

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2016.06.13

立地条件和人为干扰对杜仲梦尼夜蛾种群数量的影响

赵 阳^{1,2}, 朱景乐^{1,2}, 刘攀峰^{1,2}, 杜红岩^{1,2}, 李铁柱^{1,2}, 孙志强^{1,2*}

(1. 国家林业局泡桐研究开发中心, 郑州 450003; 2. 国家林业局杜仲工程技术研究中心, 郑州 450003)

摘要: 在河南省灵宝市两处种植模式和管理措施截然不同的杜仲种植基地, 以杜仲梦尼夜蛾为研究对象, 采用回归分析和 T 检验方法, 研究立地条件、林分特征和人为干扰因素对杜仲梦尼夜蛾种群数量的影响。结果表明: 在不同栽培和管理措施条件下, 影响杜仲梦尼夜蛾种群密度的主要因素是坡向和海拔高度, 虫口密度均随着坡向值的增加和海拔的增高而降低。人为干扰较少的庄科基地的林分郁闭度成为继坡向及海拔后影响虫口密度最重要的因素, 这一点是两种管理模式下的最大的区别。闫驮基地 7 月份的叶面积损失率与 5 月的差异不显著 ($F = 1.005$, $P = 0.317$), 但极显著低于同期庄科基地的叶面积损失率 ($F = 33.268$, $P < 0.001$), 表明闫驮基地采取的以抚育管理为主的生态调控措施在控制杜仲梦尼夜蛾种群密度方面取得了良好的效果。本研究结论可用于指导划分关键防控区域和以抚育管理为主的杜仲梦尼夜蛾生态调控技术的实施。

关键词: 杜仲梦尼夜蛾; 杜仲果园化栽培模式; 立地条件; 人为干扰; 叶面积损失率

中图分类号: Q968.1; S4368.1⁺5

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2016) 06-1170-08

Impact of site condition and anthropogenic disturbance on *Orthosia songi* Chen et Zhang population

ZHAO Yang^{1,2}, ZHU Jing-Le^{1,2}, LIU Pan-Feng^{1,2}, DU Hong-Yan^{1,2}, LI Tie-Zhu^{1,2}, SUN Zhi-Qiang^{1,2*}

(1. Paulownia R & D Center of China, Chinese Academy of Forestry, Zhengzhou 450003, China;

2. Eucommia Engineering Research Center of State Forestry Administration, Zhengzhou 450003, China)

Abstract: In order to better understand the effects of site conditions, stand features and anthropogenic disturbance on population distribution and dynamic of *Orthosia songi*, we carried out the studies in two *Eucommia ulmoides* plantation bases under different planting modes and management strategies located in Lingbao City, Henan, China. A regression analysis was applied for analyzing the relationship between *O. songi* larval density and site conditions and stand features in Eucommia orchard-system base in Yantuo and Eucommia plantation base in Zhuangke, respectively. A *t*-test was used to compare *O. songi* larval density in the same base and between the two bases investigated in May and in July, respectively. Results indicated that aspect value and elevation were consistently the most important predictor variable negatively correlated with larval density in the two bases. Canopy cover was the most important variables among stand features affecting larval density in Zhuangke base, which was different compared to Yantuo base. There was no significant difference of leaf area loss rate in Yantuo base between in July and in May ($F = 1.005$, $P = 0.317$), while the July's leaf area loss rate in Yantuo was statistically significant lower compared to that of the same time in Zhuangke base ($F = 33.268$, $P < 0.001$). It suggested the positive effect of ecological

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项项目 (201304406)

作者简介: 赵阳, 男, 1987 年生, 河南太康人, 研究方向为森林培育, E-mail: zhao5980@126.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: sun371@163.com

收稿日期 Received: 2016-05-20; 接受日期 Accepted: 2016-08-15

regulation approaches on controlling *O. songi* population density in Yantuo base. Our findings can be used to determine those key areas for *O. songi* monitoring and control as well as implementation of ecological regulation techniques based on tending measures.

