

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2020.01.014

# 温湿度对昆嵛山腮扁叶蜂的影响

胡瑞瑞<sup>1</sup>, 张英军<sup>2</sup>, 梁 军<sup>1,2\*</sup>, 张星耀<sup>1,2</sup>

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所 国家林业和草原局森林保护学重点实验室, 北京 100091;

2. 昆嵛山森林生态系统定位研究站, 山东 烟台 264100)

**摘要:** [目的] 通过研究温度、降水量、温湿度系数与昆嵛山腮扁叶蜂种群动态变化的关系, 探索气象因子对昆嵛山腮扁叶蜂发生的影响。[方法] 在昆嵛山区选取 7 块标准样地, 调查昆嵛山腮扁叶蜂发育期内的温度、降水量和相对湿度以及越冬蛹数量, 然后统计分析温度、降水量、温湿度系数与昆嵛山腮扁叶蜂种群动态变化的关系。[结果] 昆嵛山腮扁叶蜂在生活史的不同阶段所需的温度不同。6、7 月份较高的降水量有助于昆嵛山腮扁叶蜂产卵和孵化, 较低的降水量有利于其下树入土。同一样地的昆嵛山腮扁叶蜂越冬蛹的数量在不同年份中差异极显著 ( $P < 0.001$ ); 且所有样地的越冬蛹总量和虫口密度也均达到极显著水平 ( $P < 0.001$ )。昆嵛山腮扁叶蜂的虫口密度与发育期降水量和温湿度系数的年份变化趋势一致, 但与温度的年份变化趋势不一致。2011 年较低的温度、较高的降水量和温湿度系数造成了昆嵛山腮扁叶蜂的越冬蛹数量增多。[结论] 低温高湿环境适合昆嵛山腮扁叶蜂越冬蛹的生活。气象因子在调控昆嵛山腮扁叶蜂的发生方面起着重要的作用, 其为森林有害生物生态调控机制的重要组成部分。

**关键词:** 昆嵛山腮扁叶蜂; 越冬蛹; 虫口密度; 温度; 降水量; 温湿度系数

**中图分类号:** S763.43

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-1498(2020)01-0107-06

昆嵛山腮扁叶蜂 (*Cephlica kunyushanica* Xiao) 是我国已知的 17 种腮扁叶蜂之一<sup>[1]</sup>, 属膜翅目 Hymenoptera 扁叶蜂科 Pamphiliidae, 王传珍<sup>[2]</sup>、杨隽等<sup>[3]</sup>对昆嵛山腮扁叶蜂的形态特征和生物学特性进行了详细研究和说明。昆嵛山腮扁叶蜂在昆嵛山 1 年发生 1 代, 生活史经过成虫、卵、幼虫、蛹 4 个阶段, 每年 6—8 月为害, 可持续 50~60 d, 幼虫在松树针叶基部吐丝结网, 取食针叶, 是昆嵛山保护区松属植物最主要的食叶昆虫。昆嵛山腮扁叶蜂以老熟幼虫入土做土室变为预蛹越冬。越冬期 210~240 d, 蛹期 15~25 d。昆嵛山腮扁叶蜂各虫态的始见期因温度等气象条件不同而略有差异, 虫态极不整齐<sup>[1]</sup>。昆嵛山腮扁叶蜂老熟幼虫体长为 21~24 mm, 浅黄褐色, 头部为红褐色; 蛹淡黄色, 体长 13~15 mm<sup>[1]</sup>。

昆虫的发生发展与气象因素关系密切, 气象因素的综合效应决定着昆虫的生长发育、繁殖和分布以及一般的生态特征<sup>[4]</sup>。气象因素主要包括温度、水 (降雨和湿度)、光照等。昆虫属于变温动物, 其生长发育和行为直接受温度的影响。在适宜的温度范围内, 昆虫能完成生长发育, 并且随着温度的升高生长发育速率加快, 呈线性关系; 但是在自然界中, 适宜昆虫生长发育的温度有限, 温度过高和过低将影响昆虫寿命, 引起昆虫滞育甚至是死亡<sup>[4]</sup>。同一地区, 水 (降雨和湿度) 因素变化相对于温度变化差异较大, 对昆虫生长发育和种群动态具有明显的作用; 环境湿度变化直接导致昆虫体内含水量变化, 从而打破虫体内的水分平衡, 进而对其个体发育及种群发生等产生影响; 降雨在影响环境湿度的同时, 其物理冲刷作用也影响着昆虫种群的动态

