

环境因子对白蜡虫泌蜡的影响

陈晓鸣, 王自力, 陈勇, 叶寿德, 王绍云, 冯 颖

(中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 国家林业局资源昆虫培育与利用重点实验室, 昆明 650224)

摘要: 白蜡虫是一种具有重大的经济价值资源昆虫, 白蜡虫分泌的白蜡是一种重要的天然化工原料。研究了不同温度、湿度、光照等因子对白蜡虫泌蜡的影响, 试验种群和自然种群研究结果表明, 白蜡虫在 15~25℃ 下能正常分泌白蜡和生长发育, 在 30℃ 以上的持续恒温下, 白蜡虫能分泌白蜡, 但泌蜡量低, 不能正常生长发育, 化蛹, 2 龄末期死亡; 在高湿度 (年相对湿度 > 80%)、低光照 (< 1600h/a) 条件下, 白蜡虫泌蜡量高, 但种群不能正常生长发育, 雌虫死亡率高, 不能完成生活史。多因素分析表明, 白蜡虫泌蜡对温度不敏感, 影响白蜡虫泌蜡的关键因子是湿度和光照, 适于白蜡虫泌蜡的环境因子为: 温度 15~25℃、年降雨量 1300~2000mm, 年相对湿度 > 80%, 泌蜡期 5~8 月份的相对湿度 > 90%, 年光照时数 < 1600h/a。根据在峨嵋、昭通、昆明等地对白蜡虫的生态适应性观察和分析, 白蜡虫泌蜡高的环境不是白蜡虫适生区域, 白蜡虫适生区域主要生态指标为: 年均温 11~16℃, 降雨量 800~1200mm/年, 年相对湿度 63%~75%, 年光照时数为 1900~2500h/a。

关键词: 白蜡虫; 泌蜡; 环境因子; 适于泌蜡的环境; 种群适生区域

文章编号: 1000-0933(2007)01-0103-10 中图分类号: Q142.Q968 文献标识码: A

The impact of environmental factors on the wax excretion by Chinese white wax scale (*Ericerus pela* Chavannes)

Chen Xiaoming, Wang Zili, Chen Yong, Wang Shaoyun, Feng Ying

The Research Institute of Resource Insects, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Cultivation and Utilization of Resource Insects of State Forestry Administration, Kunming 650224, China

Acta Ecologica Sinica 2007, 27(1): 0103~0112

Abstract *Ericerus pela* Chavannes is an important resource insect with economic value. The white wax excreted by 2nd larvae of *Ericerus pela* is one of important raw materials which is widely applied in the some chemical industries. In this paper, the wax excretion of *Ericerus pela* was analyzed for its impact of ecological factors. The result showed that *Ericerus pela* could excrete wax, develop normally and finish its life cycle within sustained temperatures ranging between 15°C to 25°C. When the temperature exceeds 30°C, *Ericerus pela* can excrete wax, but the excreted wax amount is low. Most of the larvae population dies at the end of the 2nd instar, therefore, the insect can not develop normally, nor can it pupate and finish its life cycle. Humidity and light are key factors affecting wax excretion of *Ericerus pela*. In an environment of high humidity (annual relative humidity > 80%) and low light (< 1600 h/a), the wax amount excreted by *Ericerus pela* is high, but the population can not develop normally, the high death rate of the female insect prevents the development of its life cycle. The insect is not temperature sensitive, therefore, the temperature will not affect its secretion. The beneficial ecological factors for Chinese white wax scale to excreted wax are temperature 15—25°C, light < 1600 h/a, rain fall

基金项目: 国家科技攻关资助项目 (2004BA502B04); 云南省科技攻关资助项目 (2001NG16); 云南省自然科学基金资助项目 (98C083)

收稿日期: 2005-11-28 修订日期: 2006-08-10

作者简介: 陈晓鸣 (1957~), 男, 云南昭通人, 博士, 研究员, 主要从事源昆虫学研究。E-mail: xmchen@vip.km169.net

Foundation item: The project was financially supported by National key science and technology program, China (No. 2004BA502B04), key science and technology program of Yunnan Province (No. 2001NG16) and natural science foundation of Yunnan Province (No. 98C083)

Received date: 2005-11-28 **Accepted date:** 2006-08-10

Biography: Chen Xiaoming, Ph.D., Professor, mainly engaged in resource entomology. E-mail: xmchen@vip.km169.net

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

1300—2000 mm, annual relative humidity > 80% and relative humidity > 90% from May to August.

According to ecological observation and analysis of *Ericerus pela* living in Emei, Zhaotong and Kunming the environments of which encourage rates of high excreted waxes are not suitable growth areas for *Ericerus pela*. The main ecological characteristics for suitable growth areas of *Ericerus pela* are described as follows: annual average temperature 11—16°C, light 1900—2500 h/a, rainfall 800—1200 mm and annual relative humidity 65%—75%.

Key Words *Ericerus pela*; wax excretion; environmental factors; beneficial environment for wax excretion; population suitable growth area

白蜡虫是一种重要的资源昆虫,白蜡虫 2 龄雄幼虫分泌的白蜡是一种重要的天然化工原料,具有重大的经济价值,被广泛地应用于化工、食品、医药、信息技术等行业。白蜡虫研究主要在中国,国外的研究较少,主要限于分类^[1-3]。前人对白蜡虫泌蜡作了不少工作,吴次彬等^[4-6]在四川作过不同地区来源的白蜡虫种虫泌蜡研究,张子有等^[7-11]对陕西白蜡虫的泌蜡及生态适应性作过初步研究,涉及到不同地方的种虫的泌蜡表现;岑明等^[12]研究了降雨量与白蜡产量之间的关系;张长海等^[13]在云南景东,景洪等地研究过白蜡虫的生态适应性;陈晓鸣,陈勇等^[14-15]在云南昆明,昭通,四川峨眉等地研究,较系统地研究了白蜡虫不同地方种虫的泌蜡表现,讨论了不同地方种虫分化的证据和白蜡虫在不同寄主的泌蜡表现。但是,国内外还缺乏环境因素对白蜡虫泌蜡的研究方面。本文较系统地研究了温度、湿度、光照等对白蜡虫泌蜡的影响。