Key words: *Orthosia songi*; *Eucommia ulmoides* Orchard – like system; site condition; anthropogenic disturbance; leaf area loss rate

杜仲 *Eucommia ulmoides* Oliv. 隶属杜仲科 Eucommiaceae 杜仲属 *Eucommia*, 是单科单属单种落叶乔木, 雌雄异株, 仅自然分布于中国。杜仲不但是名贵药材树种, 还是世界上除三叶橡胶(天然橡胶)之外具有巨大开发前景的优质天然胶源树种(李芳东等, 2001; Sun *et al.*, 2013)。目前, 对杜仲的开发已初步形成三级开发多次增值模式, 即对杜仲叶、果实进行一级开发提取药用成分、生产杜仲功能食品、饮品或加工杜仲功能饲料, 对提取后剩余的叶(果)渣进行二级开发生产杜仲胶, 二级开发后的废渣用于生产杜仲胶渣复合板、生物质有机肥等(杜红岩等, 2000, 2001, 2002; 严晓敏, 2008; 卢定强等, 2009)。

杜仲梦尼夜蛾 *Orthosia songi* Chen *et* Zhang 是典型的寡食性食叶害虫, 可对杜仲叶片和果实造成毁灭性危害, 严重威胁杜仲产业的健康发展(周云龙等, 1996; 孙志强等, 2011; 赵阳等, 2015)。寡食性食叶害虫的发生除了强烈依赖于寄主的林分特征以外, 人为干扰如化学及物理防治、抚育管理等措施, 以及立地条件也是影响其种群数量的重要因素(曾凡勇等, 2014)。例如, 昆嵛山鳃扁叶蜂 *Cephalcia kunyushanica* 的虫口密度与赤松 *Pinus densiflora* 林分的郁闭度、林分密度和林木胸径有着显著和极显著的相关关系, 同时, 和赤松分布的海拔高度也呈极显著相关关系, 但树高以及树龄对虫口密度影响不大(孙志强等, 2010; Sun *et al.*, 2015)。毛竹黑叶蜂 *Eutomostethus nigritus* Xiao 在毛竹纯林中发生危害较为严重, 而在竹杉、竹阔混交林中发生较轻, 在立竹量高、竹林结构合理、新竹多的林分发生较为严重。立地条件方面, 海拔高度影响显著, 如该虫在海拔高度 600 m 以下的竹林发生危害比较严重; 在阳坡发生危害重于阴坡, 中、下坡位的发生危害重于上坡(郑宏, 2012)。采用生态调控技术为主的措施防治杜仲梦尼夜蛾, 可为生产绿色杜仲产品

提供技术支撑。

早期对杜仲梦尼夜蛾的研究集中在其生物学习性方面(李建林等, 1994; 周政贤等, 1994)。近年来笔者先后观测了该害虫的取食量及其发育历期, 确认在河南, 杜仲梦尼夜蛾一年发生 4 代, 第 1 代幼虫出现在 4 月中旬, 越冬代幼虫 10 月上旬始入土化蛹, 世代重叠严重。与前期文献记载不同的是, 幼虫历期 8 龄, 为害期约为 20 d(赵阳等, 2015)。研究结果还表明, 杜仲梦尼夜蛾幼虫在林间呈均匀分布, 且这种空间分布型是由环境因素引起的(赵阳等, 2014; 赵阳, 2015)。而截至目前, 尚未见有关立地条件、林分特征和人为因素对该虫种群数量影响的研究报道。为此, 笔者于 2014 年在河南省灵宝市的两处杜仲种植基地开展了相关研究。

1 研究方法

1.1 试验基地概况及样地设置

试验基地设在河南省灵宝市杜仲种植基地, 包括朱阳镇的闫驮基地(110°39′37″E, 34°16′18″N)和庄科乡的庄科基地(110°37′23.4″E, 34°22′15.1″N), 两地相距 25 km。试验基地为暖温带大陆性半湿润季风气候, 年平均温度 13.8℃, 年平均降水量 641.8 mm。闫驮基地最高海拔 1072 m, 庄科基地最高海拔 1652 m。土壤以砂壤质地的褐土为主, 结构疏松, 层次分明。土壤 pH 7.8–8.8, 呈弱碱性。闫驮基地和庄科基地的基本情况见表 1。近年来, 杜仲梦尼夜蛾在上述杜仲基地持续大发生, 其种植模式和管理措施的差异, 为开展立地条件和人为干扰如何影响该害虫种群数量的分布与变化提供了理想的场所。2013 年 3 月, 在闫驮和庄科分别布设了 30 块和 10 块标准样地。每个标准样地面积 30 m × 30 m, 样地保护带宽度 20 m。