收稿日期: 2019-05-07 修回日期: 2019-08-23

基金项目: 国家重点研发计划课题 (2017YFD0600104), 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目 (CAFYBB2019sy023-2), 国家自然科学基金面上项目 (31270682), 山东昆嵛山森林生态系统国家定位观测研究站运行补助 (2018-LYPT-DW-127)

\* 通讯作者: Email: liangjun@caf.ac.cn

变化<sup>[5]</sup>。近几年,相关研究分别从立地条件、林分因子、森林空间结构和物种联结性等方面揭示了昆崙山腮扁叶蜂种群的发生机制<sup>[6-9]</sup>,但关于气象因子对昆崙山腮扁叶蜂种群发生的影响的研究尚属空白。本研究为揭示气象因子调控昆崙山腮扁叶蜂的发生机制,研究了温度、降水量、温湿度系数与昆崙山腮扁叶蜂种群动态变化的关系。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

昆崙山位于山东半岛东部,地理坐标为121°41'34"~121°48'04" E, 37°11'50"~37°17'22" N,山体呈东西走向,跨烟台昆崙区和威海文登市,总面积160 km<sup>2</sup>,主峰泰薄顶海拔923 m。该区域受暖温带季

风气象影响,气象温和,年均气温12.3℃,年降水量为800~1 200 mm,年均相对湿度为62.59%,无霜期达200~220 d,土壤多为棕壤,且大部分为沙质壤土。森林类型有赤松(*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.)林、黑松(*Pinus thunbergii* Parl.)林、日本落叶松(*Larix kaempferi* (Lamb.)Carr.)/刺杉(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)林、针叶树-麻栎(*Quercus acutissima* Carruth.)林、针叶树-杂木林和阔叶林6种。

### 1.2 样地设置及调查方法

1.2.1 样地设置 昆崙山腮扁叶蜂越冬蛹虫口密度调查样地设置:本研究选择不同海拔梯度处虫口密度相对较高的7个代表性样地进行调查。根据样地的地形地貌特点,采取对角线法调查郁闭度。各标准地信息见表1。

表1 调查标准样地分布情况

Table 1 Distribution and details of investigated plots

标准地 Plot	经纬度		海拔/m Elevation	优势树种 Dominant species	林分组成 Tree composition	林龄/a Age	郁闭度 Canopy coverage
	N	E					
4	37°16'05.7"	121°45'23.1"	309	赤松	纯林	38	0.9
5	37°16'03.6"	121°45'32.6"	374	赤松	混交林	38	0.8
10	37°16'36.2"	121°45'43.5"	237	红松	混交林	35	0.9
18	37°16'23.2"	121°43'34.9"	355	赤松	纯林	38	0.8
27	37°15'35.4"	121°43'31.4"	426	赤松	纯林	37	0.7
39	37°15'16.0"	121°45'27.4"	659	赤松	纯林	36	0.9
40	37°15'28.5"	121°45'11.0"	467	赤松	混交林	41	0.8

1.2.2 昆崙山腮扁叶蜂越冬蛹虫口密度调查 在上述7个标准样地中,于2009—2013年的每年11月中旬,在每个样地中的4个角和中央设置5个1 m×1 m的样方,用铁锹等挖掘工具进行挖掘,挖掘深度为25~30 cm,统计7个标准样地所挖出的昆崙山腮扁叶蜂越冬蛹的数量。计算后得出昆崙山腮扁叶蜂越冬蛹平均虫口密度(头·m<sup>-2</sup>)。