1 材料和方法

1.1 材料

白蜡虫 *Ericerus pela* Chavannes 采自云南昭通炎山乡,女贞 *Ligustrum lucidum* Ait 为各地白蜡园栽培。

1.2 气候资料

来自于 1951~1980 年中国地面气候资料^[16]。

1.3 方法

1.3.1 温度实验

在昆明自然条件下在盆栽 1 年生女贞放养白蜡虫,待 2 龄雄幼虫定杆后放入人工气候箱,在相对湿度 70% ± 5%,光照 980 lx 的条件下,设置 (15 ± 2)°C、(20 ± 2)°C、(25 ± 2)°C、(30 ± 2)°C、(35 ± 2)°C 等 5 个温度梯度观察白蜡虫泌蜡状况,待雄虫进入前蛹时,测定泌蜡量,测定样本数为 30。

1.3.2 湿度实验

在昆明自然条件下在盆栽 1 年生女贞放养白蜡虫,待 2 龄雄幼虫定杆后,放入人工气候箱内在温度 20°C,光照 980 lx 的条件下,设置相对湿度 50% ± 5%, 70% ± 5%, 90% ± 5% 3 个梯度条件下观察白蜡虫泌蜡表现;待雄虫进入前蛹时,测定泌蜡量;测定样本数为 30。

1.3.3 光照实验

在种植 3 年生女贞试验林地上设置 50%, 70% 的遮光网各 100m²放养白蜡虫,设置自然状况下放养白蜡虫作为不遮光对照,随机抽样,样本数为 30 测定白蜡虫泌蜡量。

1.3.4 泌蜡测定

(1) 个体泌蜡量及单位面积泌蜡量 在白蜡虫泌蜡结束时(前蛹期)将蜡块从树上取下,根据形状分块切割为 2cm²以内的长方形或正方形,测定蜡块的长宽计算蜡块面积,20°C 烘箱中烘干水分,称蜡块重量,然后挑出雄虫记数,称重,计算单位面积泌蜡量,用下列公式换算出白蜡虫个体泌蜡量:

$$\text{个体泌蜡量} = \frac{\text{蜡重} - \text{虫重}}{\text{雄虫数}}$$

(2) 种虫产蜡量 采用单虫,单枝放养,即在将 1 头白蜡虫种虫单独放养在 1 支寄主植物枝条上,在白蜡虫泌蜡结束时,收取白蜡称重,计算每头放养每头白蜡虫种虫的白蜡产量。

1.3.5 雌虫死亡率调查

雌虫死亡率调查: 在寄主植物上放养白蜡虫, 待 2 龄雌幼虫定杆后, 在枝条上随机抽选 50 个样, 每个样 10 个 cm^2 , 调查单位面积上雌虫数, 雌虫进入成虫时调查单位面积上雌虫存活数, 计算出雌虫死亡率。

1.3.6 统计分析

泌蜡量的统计分析采用新复级差法 (Duncan 氏方法), 环境因素对泌蜡影响多元统计分析采用偏相关系数进行。

2 结果分析

2.1 温度对白蜡虫泌蜡的影响

人工气候箱内光照 980 lx, 70% 的相对湿度下, 白蜡虫实验种群试验观察发现 (表 1): 在 15~25°C 温度范围内, 白蜡虫 2 龄雄幼虫泌蜡正常, 能进入蛹期和羽化, 完成生活史; 在 30°C, 35°C 持续稳定的温度条件下, 白蜡虫 2 龄雄幼虫虽然能泌蜡, 但不能进入蛹期, 在 2 龄末期, 白蜡虫 2 龄雄幼虫全部死亡, 不能完成生活史, 长期持续恒定的高温可能是 2 龄雄幼虫致死的主要原因。从白蜡虫泌蜡量分析, 在 15~35°C 温度范围内, 白蜡虫泌蜡量有较大的差异, 在 15~25°C 温度下白蜡虫泌蜡较高; 在 30~35°C 温度下, 白蜡虫泌蜡量较 15~25°C 温度范围内的泌蜡量显著降低, 实验表明, 在 15~35°C 温度范围内白蜡虫泌蜡量呈现出随温度上升而下降的趋势。用新复级差法 (Duncan 氏方法) 检验, 白蜡虫在 15~20°C 和 30~35°C 温度区间泌蜡差异不显著, 其它组间差异极为显著。

表 1 不同温度下白蜡虫泌蜡量比较 (mg/δ)

Table 1 The comparison of amount of wax (mg/δ) excreted by Chinese white wax scale under different temperature

序号 No	温度梯度 (°C) Temperature	平均泌蜡量 \bar{x}_i + 标准差 Average amount of wax $\bar{x}_i \pm SD$	$\bar{x}_i - \bar{x}_5$	$\bar{x}_i - \bar{x}_4$	$\bar{x}_i - \bar{x}_3$	$\bar{x}_i - \bar{x}_2$
1	15	0.0965 ± 0.0374	0.061705**	0.059933*	0.026433*	0.0148
2	20	0.0817 ± 0.0537	0.046905**	0.045133*	0.011633*	
3	25	0.0701 ± 0.0398	0.035272**	0.0335**		
4	30	0.0366 ± 0.0142	0.001772			
5	35	0.0348 ± 0.0127				

新复级差法 (Duncan 氏方法) 分析, $R_{(p)} > R_{0.01(p, 149)}$, ** 为极显著差异 Duncan analysis is $R_{(p)} > R_{0.01(p, 149)}$, ** showing significant difference