表 1 闫驮基地和庄科基地基本信息

Table 1 General information of Yantuo base and Zhuangke base

基地 Base	闫驮基地 Yantuo base	庄科基地 Zhuangke base
建设时间 Time to build	1996 年造林, 1998 年进行矮化嫁接	1994 年开始造林建设
总面积 Total area	1000 hm ²	800 hm ²
栽植密度 Planting density	450 株/hm ² – 1100 株/hm ²	1500 株/hm ² – 4450 株/hm ²
经营目的 Management objectives	采集杜仲叶片、果实和雄花供深加工	收获杜仲树皮
人为干扰 Anthropogenic disturbance	除草、施肥、修枝、害虫的物理及化学防治	较少

1.2 立地条件与林分特征数据收集

样地用手持 GPS (集思宝 G120BD) 定位, 并记录海拔高度。分别采用坡度仪 (FD 200 型)、罗盘 (DQY-1) 测定样地的坡度和坡向, 采用张国正等 (1987) 坡地土壤图厚度测定方法测定土层厚度, 并确定样地所处的坡位 (上、中、下)。庄科基地的样地信息参见表 2, 闫驮基地的样地信息见表 3。在上述样地中对胸径 ≥ 5 cm 的杜仲个体按顺序标号, 确定林分密度后, 逐株测量树高、胸径、基径、枝下高等指标, 并评估树木长势。根据样地的地形地貌特点及林分疏密程度, 分别采取对角线法或折线法或采用 CI-410 冠层数字成像仪 (CID Inc., Vancouver, Washington State USA) 测定林分郁闭度。

1.3 虫口密度和叶面积损失率调查

叶面积损失率可以直观反映出虫口密度及其

危害后果 (Schuldt *et al.*, 2010), 同时, 通过在害虫不同发生时期开展调查, 也能够评估人为干扰后对害虫种群数量的影响。闫驮基地每年 5 月 – 7 月开始开展为期 3 个月的害虫防治, 为此, 我们分别于 2014 年 5 月初和 7 月底在上述基地开展了两次调查, 以评估人为干扰对杜仲梦尼夜蛾种群数量的影响及其危害后果。具体方法如下: 在每块样地随机选取 5 株, 针对每株样株, 按照东、南、西、北四个方向, 每个方向按上、中、下分 3 层各随机选取 1 枝 1 年生枝条作为样枝, 每样枝剪取长度为 30 – 40 cm, 分别统计不同方位样枝上的幼虫以及叶片数量, 估测每片叶被取食占叶面积的比率, 最后换算为百叶虫口密度 (头/百叶) 和叶面积损失率 (%), 作为评价害虫发生状况的指标。

表 2 庄科杜仲基地标准样地信息

Table 2 Distribution and details of *Eucommia ulmoides* Oliver plots in Zhuangke base

样地号 Plot	海拔 (m) Elevation	坡向 Slop direction	坡位 Slop	坡度 (°) Gradient	土层厚度 (cm) Soil thickness	郁闭度 Canopy cover	林分密度 (株/hm ²) Stand density
1	1531	东偏南 10°	上	25	35	0.7	2667
2	1524	南偏西 20°	上	20	50	0.9	2500
3	1454	东偏南 30°	中	25	50	0.8	2000
4	1322	西偏南 30°	上	10	100	0.8	4445
5	1291	西偏南 45°	上	30	70	0.75	1667
6	1374	东偏南 30°	中	12	80	0.7	2500
7	1304	南	下	30	50	0.95	4445
8	1296	东	下	15	80	0.6	2500
9	1240	南偏西 10°	下	0	100	0.5	2500
10	1237	南偏西 20°	下	12	100	0.75	2500

表 3 闫驮杜仲基地标准样地信息
Table 3 Distribution and details of *Eucommia ulmoides* Oliver plots in Yantuo base