1.2.3 气象数据的采集 依托生态定位站建站设备,于开阔、平整地面上建立气象数据自动采集站,该气象站仪器能够定时自动测取气温、降水量、风速等指标。每月定期到自动气象站信息终端拷贝电子数据,并进行整理。统计出2009年至2013年4月至9月的日平均温度、月降水量和日平均相对湿度。其中,温湿度系数计算公式如下:

$$Q_w = R.H./T \quad (1)$$

式中  $Q_w$  为生态温湿度系数,  $R.H.$  为相对湿度,  $T$  为平均温度。

### 1.3 数据分析

通过 Excel 2013 对 2009 年至 2013 年采集的数据进行处理,利用统计分析软件 SPSS 19.0 进行单因素方差分析和 Tukey 多重比较,并使用 Origin 8.0 绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 昆崙山腮扁叶蜂越冬蛹虫口密度的年际变化

由表2可知,在2009—2013年中,2011年平均虫口密度最大(51头·m<sup>-2</sup>),2013年的平均虫口密度最小(5头·m<sup>-2</sup>)。对昆崙山腮扁叶蜂越冬蛹虫口密度数据进行单因素方差分析和 LSD 多重比较分析,发现同一样地的昆崙山腮扁叶蜂越冬蛹

的数量在不同年份中差异极显著 ( $P<0.001$ ); 且所有样地的越冬蛹总量和虫口密度也均达到极显著

水平 ( $P<0.001$ )。但对虫口密度而言, 2009、2010 和 2012 年的虫口密度组间差异不显著。

表 2 2009—2013 年昆嵛山腮扁叶蜂越冬蛹虫口密度

Table 2 The density of overwintering pupas of *C. kunyushanica* in 2009—2013

年份 Year	标准地Plot							合计/头 Total	虫口密度/(头·m <sup>-2</sup> ) Insect density
	4	5	10	18	27	39	40		
2009	44±2 c	46±3 c	121±10 a	176±15 b	49±5 c	93±6 b	104±10 b	633±51 b	18±1.5 b
2010	145±22 a	68±5 b	34±2 b	77±8 d	62±5 b	50±5 c	106±11 b	542±58 b	16±2 b
2011	92±6 b	376±30 a	127±11 a	415±34 a	295±12 a	129±10 a	346±28 a	1 780±131 a	51±53 a
2012	156±16 a	55±5 bc	26±3 b	106±10 c	21±6 d	34±3 d	363±19 a	761±54 b	22±2 b
2013	37±3 c	14±1 d	13±1 c	27±2 e	16±4 d	13±1 e	70±6 c	190±24 c	5±1 c
P值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注: 不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )

Notes: different lowercase letters indicate significant difference ( $P<0.05$ )

### 2.2 昆嵛山腮扁叶蜂越冬蛹虫口密度与温度的关系

图 1a 显示了不同年份发育期温度的变化趋势, 由上图可知, 发育期温度在 2009—2013 年 5 年中变化趋势相近, 最高温出现在 7 月和 8 月两个月份中; 方差分析表明 6 月份的平均温度在各年度间无显著差异 ( $P>0.5$ , 数据未显示)。比较所调查样地的平均虫口密度发现, 2011 年的平均虫口密度最大 (51 头·m<sup>-2</sup>), 所对应的发育期温度和的值较低; 2012 年平均虫口密度明显下降, 但对应的发育期温度和的值明显升高。整体看, 二者呈相反的变化趋势 (图 1b)。

### 2.3 昆嵛山腮扁叶蜂越冬蛹虫口密度与降水量的关系

图 2a 显示了不同年份发育期降水量的变化趋

势, 由图可知, 发育期降水量在 2009—2013 年 5 年中的变化趋势不尽相同。降水量最高值出现在 2012 年 8 月, 2013 年 8 月降水量在 5 年中最低。2011 年的发育期降水量总值最大 (图 2b)。比较所调查样地的平均虫口密度和发育期降水量总和发现, 二者呈相同的变化趋势, 最大值均出现在 2011 年 (图 2b)。