在自然界中, 白蜡虫自然种群泌蜡受多种生态因素的影响, 试验中, 选择了白蜡虫传统产蜡区峨眉; 传统产虫区昭通, 引种产蜡区广西贺县; 有白蜡虫自然生长, 既不是典型的产虫区, 又不是产蜡区的昆明地区进行泌蜡分析。从 3 地的研究结果来分析 (见图 1): 白蜡虫在四川峨眉的泌蜡量最高, 平均个体泌蜡量为 0.643887 mg/δ (标准差 ± 0.048); 一般在 1kg 种虫可以生产 5kg 左右蜡花 (从寄主植物上取下未经加工的粗白蜡), 云南昆明平均个体泌蜡量为 0.446049 mg/δ (标准差 ± 0.0880), 昭通平均个体泌蜡量为 0.458771 mg/δ (标准差 ± 0.047), 广西贺县平均个体泌蜡量为 0.424387 mg/δ (标准差 ± 0.054), 3 地的泌蜡量相似, 一般 1kg 种虫可以生产 2kg 左右蜡花。根据气象统计资料 (各点气象资料统计见表 3), 峨眉泌蜡时期 (5~8 月份) 的平均温度为 23.08°C; 云南昆明的月平均温度为 20.76°C, 昭通在白蜡虫泌蜡时期 (5~8 月份) 的月平均温度为 19.79°C, 广西贺县在白蜡虫泌蜡时期 (5~8 月份) 的月平均温度为 27.20°C。在 4 个试验点中, 四川峨眉和广西贺县的在白蜡虫泌蜡时期 (5~8 月份) 的年降雨量大于 1500mm 和相对湿度大致相似, 在四川峨眉泌蜡时期的月平均温度为 23.08°C, 广西贺县的在白蜡虫泌蜡时期的月平均温度为 27.20°C 左右, 广西贺县和四川峨眉泌蜡时期的温度相差 4°C 左右, 在基本相同的相对湿度条件下两地白蜡虫泌蜡量呈现出温度高, 白蜡虫泌蜡量低的状况, 这与白蜡虫试验种群 15~35°C 温度范围内, 超过 25°C 后, 白蜡虫泌蜡量随温度升高而降低的结果基本一致。云南昆明、昭通与四川峨眉泌蜡期的温度在泌蜡适宜范围内, 但云南昆明、昭通与四川的湿度和光照有较大的差异, 所以泌蜡量有较大的差距。

从不同温度条件下的白蜡虫自然种群和实验种群的泌蜡状况来分析,白蜡虫在 15~25℃范围都能正常泌蜡。在自然界中,白蜡虫泌蜡时期在 6月~9月份,在这段时间白蜡虫产虫区和产蜡区的平均温度在 20~25℃,属于正常泌蜡温度范围,故温度对白蜡虫泌蜡的影响不大,影响白蜡虫泌蜡的主要因子应该是湿度和光照。

2.2 湿度对白蜡虫泌蜡的影响

在人工气候箱内光照 980 lx,温度 20℃,50%~90%相对湿度的条件下,实验种群泌蜡表明(图 2):白蜡虫泌蜡以相对湿度 90%条件下最好,个体泌蜡量 $0.2735 \text{ mg}/\delta$ (标准差 ± 0.10328),在 70%和 50%相对湿度条件下,白蜡虫泌蜡量为 $0.21 \text{ mg}/\delta$ (标准差 ± 0.09806)和 $0.1575/\delta$ (标准差 ± 0.03669),在 50%~90%相对湿度范围内,呈现出相对湿度高,泌蜡量高的趋势。

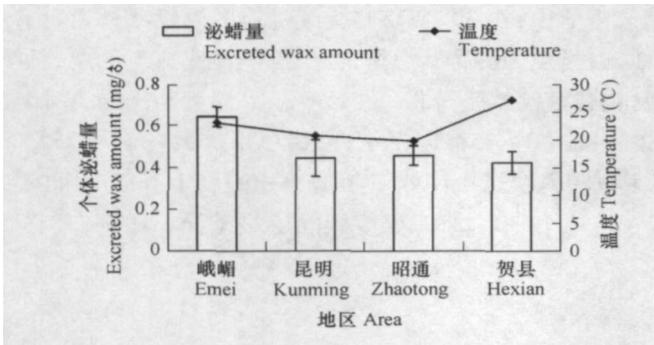


图 1 不同温度地区白蜡虫泌蜡比较

Fig. 1 The wax amount excreted by Chinese white wax scale in different temperature areas

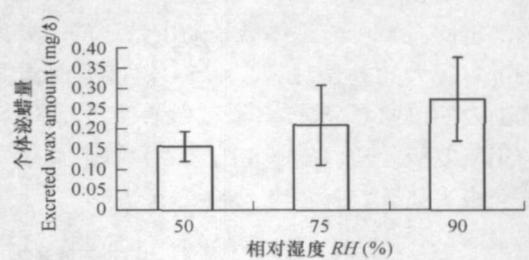


图 2 白蜡虫在不同湿度下泌蜡比较

Fig. 2 The wax excreted by Chinese white wax scale under different humidity

在自然界中,白蜡虫产蜡区一般都选择在湿度较高的地区。通过对云南昆明、昭通,四川峨眉 3个地方白蜡虫泌蜡研究证实(表 2),白蜡虫自然种群泌蜡较好的地区,在白蜡虫泌蜡期间(5~8月份)相对湿度一般都在 85%~90%。在四川峨眉、云南昆明和昭通等地小气候观察,峨眉白蜡虫泌蜡期间相对湿度在 95%左右;云南昆明、昭通的相对湿度在 85%左右;白蜡虫泌蜡量以峨眉为最高,个体泌蜡量为 $0.6439 \text{ mg}/\delta$ (标准差 ± 0.048),昆明和昭通的个体泌蜡量分别为 $0.4461 \text{ mg}/\delta$ (标准差 ± 0.088), $0.4588 \text{ mg}/\delta$ (标准差 ± 0.047)。自然种群的泌蜡结果同样显示出湿度高、泌蜡量高的趋势。

表 2 不同地区泌蜡期(5~8月)湿度与白蜡虫泌蜡比较

Table 2 The humidity and excreted wax amount from May to August in different areas

地区 Areas	相对湿度 RH (%)						个体泌蜡量 The excreted wax amount(mg/δ)
	年平均 Year average	5月 May	6月 Jun	7月 July	8月 August	5~8月平均 Average	
昆明 Kunming	73	76.75	86.95	92.03	87.08	85.70	$0.4461 \pm 0.088 \text{ a}$
昭通 Zhaotong	74	79.82	80.05	93.60	86.40	84.96	$0.4588 \pm 0.047 \text{ a}$
峨眉 Emei	85	95.45	92.60	97.88	95.50	95.36	$0.6439 \pm 0.048 \text{ b}$

* 表中个体泌蜡量值为平均数±标准差,同列值后不同字母表示差异显著 Wax amount values in table are mean±SD. Value in the same rank by different letters are significantly different ($p < 0.01$)