样地号 Plot	海拔 (m) Elevation	坡向 Slop direction	坡位 Slop	坡度 (°) Gradient	土层厚度 (cm) Soil thickness	郁闭度 Canopy cover	林分密度 (株/hm ²) Stand density
1	967	东偏南 10°	上坡	15	80	0.3	720
2	1030	西偏北 25°	上坡	15	40	0.4	1080
3	994	东偏南 30°	下坡	17	100	0.4	960
4	986	东南	上坡	10	100	0.2	960
5	988	东	上坡	18	100	0.2	900
6	956	西偏南 25°	上坡	25	45	0.1	960
7	1016	西偏南 30°	中坡	5	70	0.2	960
8	1072	东偏南 35°	上坡	30	50	0.6	1080
9	1072	西偏北 30°	上坡	31	50	0.6	1080
10	975	东北	中坡	12	50	0.2	540
11	1036	西偏北 10°	中坡	19	50	0.4	1080
12	1035	西偏北 30°	中坡	30	100	0.5	840
13	986	东偏北 10°	上坡	10	80	0.6	1080
14	955	北偏东 30°	下坡	10	80	0.2	1080
15	893	北偏东	下坡	10	50	0.1	540
16	970	北偏东°	下坡	15	100	0.2	540
17	993	西	中坡	30	100	0.1	450
18	1013	东	中坡	25	80	0.3	540
19	990	北偏东 30°	上坡	30	80	0.3	720
20	993	东偏南 25°	上坡	25	80	0.1	1080
21	854	南偏西 20°	下坡	5	70	0.3	960
22	864	南偏东 40°	中坡	15	80	0.3	960
23	860	西南	上坡	12	40	0.5	840
24	823	西南	中坡	10	40	0.4	960
25	824	南	上坡	15	50	0.5	960
26	960	西	中坡	20	100	0.8	1080
27	963	北	上坡	15	40	0.6	1080
28	897	北偏西 30°	中坡	15	100	0.6	540
29	1011	东北	上坡	15	40	0.3	1080
30	915	西偏南 30°	中坡	18	40	0.3	840

1.4 数据处理

土层厚度、海拔、坡度、郁闭度、树高、基径采用实测值。树势按照强、中、弱划分等级,分别由 1、2、3 表示。坡位按上、中、下划分等级分别由 1、2、3 表示。坡向以正北为 0°,采用顺时针方向,将 0 – 360°的方位角通过公式 $Asp = [1 - \cos (2\pi (Aspect - 30^\circ) / 360^\circ)]$ 转换成坡向值 (Asp),坡向值由小到大表示生境越来越干热。以百叶虫口密度作

为因变量,以立地条件 (土层厚度、海拔、坡度、坡位、坡向)、林分因子 (树高、基径、树势、郁闭度) 作为解释变量,采用 R 3.1.1 软件 random Forest 包进行回归分析 (朱彦鹏等,2013),解析立地条件和林分特征对杜仲梦尼夜蛾幼虫种群数量的影响。采用 *t* 检验分别各自和相互比较闫驮基地和庄科基地 5 月和 7 月调查的叶面积损失率的差异,解析人为干扰因素对种群数量变化的影响。

2 结果与分析

2.1 立地条件和林分特征对杜仲梦尼夜蛾种群数量的影响

采用 randomForest 对杜仲梦尼夜蛾幼虫百叶虫口密度和立地条件及林分特征进行回归分析, 得到各环境因子对幼虫虫口密度的重要值 (如图 1)。可以看出, 虽然两个基地的种植模式不同, 但在所有因素中, 对虫口密度影响最大的均为坡向, 其次均是海拔。除坡向和海拔之外的因素重要值排序中, 两地出现了较大的差异。其中, 闫驮基地其它因素对虫口密度的重要值排序为: 坡位、坡度、林分密度、土层厚度、郁闭度、基径和树

高, 树势对虫口密度没有任何影响。由此可以看出, 闫驮基地的立地条件无疑是影响虫口密度最重要的因素。林分特征中林分密度对虫口数量起到了较为重要的影响, 其他因素如郁闭度、树高和基径影响较弱 (图 1A)。而在庄科基地, 其他因素的重要值排序为: 郁闭度、坡位、土层厚度、坡度、林分密度、树势、基径和树高 (图 1B)。该基地林分郁闭度成为继坡向及海拔后对虫口密度影响最大的因素, 而且树势也对虫口密度起到相应的影响, 这两点是闫驮基地和庄科基地在两种管理模式影响杜仲梦尼夜蛾种群数量的因素筛选中呈现出的不同。这表明在无人干扰条件下的庄科基地, 杜仲梦尼夜蛾可能对寄主具有一定的选择性。

