表现随着下树期间(9 月和 10 月)气温的显著上升,幼虫下树结束期具有显著提前趋势,不考虑其它因素的影响下 9—10 月均气温升高 1℃下树结束期会提前约 2 d,而由于下树结束期的显著提前则导致整个下树历期缩短;幼虫上树期呈现出延迟发生、提前结束、上树历期缩短的年变化趋势,越冬历期则由于下树期的提前趋势和上树期的延迟发生呈现出总体延长的趋势,但上树期和越冬期分别与气温的相关性检验结果均认为其变化不受气温变化的直接影响。由此可知,建平县油松毛虫下树发生期在一定程度上受到气候变暖的直接影响,而幼虫越冬及上树未受气候变暖的直接影响,其原因可能如下:①油松毛虫具有滞育特性(严静君,1963),有关建平县越冬幼虫滞育特性的文献较少,但在北京的研究报道发现越冬幼虫通常包含有滞育型和非滞育型 2 种(李兆麟和贾凤友,1989),据此可以推测在辽宁地区越冬幼虫也存在这两种类型,由于滞育型昆虫上下树活动与气温的关系较复杂,同时这 2 种类型幼虫的比例在建平县更是不得而知,所以其上下树发生期并不总是与气温呈现直接的相关性;②油松毛虫幼虫在气候变暖背景下呈现出下树期提前和上树期推迟的现象,可能与天敌种群的数量及发生期变化有关。油松毛虫幼虫天敌主要包括有松毛虫狭颊寄蝇 *Carcelia matsukarehae*、松毛虫脊茧蜂 *Aleiodes esenbeckii* 等,松毛虫狭颊寄蝇分布较广且寄生率较高(何允恒等,1988)。目前尚无气候变暖背景下油松毛虫天敌种群数量及发生相关报道,但存在着天敌种群数量随气温上升而增加、物候期提前、发生期延长的可能性,如此油松毛虫为躲避天敌的危害,则很可能采取越冬前提前下树、越冬后延迟上树的策略;③寄主植物油松的生长情况及物候期受气候变暖影响发生变化而可能使得油松毛虫上下树习性发生改变。孙凤华等(2005)研究发现我国东北地区的气候变化具有增温、降水减少的暖干化趋势,而干旱则可能使油松在生长和营养等方面受到影响,从而间接影响油松毛虫的上下树习性。

致谢:文章的撰写得到中国科学院动物研究所戈

峰研究员热情悉心地指导,在此深表感谢。

参考文献(References)

Carroll AL, Taylor SW, Régnière J, Safranyik L, 2004. Effects of Climate change on range expansion by the mountain pine beetle in British Columbia. Information Report-Pacific Forestry Centre. Canadian Forest Service, BC - X - 399:223—232.

Hassall C, Thompson DJ, French GC, Harvey IF, 2007. Historical changes in the phenology of British Odonata are related to climate. *Global Change Biology*, 13:933—941.

Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. The Physical Science Basis2 Summary for Policymakers of the Working Group I Report. Cambridge: Cambridge University Press.

Karolewski P, Grzebyta J, Oleksyn J, Giertych MJ, 2007. Effects of temperature on larval survival rate and duration of development in *Lymantria monacha* (L.) on needles of *Pinus sylvestris* (L.) and in *L. dispar* (L.) on leaves of *Quercus robur* (L.). *Polish Journal of Ecology*, 55(3): 595—600.

Musolin DL, 2007. Insects in a warmer world: ecological, physiological and life-history responses of true bugs (Heteroptera) to climate change. *Global Change Biology*, 13(8):1565—1585.

曾菊平, 戈峰, 苏建伟, 何忠, 2010. 我国林业重大害虫松毛虫的灾害研究进展. 昆虫知识, 47(3):451—459.

陈瑜, 马春森, 2010. 气候变暖对昆虫影响研究进展. 生态学报, 30(8):2159—2172.

戴廷仁, 2003. 近 42 年辽宁气温变化分析. 辽宁气象, 1: 6—7.

丁一汇, 任国玉, 石广玉, 宫鹏, 郑循华, 翟盘茂, 张德二, 赵宗慈, 王绍武, 王会军, 罗勇, 陈亮, 高学杰, 戴晓苏, 2006. 气候变化国家评估报告(I):中国气候变化的历史和未来趋势. 气候变化研究进展, 2(1):3—8.

段君博, 赵殿一, 孙向文, 张宝忠, 刘宝昌, 1997. 油松毛虫实时动态预测预报 PDFS 系统的研制. 辽宁林业科技, 1:32—36.

何允恒, 陈树椿, 陈华盛, 吴矩文, 严静君, 徐崇华, 姚德富, 1988. 北京地区油松毛虫寄生天敌考察. 生物防治通报, 4(1):21—24.

李淑华, 1997. 持续农业、气候变化与有害生物持续治理. 灾害学, 12(2):92—96.

李艳杰, 2008. 辽宁省油松主要害虫的发生与防治. 辽宁林业科技, 3:57—59.

李兆麟, 贾凤友, 1989. 油松毛虫的光周期反应. 昆虫学报, 32(4):410—417.

刘明春, 蒋菊芳, 魏育国, 徐生海, 2009. 气候变暖对甘肃省武威市主要病虫害发生趋势的影响. 安徽农业科学, 37(20):9522—9525 转 9531.

刘晓萍, 2008. 油松毛虫的生物学特性和防治. 河北旅游职业学院学报, 3:112—114.

孙凤华, 杨素英, 陈鹏狮, 2005. 东北地区近 44 年的气候暖干化趋势分析及可能影响. 生态学杂志, 24(7): 751—755.

孙逸敏, 2007. 利用 SPSS 软件分析变量间的相关性. 新疆教育学院学报, 23(2):120—123.

魏凤英, 2007. 现代气候统计诊断与预测技术(第 2 版). 北京:气象出版社. 36—41.

严静君, 1963. 油松毛虫滞育现象对预测预报的意义. 昆虫知识, 9(1):24—25.