2.3 光照对白蜡虫泌蜡的影响

光作为一个重要的生态因素,直接影响昆虫的生长发育等生理活动。光照对白蜡虫泌蜡的影响一直未引起注意。在传统的白蜡生产中,白蜡虫泌蜡较高的地区都是在日照时数小于年日照时数 1500h/a的地区,例如:四川峨眉(年日照时数 1000~1200 h/a),南充(年日照时数 1100~1400 h/a),湖南芷江(年日照时数 1500~1600 h/a)。通过在四川峨眉、云南昆明和昭通 3地试验发现(图 3),四川峨眉白蜡虫的个体泌蜡量为

0.6439mg/♂, 1kg白蜡虫种虫可以生产 2~3kg白蜡; 云南昆明和昭通的个体泌蜡量为 0.4461mg/♂和 0.4588mg/♂, 1kg白蜡虫种虫只能生产 1~2kg白蜡; 四川峨眉白蜡虫产蜡量明显高于云南昆明和昭通。从气象因子来分析, 云南昆明和昭通的年日照时数较高, 白蜡虫泌蜡较低, 而四川峨眉的年日照时数较低, 白蜡虫泌蜡较高; 光照与白蜡虫泌蜡成负相关, 显示出光照低泌蜡量高的趋势。

为了证明光照对白蜡虫泌蜡的影响, 在昆明的女贞试验地内设置了遮光试验, 试验结果表明(图 4): 在同一地点, 自然光条件下, 白蜡虫个体泌蜡量为 0.2639mg/♂(标准差 ±0.1177); 遮光 50%的条件下, 白蜡虫个体泌蜡量为 0.3358mg/♂(标准差 ±0.0908); 遮光 70%的条件下, 0.1373mg/♂(标准差 ±0.0751)。遮光 50%条件下, 白蜡虫泌蜡量高于自然光条件下白蜡虫泌蜡量; 遮光 70%条件下, 白蜡虫泌蜡量低于遮光 50%和自然光条件下白蜡虫泌蜡量, 表现出高光照和低光照对白蜡虫泌蜡都不利的趋势。在自然界中, 昆明地区的年日照时数为 2400~2500h/a, 遮光 50%的条件与白蜡产区光照环境相似, 显示出泌蜡量较高, 这一试验结果与自然白蜡产区基本吻合。光对白蜡虫泌蜡的影响较为复杂, 是光照时间的长短, 还是光照强度, 直射光和散射光影响白蜡虫泌蜡, 还需作进一步研究和分析。

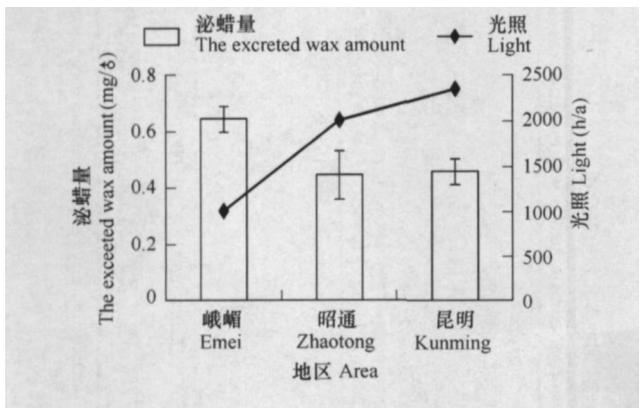


图 3 不同光照地区白蜡虫泌蜡状况

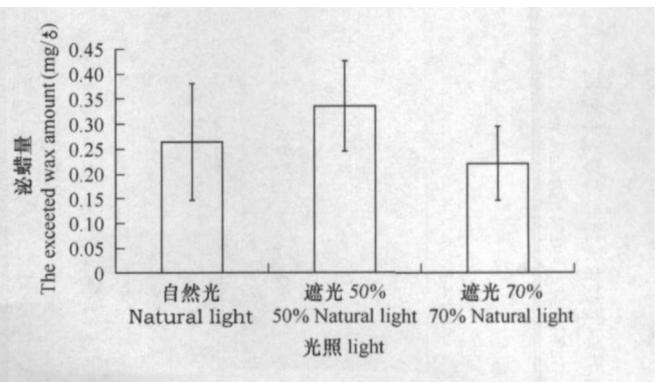


图 4 不同光照下白蜡虫泌蜡比较

Fig. 3 The wax excreted by Chinese white wax scale under different light areas

Fig. 4 Excreted wax by Chinese whitewax scale in different light

在自然界中, 环境因子对白蜡虫泌蜡的影响是多因素综合作用的结果, 白蜡虫泌蜡受到温度、湿度和光照等多因素的影响, 是一种复杂的综合作用的过程, 需要从温度、湿度、光照等多因子进行分析, 才能了解环境因子与白蜡虫泌蜡的规律。

2.4 温度、湿度和光照对白蜡虫泌蜡的多元相关分析

为了较准确地分析温度、湿度和光照等多因素对白蜡虫泌蜡的影响, 根据我国白蜡虫产虫区、产蜡区和引种区的气候资料和产蜡状况(表 3), 采用偏相关分析对气候因子与泌蜡关系进行多因素分析, 结果表明(表 4): 在控制温度条件下, 光照与泌蜡量的偏相关系数为 -0.7473, 说明光照与泌蜡量成负相关, 在日照时数为 1300~2500h/a 的范围内, 光照越强泌蜡量越低; 湿度与泌蜡量的偏相关系数为 0.7569, 湿度与泌蜡量正相关, 在相对湿度为 70%~95% 的范围内, 湿度越大泌蜡量越高。在控制湿度的条件下, 光照与泌蜡量的偏相关系数为 -0.5256, 说明光照与泌蜡量成负相关, 在日照时数为 1300~2500h/a 的范围内, 光照越强泌蜡量越低, 温度与泌蜡量的偏相关系数只有 0.0684, 说明温度与泌蜡量关联度较小。在控制光照的条件下, 湿度与泌蜡量的偏相关系数为 0.7026, 在湿度为 70%~95% 的范围内, 显示出湿度高泌蜡量高的特征, 温度与泌蜡量的偏相关系数为 -0.5292, 说明在温度 17~27℃ 范围内, 泌蜡量随温度增加而减少。