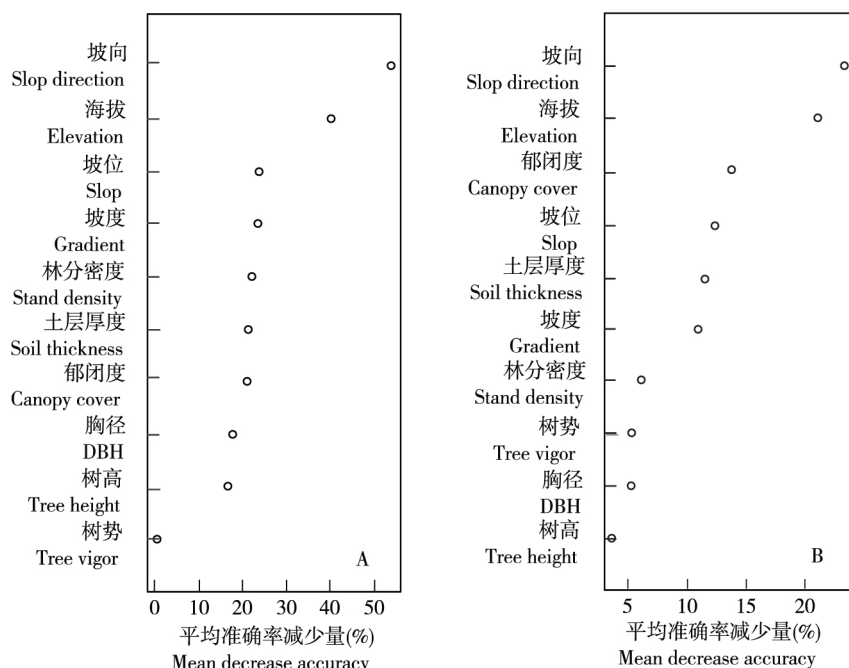


图 1 杜仲梦尼夜蛾虫口密度解释变量重要值排序

Fig. 1 Variable importance for predictor variables from RF regression used for larval density of *Orthosia songi*

A, 闫驮基地; B, 庄科基地。下同。A, Yantuo base; B, Zhuangke base. The same below.

偏依赖分析结果显示, 两个基地的虫口密度均随坡向值的增加而减少, 而且, 其变化幅度也最大, 一方面再次说明了坡向是虫口密度最重要的解释变量, 另一方面也表明相对于干热的环境而言, 幼虫更喜欢阴冷潮湿的环境。同样, 两个基地的虫口密度均随着随海拔高度的增加而减少。虫口密度随其他的环境条件和林分因子变化不明显, 说明这些因子对种群数量的解释作用较小 (如图 2)。

2.2 叶面积损失率差异的比较

调查结果显示, 5 月闫驮基地的叶面积损失率 ($5.63\% \pm 2.82\%$) 显著低于 ($F = 4.667, P = 0.032$) 庄科基地 ($6.01\% \pm 3.71\%$) (图 3)。闫驮基地 5 月和 7 月的叶面积损失率 ($3.97\% \pm 2.58\%$), 差异不显著 ($F = 1.005, P = 0.317$)。7 月, 闫驮基地的叶面积损失率极显著低于庄科基地 7 月的叶面积损失率 ($11.93\% \pm 6.61\%$) ($F = 33.268, P < 0.001$)。庄科基地 7 月的叶面积损失率较 5 月有极显著增加 ($F = 10.143, P = 0.002$)。