### 2.4 昆嵛山腮扁叶蜂越冬蛹虫口密度与温湿度系数的关系

图 3a 显示了不同年份发育期温湿度系数的变化趋势, 由图可知, 发育期温湿度系数在 2009—2013 年 5 年中的变化趋势大致相同。每年 4 月份的温湿度系数值最大, 然后急剧下降, 在其他几个月份中的值趋于平缓。比较所调查样地的平均虫口

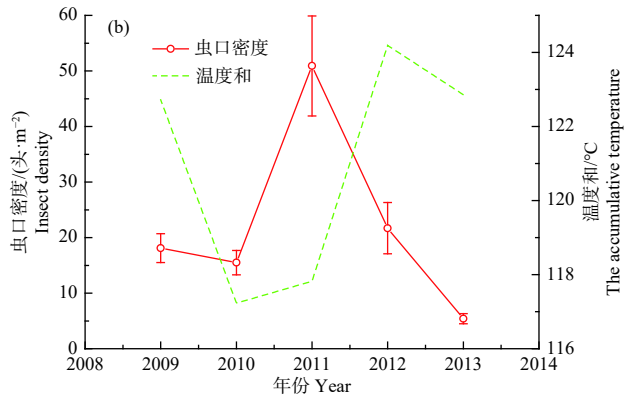
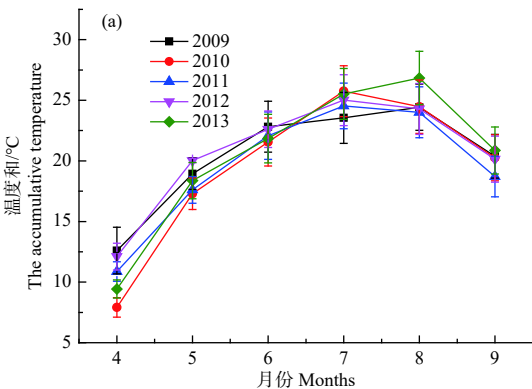


图 1 发育期温度变化趋势图 (a) 和昆嵛山腮扁叶蜂虫口密度与发育期温度不同年份变化情况 (b)

Fig. 1 Trend chart of temperature change during puberty (a) and the change of temperature and density of *C. kunyushanica* in different years (b)

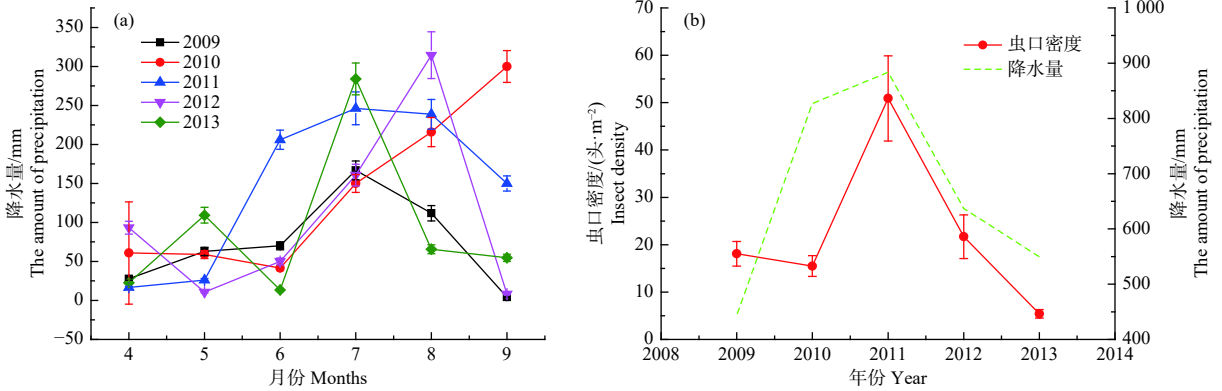


图2 发育期降水量变化趋势图 (a) 和昆嵛山腮扁叶蜂与发育期降水量不同年份变化情况 (b)

Fig. 2 Trend chart of precipitation change during puberty (a) and the change of precipitation and density of *C. kunyushanica* in different years (b)