从温度、湿度和光照 3 个气象因子对白蜡虫泌蜡的影响来分析, 湿度和光照对白蜡虫泌蜡的影响较大。在分别控制光照和湿度的条件下, 湿度偏相关系数均大于 0.7, 说明湿度与泌蜡的关联度较高, 是影响白蜡虫泌蜡最重要的因子; 在分别控制温度和湿度的条件下, 光照偏相关系数在 -0.5256 和 -0.7473 之间, 也是影响白蜡虫泌蜡最重要的因子; 在分别控制湿度和光照的条件下, 温度偏相关系数在 0.0684 和 -0.5292 之间,

表3 不同地区的气候指标与白蜡蚜虫分泌蜡和种群生长状况

Table 3 The excreted wax, population development of Chinese white wax scale and climate factors in different areas

地区 Areas	年均温度 An. ave. temp. (°C)	海拔 Altitude (m)	5~8月温度 May~Aug. temperature(°C)	年降雨量 An. rain fall (mm)	相对湿度 RH (%)	光照 Light (h/a)	分泌蜡状况 Excreted wax (mg/种虫 insect)	雌虫初期死亡率 Female mortality (%)	种群繁衍状况 Development
峨眉 Emei	17.20	460	23.08	1500~2000	85.00	1000~1200	4490	95~100	不适合 Unsuitability
芷江 Zhijiang	16.50	267	25.60	1300~1400	80.00	1500~1600	>3000	95~100	不适合 Unsuitability
昆明 Kunming	14.80	1800~1900	20.76	900~1000	73.00	2400~2500	1064	20~50	适合 Suitability
昭通 Zhaotong	11.70	1500~2000	19.79	800~1000	74.00	1900~2200	1198	20~50	适合 Suitability
喜德 Xide	14.00	1800~2000	19.60	900~1000	67.00	2000~2100	1000	20~50	适合 Suitability
安康 Ankang	15.60	250~650	25.18	700~800	72.00	1700~1800	<1000	>50	不适合 Unsuitability
叙县 Hexian	19.90	270	27.20	>1500	78.00	1600~1700	<1000	95~100	不适合 Unsuitability

表4 气象因子与分泌蜡的多元偏相关分析

Table 4 The partial correlation coefficients of climate factors and excreted wax amount

控制温度 Controlling for temperature			控制湿度 Controlling for humidity			控制光照 Controlling for light		
分泌蜡 Wax amount	光照 Light	湿度 RH	分泌蜡 Wax amount	光照 Light	湿度 Temp.	分泌蜡 Wax amount	湿度 Temp.	湿度 RH
1.0000 (0)	-0.7473 (4)	0.7569 (4)	1.0000 (0)	-0.5256 (4)	0.0684 (4)	1.0000 (0)	-0.5292 (4)	0.7026 (4)
P=0.000	P=0.088	P=0.081	P=0.000	P=0.284	P=0.898	P=0.000	P=0.280	P=0.120
光照 Light	分泌蜡 Wax amount	湿度 RH	光照 Light	分泌蜡 Wax amount	湿度 Temp.	光照 Light	分泌蜡 Wax amount	湿度 RH
0.7473 (4)	-0.7473 (4)	-0.4370 (4)	-0.5256 (4)	1.0000 (0)	-0.7406 (4)	-0.5292 (4)	1.0000 (0)	-0.1955 (4)
P=0.088	P=0.000	P=0.386	P=0.284	P=0.000	P=0.092	P=0.280	P=0.000	P=0.710
湿度 RH	光照 Light	分泌蜡 Wax amount	湿度 Temp.	光照 Light	分泌蜡 Wax amount	湿度 RH	光照 Light	分泌蜡 Wax amount
0.7569 (4)	-0.4370 (0)	1.0000 (0)	0.0684 (4)	-0.7406 (4)	0.7026 (4)	1.0000 (0)	-0.1955 (0)	0.7026 (4)
P=0.081	P=0.386	P=0.000	P=0.898	P=0.092	P=0.120	P=0.710	P=0.710	P=0.000

* 每个变量的第一行数据为偏相关系数,第二行为自由度,第三行为相伴概率。In each variable, the first row data are partial correlation coefficients, the second row data are degree of freedom and the third row data are correlation probability

在 3 个气象因子中, 温度对白蜡虫泌蜡影响最小。气候因子与泌蜡的多元相关分析结果与白蜡虫试验种群和自然种群的试验结果相一致, 在自然界中, 生产白蜡地区的温度一般在 18~ 30℃ 之间, 温度对白蜡虫泌蜡的影响不大, 湿度和光照是影响白蜡虫泌蜡的主要因素。

2.5 温度, 湿度和光照对白蜡虫死亡状况的多元相关分析

白蜡虫的雄虫的寿命只有 4 个月左右 (5~ 9 月份), 雌虫生活周期 12 个月, 看白蜡虫对环境是否适应, 主要是分析白蜡虫雌虫的死亡和生长发育状况, 根据我国白蜡虫产虫区、产蜡区和引种区的气候资料和种虫死亡与生长发育状况 (表 3) 进行多因素分析, 结果表明 (表 5): 在控制温度条件下, 在年降雨量 700~ 2000mm 的范围内, 湿度与雌成虫初期的死亡状况的偏相关系数为 0.8221, 说明湿度高, 死亡率高; 光照与雌成虫初期的死亡状况的偏相关系数为 -0.6935, 在日照时数为 1300~ 2500h/a 的范围内, 高光照地区死亡率较低。在控制湿度的条件下, 光照与雌成虫初期的死亡状况的偏相关系数为 -0.4577, 在日照时数为 1300~ 2500h/a 的范围内, 光照越强, 雌成虫初期的死亡率越低; 温度与雌成虫初期的死亡状况的偏相关系数为 0.7357, 在年均温 11~ 20℃ 的范围内, 温度高, 死亡率高。在控制光照的条件下, 湿度与雌成虫初期的死亡状况的偏相关系数为 0.6547, 显示出湿度高, 死亡率高的特征, 温度与雌成虫初期的死亡状况的偏相关系数为 0.6848, 死亡率随着温度增高而增高。