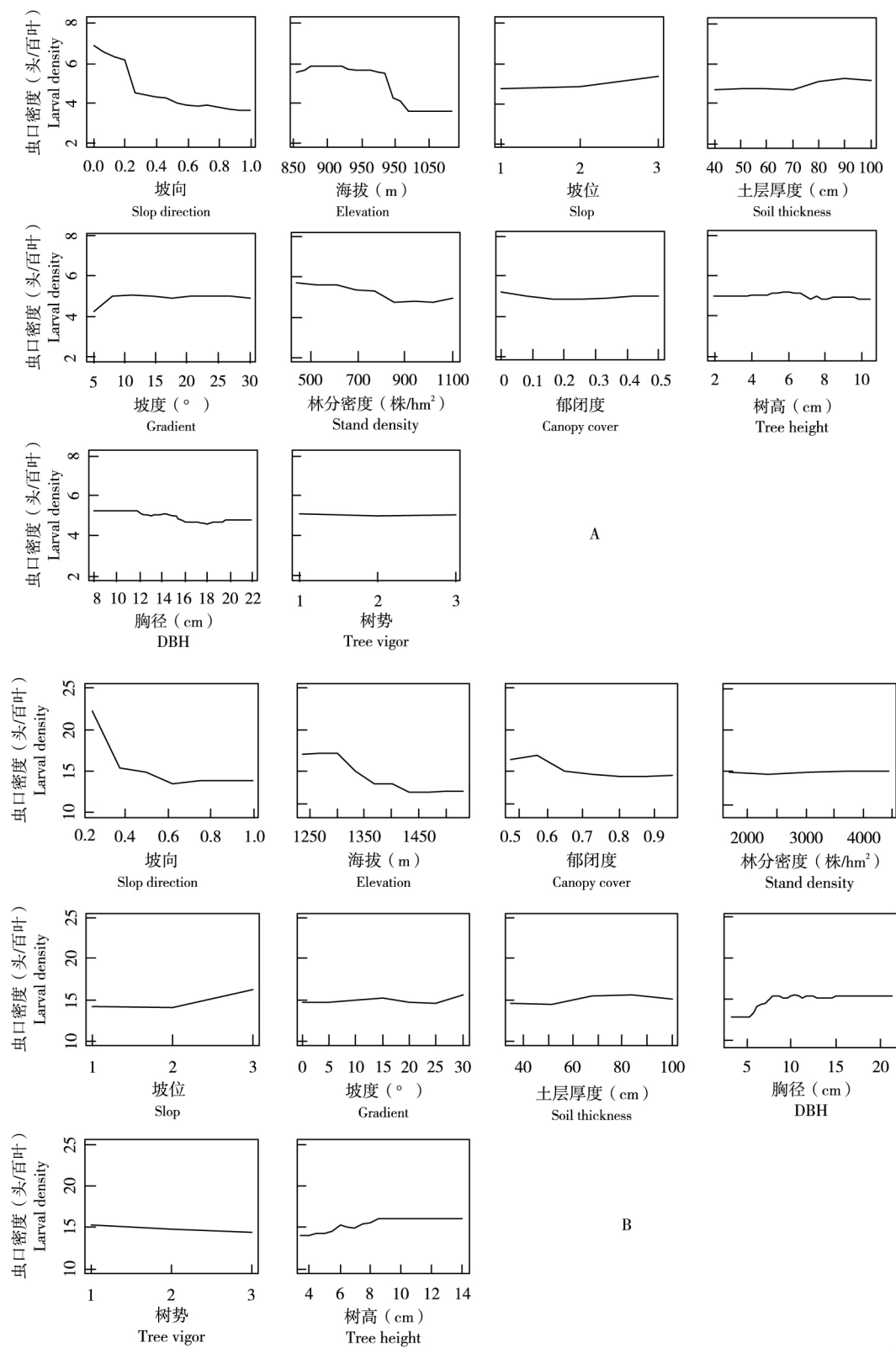


图 2 杜仲梦尼夜蛾虫口密度解释变量依赖性分析

Fig. 2 Partial dependence for selected predictor variables for RF predictions larval density of *Orthosia songi*

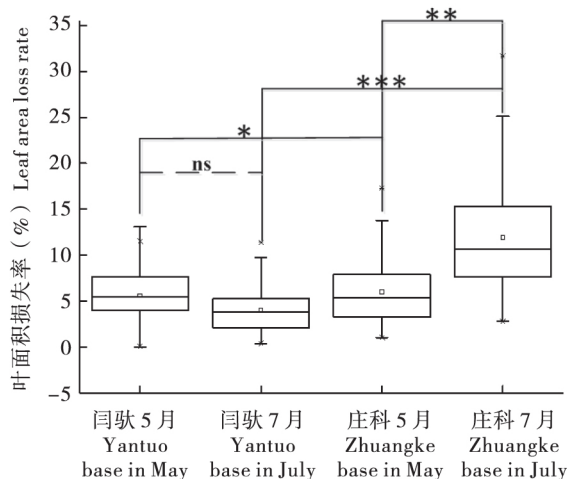


图3 闫驮和庄科两个基地5月和7月的叶面积损失率比较

Fig. 3 Comparison of leaf area loss rate in Yantuo base and Zhuangke base in May and July

注: ns, 不显著; *, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$; ***, $P < 0.001$ 。Note: ns, not significant; *, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$; ***, $P < 0.001$ 。