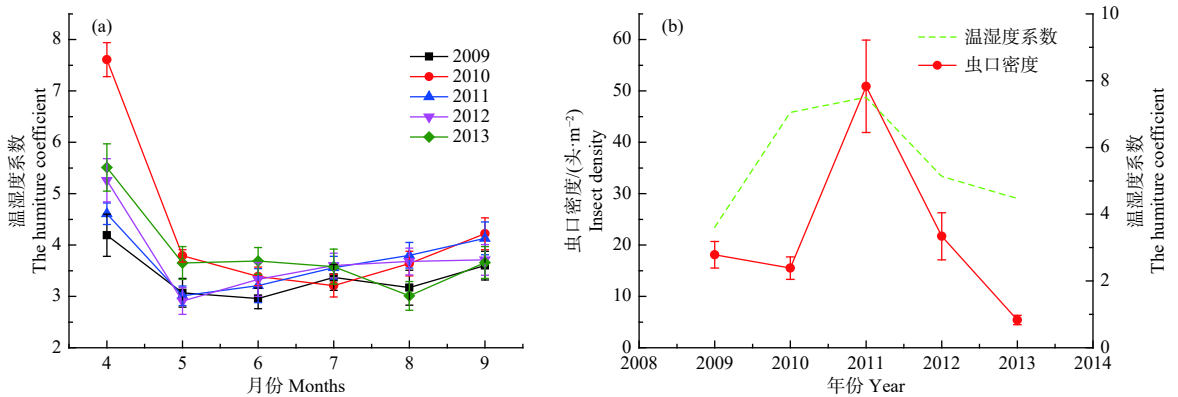


图3 发育期温湿度系数变化趋势图 (a) 和昆嵛山腮扁叶蜂与发育期温湿度系数不同年份变化情况 (b)

Fig. 3 Trend chart of humiture change during puberty (a) and the change of humiture and density of *C. kunyushanica* in different years (b)

密度和发育期温湿度系数总和发现,二者呈相同的变化趋势,最大值均出现在2011年;但在2010年中,昆嵛山腮扁叶蜂的平均虫口密度较低,与温湿度系数的对应关系不一致(图2b)。

### 3 讨论

昆嵛山腮扁叶蜂在每年4月底开始化蛹,9月下旬完成下树并入土做土室越冬,因此本研究选择昆嵛山腮扁叶蜂发育期(4—9月)的温度和降水量来分析气象因子对其越冬蛹虫口密度的影响。

温度通过影响昆虫的发育、生存和繁殖力来影响昆虫的种群动态<sup>[10-11]</sup>,有些昆虫在极端温度下会出现不育甚至死亡的现象,且不同种类的昆虫发育所需的适宜温度的范围不同及同种昆虫在发育的不同阶段所需温度也不尽相同<sup>[12-13]</sup>。昆嵛山腮扁叶蜂在发育期的不同阶段所需的温度不同,观察发现较高的温度有利于其产卵、孵化,较低的温度利于其

发育和下树。但昆嵛山腮扁叶蜂的虫口密度与发育期的温度和(有效积温)呈负相关关系。分析可能是因为高温破坏了昆虫的附腺蛋白,导致成虫无法成功交配而使得越冬蛹数量减少<sup>[14]</sup>。

6、7月份较高的降水量有助于昆嵛山腮扁叶蜂产卵和孵化,8、9月份较低的降水量有利于其下树入土。从降水量的年际变化来看,昆嵛山腮扁叶蜂越冬蛹虫口密度变化与降水量变化基本一致,说明在一定范围内,降水量的增加有利于昆嵛山腮扁叶蜂的发生。降水量除影响昆虫的生长发育外,还会因影响寄主植物或天敌的变化(如多样性)及土壤含水量等而影响昆虫种群密度的变化<sup>[15-18]</sup>。5月中下旬,寄主植物赤松新发枝条针叶开始生长,6月是新发针叶生长关键期,6月较高的降水量利于赤松针叶生长,从而为昆嵛山腮扁叶蜂幼虫提供充足的食物,符合“资源集中”假说<sup>[19]</sup>,这一结果直接影响下树越冬老熟幼虫的数量。较大降水量