多元偏相关分析表明, 白蜡虫的死亡状况与湿度和温度成正相关, 与光照成负相关。高湿、高温, 低光照地区死亡率较高, 低湿、低温, 高光照地区死亡率较低。从全国白蜡虫的主要产虫区、产蜡区的生态环境和自然种群的生长发育和种群繁衍特征来分析 (表 3), 白蜡虫自然种群在云南昭通、昆明、四川喜德等海拔在 1500m 以上低湿、低温, 高光照的产虫区生长发育良好, 能正常地繁衍后代; 而在低海拔地区四川峨嵋、湖南芷江等地海拔 500m 以下的高湿、高温, 低光照的产蜡区, 白蜡产量高, 但白蜡虫自然种群难以正常生长发育和繁衍; 在陕西安康, 虽然白蜡虫种群基本能够完成生活周期, 但与云南昭通、昆明、四川喜德等地相比, 自然繁衍的能力较低, 不是白蜡虫种群生存和繁衍的适生区域; 在广西贺县, 白蜡虫虽然能够泌蜡, 但不能完成生活周期, 显然不是白蜡虫的适生区域。

3 讨论

3.1 环境因子与泌蜡

昆虫的生长发育, 繁衍等行为受到温度, 湿度, 光照等多种环境因素的影响。白蜡虫泌蜡包括着复杂的生态和生理问题, 受到温度, 湿度, 光照等多种环境因素的影响, 白蜡虫在适应复杂的生态环境过程中产生泌蜡等生理现象。从本文的研究结果来分析, 白蜡虫泌蜡主要受湿度, 光照的影响, 呈现出高湿度, 低光照地区白蜡虫泌蜡量高的趋势。

(1) 温度 从白蜡虫试验种群和自然种群泌蜡与温度的研究表明, 在 15~ 25℃ 条件下属于白蜡虫正常泌蜡的温度, 在此温度范围内温度不是白蜡虫泌蜡的关键因子。因为, 从白蜡虫生产的区域来分析, 白蜡虫泌蜡在每年的 5~ 9 月份之间, 这段时间在白蜡虫产区的温度一般在 18~ 25℃ 之间, 正好在白蜡虫泌蜡的适宜温度范围内, 满足白蜡虫的正常生长发育, 不会对白蜡虫泌蜡产生较大的波动。实验种群的研究表明, 白蜡虫泌蜡期的温度在恒温 30℃ 以上, 白蜡虫种群不能正常生长发育, 在自然界中, 白蜡虫泌蜡期温度长期持续超过 25℃, 则不适于白蜡虫种群生存。

(2) 湿度 白蜡虫泌蜡是一个复杂的生理、生态现象, 受温度、湿度、光照等多种生态因子的综合影响, 研究表明, 高湿度 (85% ~ 90%)、低光照 (< 1500h/a) 地区白蜡虫泌蜡高。湿度对白蜡虫泌蜡的影响, 前人没有系统的研究和观察。岑明等^[13]曾在广西贺县等作过降雨量对白蜡虫的影响的初步研究, 认为白蜡虫生产的先决条件是年降雨量, 其上限为 1552.5mm 左右, 1552.5mm 以上的降雨量影响白蜡虫泌蜡, 对白蜡虫种群造成大量死亡, 使白蜡产量减少。岑明等发现对降雨量对白蜡虫种群造成大量死亡并影响白蜡虫泌蜡的事实, 但没有注意到湿度高有利于白蜡虫泌蜡, 对降雨量与白蜡虫产蜡的描述与实际有情况较大的差距。事实上,

白蜡虫产蜡区一般都在相对湿度高的地区,例如,我国著名的白蜡产区四川峨眉,年降雨量在 1500~2000mm,在白蜡虫泌蜡期间(5~8月份)的湿度高达90%以上,都超过岑明等提出的“年降雨量上限为1552.5mm左右”。其实,在广西贺县等地的白蜡虫种群大量死亡,白蜡产量减少不是雨量大、湿度高单一因素造成的,而是在白蜡虫泌蜡期间,这些地区的平均温度在26~27℃,高温、高湿使白蜡虫种群大量死亡,白蜡产量减少。

光照:白蜡虫产蜡区大都在低光照地区(光照时数<1600h/a),这一事实被长期被忽略,如,传统产蜡区四川峨嵋的光照时数为1300~1400h/a,湖南芷江光照时数为1400~1600h/a,传统产虫区云南昭通和种虫生长较好的昆明等地的光照时数为1900~2500h/a。前人在研究白蜡虫生态环境和生态适应性时,对光照白蜡虫泌蜡的影响的研究没有涉及。本研究表明,低光照有利于白蜡虫泌蜡,光照对白蜡虫泌蜡的影响可能是与降雨量和相对湿度一起通过控制白蜡虫雄虫生长发育,从而影响白蜡虫泌蜡。

根据白蜡虫试验种群研究结果和自然种群在不同生态环境中的泌蜡表现,结合我国白蜡虫产蜡区的气候资料(表3)进行综合分析,适于白蜡虫泌蜡的环境因子为:温度15~25℃、年相对湿度>80%,泌蜡期5~8月份的相对湿度85%~95%,光照<1600h/a

3.2 白蜡虫泌蜡与生态适应性

昆虫的生长发育,繁衍等行为受到温度,湿度,光照等多种环境因素的影响。白蜡虫泌蜡与环境条件密切相关,白蜡虫泌蜡前人作了不少研究,但大多数的研究只关注海拔、温度等因子,多从高山、低山的角度去研究和讨论白蜡虫泌蜡量和白蜡生产及生态适应性^[17~21],缺乏对白蜡虫泌蜡环境的系统分析,对白蜡虫的生态适应性问题,长期存在这争论。为什么白蜡生产会采用“高山产虫,低山产蜡”的生产方式?王辅认为^[18,19],白蜡虫的雌雄两性对环境条件具有不同适应性,形成了两种不同的生活型。雌虫最繁荣的区域,均在海拔1000~3000m,而冬季有较长的低温干燥,但不太严寒的高原山区。雄虫最繁荣的产蜡区域,则在海拔400~1000m的夏季气候温暖、湿度较大的低山丘陵地带。吴次彬^[20,21]则认为,白蜡虫的雄虫和雌虫尽管生态习性上有一些差异,但雌虫和雄虫对生态条件总的要求是一致的,适合于雌虫生活的地区,也一定适合于雄虫生长发育。雌雄虫不可能在地理分布及气候条件上有明显不同的要求。王辅将“高山产虫,低山产蜡”的现象看作白蜡虫雌雄群体对环境有不同