3 结论与讨论

尽管采用不同的栽培和管理模式, 闫驮基地和庄科基地中影响杜仲梦尼夜蛾虫口密度最主要的因素是立地条件中的坡向值和海拔高度, 且均随着坡向值和海拔的增高而降低。据此可以推测, 潮湿阴冷的环境中幼虫虫口密度比较高。庄科基地由于人为干扰较少, 立地条件和林分特征对杜仲梦尼夜蛾虫口密度的分布的解释更接近于自然状况, 如林分郁闭度成为继坡向及海拔后影响虫口密度最重要的因素, 这一点是两种管理模式下的最大的区别。在闫驮基地, 立地条件中的坡向、海拔、坡位和坡度是影响杜仲梦尼夜蛾的最主要的因素, 林分特征中的林分密度和郁闭度的影响较小。主要原因极可能在于, 该地采取的是人工防治, 防治区域集中在那些交通便利、地势平坦的区域, 有些沟谷和坡度较大的区域常常漏防, 因此, 造成了坡位和坡度也成为影响虫口密度分布的重要因素。

通过对当年5月份和7月份两个基地杜仲平均叶面积损失率的调查可以明显看出, 在庄科基地, 两个时期的叶面积损失率差异极显著(图3), 而闫驮基地7月份的叶面积损失率与5月份的差异不

显著, 表明闫驮基地采取以抚育管理为主的生态调控措施控制杜仲梦尼夜蛾取得了良好的效果。

本研究对制定杜仲梦尼夜蛾防治策略和实施防治措施具有重要的启发: 一是用于指导划分关键防控区域, 如可在阴坡、沟底、高密度林分中设立监测点利用测报灯对成虫开展监测, 对成虫密度高的地区进行重点防治; 二是用于指导以抚育管理为主的害虫生态调控技术的实施。在上述地点开展越冬代虫口监测, 主要是土壤中幼虫数量的调查, 对虫口密度高的地点采用冬季除草、深翻土壤进行物理防治(李建林等, 1994), 降低来年第一代虫口数量。

参考文献 (References)

- Du HY, Ge Z, Lu XK. The development tendency of the industrialization and culture techniques of *Eucommia ulmoides* in China [J]. *Forest Research*, 2000, 13 (5): 554–561. [杜红岩, 戈赵, 卢绪奎. 论我国杜仲产业化与培育技术的发展 [J]. *林业科学研究*, 2000, 13 (5): 554–561]
- Du HY, Li FD, Du LY. *Eucommia ulmoides* male flower tea and its processing technic [P]. Chinese Patent, 98117579.1. 2001. [杜红岩, 李芳东, 杜兰英. 杜仲雄花茶及其加工方法 [P]. 中国发明专利, 98117579.1. 2001]
- Du HY, Li FD, Du LY. A method of cultivation to improve *Eucommia ulmoides* fruit and rubber yield [P]. Chinese Patent, 98123324.4. 2002. [杜红岩, 李芳东, 杜兰英. 一种提高杜仲产果量和产胶量的培育方法 [P]. 中国发明专利, 98123324.4. 2002]
- Lu DQ, Zhao H, Wang J, et al. Development of *Eucommia*-based biorefinement [J]. *Modern Chemical Industry*, 2009, 29 (3): 12–17. [卢定强, 赵辉, 王俊, 等. 基于杜仲的全生物炼制研究进展 [J]. *现代化工*, 2009, 29 (3): 12–17]
- Li FD, Du HY. *Eucommia ulmoides* Oliver [M]. Beijing: China Press of Traditional Chinese Medicine, 2001: 232–256. [李芳东, 杜红岩. 杜仲 [M]. 北京: 中国中医药出版社, 2001: 232–256]
- Li JL, Lv YC, Yang SB, et al. Preliminary study on biological characteristics of *Noctuiganus ulmoides* sp. [J]. *Journal of Northwest Forestry College*, 1994, 9 (4): 64–66. [李建林, 吕永材, 杨森保, 等. 杜仲夜蛾的生物学特性初探 [J]. *西北林学院学报*, 1994, 9 (4): 64–66]
- Schuldt A, Baruffol M, Bhnke M, et al. Tree diversity promotes insect herbivory in subtropical forests of south-east China [J]. *Journal of Ecology*, 2010, 98 (4): 917–926.
- Sun ZQ, Zhang XY, Lin L, et al. Impact of the stand characteristics of *Pinus densiflora* pure forests on the infestations of *Cephalcia kunyushanica* in Kunyushan region [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30 (4): 857–866. [孙志强, 张星耀, 林琳, 等. 赤松纯林分特征对崑崙山鳃扁叶蜂发生量的影响 [J]. *生态学报*, 2010, 30 (4): 857–866]