使得土壤含水量较高,从而不利于越冬蛹顺利完成出土活动,另外土壤水分较高会使蛹因缺氧而窒息死亡<sup>[20]</sup>。

温湿度共同影响昆虫存活和繁殖的现象较为普遍<sup>[21]</sup>。各年度温湿度系数变化情况显示,昆嵛山腮扁叶蜂虫口密度随着温湿度系数的变化而变化。温湿度系数的大小也可以影响昆虫体内水分平衡<sup>[22]</sup>。温湿度系数是一个综合指标,它能更精确得反映温度和湿度对昆嵛山腮扁叶蜂发生的综合作用。

## 4 结论

同一样地的昆嵛山腮扁叶蜂越冬蛹的数量在不同年份中差异极显著( $P<0.001$ );且所有样地的越冬蛹总量和虫口密度也均达到极显著水平( $P<0.001$ )。昆嵛山腮扁叶蜂虫口密度同发育期降水量和温湿度系数的年份变化情况一致,但与温度和的年份变化情况不一致。即,较低的温度、较高的降水量和温湿度系数造成了昆嵛山腮扁叶蜂的越冬蛹数量增多,低温高湿环境适合昆嵛山腮扁叶蜂越冬蛹的生活。

## 参考文献:

[1] 萧刚柔. 中国扁叶蜂订正名录(膜翅目:扁叶蜂科)[J]. 森林病虫通讯, 2000, 19(6): 3-5.

[2] 王传珍, 王京刚, 杨 隽, 等. 昆嵛山腮扁叶蜂生物学特性研究[J]. 森林病虫通讯, 2000, 19(4): 20-22.

[3] 杨 隽, 邵凌松, 刘德玲, 等. 昆嵛山腮扁叶蜂生物学特性及防治技术研究[J]. 山东林业科技, 2001, 134(3): 41-44.

[4] 朱彦鹏, 孙志强, 张星耀, 等. 昆嵛山腮扁叶蜂取食对赤松生长的影响[J]. 林业科学研究, 2012, 25(1): 42-47.

[5] 段小凤, 王晓庆, 李品武, 等. 几种环境因子对昆虫适应性影响的研究进展[J]. 中国农学通报, 2015, 31(14): 79-82.

[6] 孙志强. 林分类型 and 立地条件对昆嵛山腮扁叶蜂种群动态的影响[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2011.

[7] 孙志强, 张星耀, 林 琳, 等. 赤松纯林分特征对昆嵛山腮扁叶蜂发生量的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(4): 857-866.

[8] 黄咏槐, 梁 军, 马 琳, 等. 森林空间结构对昆嵛山腮扁叶蜂虫口密度的影响[J]. 林业科学, 2018, 54(54): 84-90.

[9] 潘 琪, 梁 军, 倪 杨, 等. 昆嵛山腮扁叶蜂与乔木层树种的联结性分析[J]. 林业科学, 2015, 51(10): 85-92.

[10] Jian-Yang Q, Yue-Qiu L, Lei Z, *et al.* Effects of temperatures on the development and reproduction of the armyworm, *Mythimna roseilinea*: Analysis using an age-stage, two-sex life table[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2018, 17(7): 1506-1515.

[11] Forster J, Hirst A G, Woodward G. Growth and development rates have different thermal responses[J]. American Naturalist, 2011, 178(5): 668-678.

[12] Nguyen T M, Bressac C, Chevrier C. Heat stress affects male reproduction in a parasitoid wasp[J]. Journal of Insect Physiology, 2013, 59(3): 248-254.

[13] 张 晨, 安仕博, 侯洋咏, 等. 柞蚕卵为繁育寄主的黏虫赤眼蜂发育起点温度和有效积温研究[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(2): 283-287.