表5 气候因子与白蜡虫死亡状况的多元偏相关分析

Table 5 The partial correlation coefficients of climate factors and death of Chinese white wax scale

控制温度 Controlling for Temperature			
死亡状况 Death	死亡状况 Death	湿度 RH	光照 Light
	1.0000 (0) P = 0.000	0.8221 (4) P = 0.045	-0.6935 (4) P = 0.126
光照 Light	0.8221 (4) P = 0.045	1.0000 (0) P = 0.000	-0.6310 (4) P = 0.179
光照 Light	-0.6935 (4) P = 0.126	-0.6310 (0) P = 0.179	1.0000 (0) P = 0.000
控制湿度 Controlling for humidity			
死亡状况 Death	死亡状况 Death	光照 RH	温度 Light
	1.0000 (0) P = 0.000	0.4577 (4) P = 0.361	0.7357 (4) P = 0.361
光照 Light	-0.4577 (4) P = 0.361	1.0000 (0) P = 0.000	-0.2716 (4) P = 0.603
温度 Temperature	0.7357 (4) P = 0.096	-0.2716 (4) P = 0.603	1.0000 (0) P = 0.000
控制光照 Controlling for light			
死亡状况 Death	死亡状况 Death	温度 Temp	湿度 RH
	1.0000 (0) P = 0.000	0.6848 (4) P = 0.133	0.6547 (4) P = 0.158
温度 Temperature	0.6848 (4) P = 0.133	1.0000 (0) P = 0.000	0.2465 (4) P = 0.638
湿度 RH	0.6547 (4) P = 0.158	0.2465 (0) P = 0.638	1.0000 (4) P = 0.000

的适应性,但不能解释同一物种的雌雄群体为何有如此大的生态适应性差异;吴次彬不同意王辅的观点,认为高山和低山都能产虫,不认为两者之间有较大的差异。

上述这些观点争论的焦点在于白蜡虫雌雄虫在生态适应性上是否存在显著的差异?如果没有显著差异,又怎么去解释白蜡虫产虫区与产蜡区分离在不同的生态环境中的现实,解释低山地区泌蜡量高于高山地区的事实?如果雌雄虫在生态适应性上有显著区别,又怎么去解释同一个物种的雌雄两性竟在生态适应性上有如此巨大的差异,物种怎样生存和繁衍?

实际上,前人的研究有一个误区,都把白蜡虫泌蜡看作为白蜡虫雄虫对生态环境适应的标志,认为白蜡虫泌蜡高则表明白蜡虫对生态环境适应,反之,则表明白蜡虫对生态环境不适应,所以,无法解释为什么白蜡虫在产蜡区雄虫泌蜡好而种群生长发育差,在产虫区雌虫生长发育好而产蜡低,白蜡虫生态适应性问题长期存在着争论。陈晓鸣等的研究表明,在不利于种群生长的环境中白蜡虫的泌蜡量较高,死亡率高;而在适生环境中的泌蜡量较低,死亡率低;在此基础上提出了白蜡虫泌蜡机理:白蜡虫泌蜡实际上是昆虫为适应环境的一种自身的保护性反应和生态对策,是对不良环境的一种抵御性反应,而不是白蜡虫对适生生态环境的标志。

通过对白蜡虫在产虫区、产蜡区的自然种群泌蜡和生态学的系统观察和分析,结合实验种群泌蜡观察比较分析可以看出,影响白蜡虫泌蜡的主要因素是湿度和光照,在白蜡虫产蜡区峨嵋、芷江等地泌蜡期相对湿度高于90%,年光照时数小于1600h,高湿度、低光照等不利环境因子刺激白蜡虫二龄雄幼虫泌蜡,但种群死亡率高,但对白蜡虫自然种群繁衍不利。在这种环境条件下,白蜡虫自然种群不能完成生活周期或基本能完成生活周期,但繁殖力低,在生产中缺乏生产价值。所以,长期以来,白蜡虫生产一直采用“高山产虫,低山产蜡”的两地生产方式。古人在长期的白蜡虫生产实践中,采用“高山产虫,低山产蜡”,是在利用低山地区高湿度,低光照环境刺激白蜡高产,从而形成了“高山产虫,低山产蜡”的两地生产方式。这种生产方式,实际上是白蜡虫在适生区域生长发育,繁衍后代,然后将白蜡虫转移到高湿度,低光照的不利环境环境中,刺激白蜡虫泌蜡量增加,获得较高的白蜡虫产量。所以,白蜡虫的适生区应该为传统的白蜡虫产虫区域,其主要生态指标为:年均温11~16℃,雨量800~1200mm/a,年相对湿度65%~75%,年光照时数为1900~2500h/a,在这个区域内少大风、暴雨的地区对白蜡虫生长更为有利。

References

- [1] Chavannes M A. Notice Sur deux Coccus cerifères du Bresil. *Annuel Société Entomologie* 1819 6(2): 139—145.
- [2] Sasak C. On the wax-producing coccid *Eriacus pella*. *Bulletin of College Empery University Tokyo* 1904 16 1—14.
- [3] Kuwana. The Chinese white wax scale. *Philippine Journal of Science* 1932, 22(4): 393—405
- [4] Wu C B, Wang Y D, Lin Y Z, Chen S. Comparative study on some utility characters of white wax scales produced in several different locations of Sichuan, China. *Zoological Research*, 1987, 8(3): 322—327.
- [5] Wu C B, Li Z X, Sun R G. Comparative studies on some economic characters of the white wax scale “seed” produced in several different regions provinces of Sichuan, Yunnan and Guizhou. *Journal of Sichuan University (natural science)*, 1988, 25(2): 231—235.
- [6] Wu C B, Zhu W, Ran JH. Discussion on seed insect and productive distribution of Chinese white wax scale. *Journal of Sichuan University (natural science)*, 1991, 28(3): 345—352.
- [7] Zhang ZY, Men SM. Observation on *Eriacus pella* chavannes in Shaanxi Province. *Kunhong Zhishi* 1982, 19(3): 34—36.
- [8] Zhang ZY, Men SM, Miao G Y, Tang Y N. Study on wax secretion of Chinese white wax scale (*Eriacus pella* Chavannes) in Shaanxi. *Zoological Research*, 1982, 3(2): 111—115.
- [9] Zhang ZY, Men SM, Ma JM, Ma HB, et al. Study on breeding white wax insect (*Eriacus pella* Chavannes) under different ecological conditions. *La Anima Mondo* 1985, 2(3-4): 227—232.
- [10] Zhang ZY. Comparative study on excreting wax time and excreted wax amount of white wax Scale *Eriacus pella*. *Kunhong Zhishi* 1990, 27(4): 230—231.
- [11] Zhang ZY, Qi S L, Zhang L Y. A study on reproductive capacity of *Eriacus pella* (Chavannes) under different ecological conditions. *Kunhong Zhishi* 1993, 30(5): 297—299.

- [12] Cen M ing, Ji H G, Lin F Y. Studies on the mortality of the white wax scales insect with relation to rainfall in Guangxi Forest Research, 1993 6 (2): 194—199.
- [13] Zhang C H, Liu H Q, Cai J, He Q Z, *et al*. Studies on ecological factors on wax secretion of white wax scales. Journal of Forestry University of Southwestem China, 1997, 17(3): 40—44
- [14] Chen X M, Chen Y, Zhou C H, Wang Z L, Ye S D, *et al*. Studies on wax secretion of Chinese white wax scale (*Ericerus pella* Chavannes) : The comparison on wax secretion of different geographic varieties. Forest Research, 1998, 11(1): 35—38
- [15] Chen Y, Chen X M, Wang Z L, Ye S D, *et al*. Studies on secreting wax of Chinese white wax scale. The Comparison of secreting wax on different Host Plants. Forest Research, 1998, 11(3): 285—288.
- [16] Beijing climate information center. 1951—1980 climate information of China. Beijing: Climate Press, 1984
- [17] Ke Z G. The distribution of *Ericerus pella* Chavannes and the analysis of ecological factors. Kundong Zhishi, 1981, 18(6): 257—259.
- [18] Wang F. The ecological adaptability of female and male population of white wax scale and its application in white wax production. Scientia Silvae Sinicae, 1963, 8(2) 17—175.
- [19] Wang F. The question on developing white wax production—discussion with M r W u C bing. La Anima Mondo, 1986, 3(2-3): 73—84
- [20] Wu C B. On the Ecoblogical Adaptability of the Chinese White Wax Scale (*Ericerus pella* Chavannes), Scientia Silvae Sinicae, 1980, 16(4): 296—301
- [21] Wu C B. On the ecoblogical adaptability of the Chinese white wax scale *Ericerus pella* chavannes. Journal of Sichuan University, 1980, 17(3): 175—181

参考文献

- [4] 吴次彬, 王一丁, 林一中, 陈三. 白蜡虫几个地方种虫经济性状比较研究. 动物学研究, 1987, 8(3): 322~ 327
- [5] 吴次彬, 李昭霞, 孙光荣, 川、滇、黔白蜡虫几个代表性种虫经济性状比较研究. 四川大学学报(自然科学版), 1988, 25(2): 231~ 235
- [6] 吴次彬, 朱伟, 冉江红. 对白蜡虫种虫和白蜡生产布局问题的探讨. 四川大学学报(自然科学版), 1991, 28(3): 345~ 352
- [7] 张子有, 邵孟明. 陕西白蜡虫考察. 昆虫知识, 1982, 19(3): 34~ 36
- [8] 张子有, 邵孟明, 苗光亚, 汤仰年. 陕西白蜡虫 (*Ericerus pella* Chavannes) 泌蜡量的研究. 动物学研究, 1982, 3(2): 111~ 115
- [9] 张子有, 邵孟明, 苗光亚, 马继明, 等. 不同生态环境下繁育白蜡虫 (*Ericerus pella* Chavannes) 研究. 动物世界, 1985, 2(3-4): 227~ 232
- [10] 张子有. 白蜡虫生活周期与产蜡量比较研究. 昆虫知识, 1990, 27(4): 230~ 231
- [11] 张子有, 齐胜利, 张良玉. 白蜡虫生活在不同生态环境下繁殖力观察研究. 昆虫知识, 1993, 30(5): 297~ 299.
- [12] 岑明, 计鸿贤, 林发源. 降雨量对广西白蜡虫死亡及其种虫、白蜡产量的影响. 林业科学研究, 1993, 6(2): 194~ 199.
- [13] 张长海, 刘化琴, 蔡静, 何剑中, 等. 生态因子对白蜡虫泌蜡关系研究. 西南林学院学报, 1997, 17(3): 40~ 44.
- [14] 陈晓鸣, 陈勇, 周朝鸿, 王自力, 等. 白蜡虫泌蜡研究. 不同地理种源泌蜡比较. 林业科学研究, 1998, 11(1): 35~ 38.
- [15] 陈勇, 陈晓鸣, 王自力, 叶寿德, 等. 白蜡虫泌蜡研究. 不同寄主植物上泌蜡比较. 林业科学研究, 1998, 11(3): 285~ 288
- [16] 北京气象中心资料室编. 1951~ 1980中国地面气候资料. 北京: 气象出版社, 1984.
- [17] 柯治国. 白蜡虫的分布与生态因子的分析. 昆虫知识, 1981, 18(6): 257~ 259
- [18] 王辅. 白蜡虫雌雄群体的生态适应性及其在生产上的应用. 林业科学, 1963, 8(2) 17~ 175
- [19] 王辅. 发展白蜡生产的途径问题——兼与吴次彬同志商榷. 动物世界, 1986, 3(2-3): 73~ 84
- [20] 吴次彬. 对“白蜡虫雌雄群体的生态适应性及其在生产上的应用”一文商榷. 林业科学, 1980, 16(4): 296~ 301
- [21] 吴次彬. 白蜡虫的生态适应性问题. 四川大学学报(自然科学版), 1980, 17(3): 175~ 181