[14] Williams J B, Shorthouse J D, Jr L R. Deleterious effects of mild simulated overwintering temperatures on survival and potential fecundity of rose-galling *Diplolepis wasps* (Hymenoptera: Cynipidae)[J]. Journal of Experimental Zoology Part A Comparative Experimental Biology, 2003, 298(1): 23.

[15] 吴咚咚, 林 航, 阙晓堂. 烟粉虱在四种寄主植物上的发生动态[J]. 福建农业学报, 2015, 30(3): 278-281.

[16] 马 轶, 张维江, 朱旭东, 等. 好水川流域梯田土壤含水量变化规律研究[J]. 中国水土保持, 2012, (5): 47-49.

[17] 朱猛蒙, 张 蓉, 张泽华, 等. 宁夏麻黄山草原蝗虫及天敌对土壤含水量及坡度的响应特征[J]. 植物保护学报, 2016, 43(3): 369-376.

[18] Ruirui Hu, Jun Liang, Xian Xie, *et al.* Stand Characteristics and Soil Properties Affecting the Occurrence of Kunyushan Web-spinning Sawfly (*Cephalcia kunyushanica*) in Japanese Red Pine (*Pinus densiflora*) Pure Forests in the Kunyushan Mountains, China. Forests[J]. 2018, 9(12): 760.

[19] O'Rourke M E, Petersen M J. Extending the 'resource concentration hypothesis' to the landscape-scale by considering dispersal mortality and fitness costs[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2017, 249: 1-3.

[20] 谭 椰, 徐文彦, 商晗武, 等. 水分胁迫对植物与植食性昆虫互作的影响[J]. 应用昆虫学报, 2014, (4): 871-880.

[21] 方源松, 廖怀建, 钱 秋, 等. 温湿度对稻纵卷叶螟卵的联合作用[J]. 昆虫学报, 2013, 56(7): 786-791.

[22] 王智翔, 陈永林. 环境温湿度对狭翅雏蝗体温与含水量的影响[J]. 昆虫学报, 1989, (3): 278-285.

# The Effect of Temperature and Humidity on Web-spinning Sawflies (*Cephlca kunyushanica* Xiao)

HU Rui-rui<sup>1</sup>, ZHANG Ying-jun<sup>2</sup>, LIANG Jun<sup>1,2</sup>, ZHANG Xing-yao<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Forest Ecological Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Forest Protection of State Administration of Forestry and Grassland, Beijing 100091, China; 2. Kunyushan Forest Ecosystem Research Station, Yantai 264100, Shandong, China)

**Abstract:** [Objective] The relationship between temperature, rainfall, temperature and humidity coefficient and population dynamics of web-spinning sawflies (*Cephlca kunyushanica* Xiao) was studied to explore the influence of meteorological factors on the occurrence of *C. kunyushanica*. [Method] Seven permanent plots were selected in Kunyushan Mountains and the temperature, precipitation, relative humidity and the number of overwintering pupas were investigated during their development period. Then, the relationship between temperature, precipitation, temperature and humidity coefficient and the population dynamics in Kunyushan Mountains was analyzed [Result] The temperature needed by *C. kunyushanica* was different at different stages of their life cycle. The higher precipitation in June and July helped *C. kunyushanica* to lay eggs and hatch, while the lower precipitation was conducive to they fall the trees. The number of *C. kunyushanica* in one plot was significantly different among years ( $P < 0.001$ ). In addition, the total number and density of the overwintering *C. kunyushanica* in all the plots investigated were also extremely significant ( $P < 0.001$ ). The year variation of *C. kunyushanica* was consistent with the year variation of precipitation and humidity coefficient, while not consistent with the year variation of temperature coefficient. In general, lower temperatures, higher precipitation and humidity in 2011 led to an increase number of wintering *C. kunyushanica*. [Conclusion] Low temperature and high humidity environment suits overwintering pupas. Meteorological factor play an important role in controlling the occurrence of *C. kunyushanica*, which is an important part of the ecological control mechanism of forest pests.

**Keywords:** *Cephlca kunyushanica*; overwintering pupa; insect density; temperature; precipitation; coefficient of temperature and humidity

(责任编辑: 崔 贝)