- Sun ZQ, Li FD, Du HY. Potential diseases and insect pests disasters and control strategy of intensive cultivation in *Eucommia ulmoides* [J]. *Nonwood Forest Research*, 2011, 29 (4): 70–76. [孙志强, 李芳东, 杜红岩. 杜仲集约化栽培潜在的病虫害灾害及其应对策略 [J]. 经济林研究, 2011, 29 (4): 70–76]
- Sun ZQ, Li FD, Du HY, et al. A novel silvicultural model for increasing biopolymer production from *Eucommia ulmoides* Oliver trees [J]. *Industrial Crops & Products*, 2013, 42: 216–222.
- Sun ZQ, Liang J, Zhang XY. Patterns of Kunyushanweb-spinning sawfly occurrence in four types of Japanese Red Pine Forest stands: Implications for ecological control of a specialist herbivore [J]. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 2015, 25 (2): 305–316.
- Wang CN, Xiong WW. Ecological cultivation technology of *Eucommia ulmoides* [J]. *Nonwood Forest Research*, 1995, 15 (1): 91–94. [王承南, 熊微微. 杜仲生态栽培技术 [J]. 经济林研究, 1995, 15 (1): 91–94]
- Yan XM, Yan XY. Method to extract seed oil and rubber from *Eucommia ulmoides* male flower, fruit and leaf yield [P]. Chinese Patent, 200810000161.5. [严晓敏, 严晓焰. 一种从杜仲种子中提取种子油及杜仲胶的方法 [P]. 中国发明专利, 200810000161.5]
- Zeng FY, Sun ZQ. Mechanism, hypothesis and evidence of herbivorous insect–host interactions in forest ecosystem [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34 (5): 1061–1071. [曾凡勇, 孙志强. 森林生态系统中植食性昆虫与寄主的互作机制、假说与证据 [J]. 生态学报, 2014, 34 (5): 1061–1071]
- Zhang GZ, Huang CC. Suggestion of soil thickness determination on sloping fields [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1987, 5: 222. [张国政, 黄春昌. 坡地土壤土层厚度测定方法建议 [J]. 土壤通报, 1987, 5: 222]
- Zheng H. Studies on the relationship between the occurrence of *Eutomostethus nigratus* Xiao and the environmental factors [J]. *Biological Disaster Science*, 2012, 35 (3): 286–289. [郑宏. 毛竹黑叶蜂的发生与环境因子关系的研究 [J]. 生物灾害科学, 2012, 35 (3): 286–289]
- Zhao Y, Zhu JL, Li FD, et al. Spatial distribution pattern and sampling technique of *Orthosia songi* larvae [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2014, 36 (4): 629–634. [赵阳, 朱景乐, 李芳东, 等. 杜仲梦尼夜蛾幼虫的空间分布型及抽样技术 [J]. 环境昆虫学报, 2014, 36 (4): 629–634]
- Zhao Y, Zhu JL, Li FD, et al. Developmental duration and feeding behavior of *Orthosia songi* [J]. *Plant Protection*, 2015, 41 (2): 75–79. [赵阳, 朱景乐, 李芳东, 等. 杜仲梦尼夜蛾发育历期及取食行为研究 [J]. 植物保护, 2015, 41 (2): 75–79]
- Zhao Y. Study on Population Dynamic and Control Technique of *Orthosia songi* Chen et Zhang [D]. The Chinese Academy of Forest Master's Thesis, 2015. [赵阳. 杜仲梦尼夜蛾的发生规律及防治技术研究 [D]. 中国林业科学研究院硕士论文, 2015]
- Zhou YL, Zhang ST, Liu XY, et al. Studies on biological characteristics of *Orthosia songi* and control measures [J]. *Journal of Northwest Forestry College*, 1996, 11 (2): 64–68. [周云龙, 张声堂, 刘湘银, 等. 杜仲梦尼夜蛾生物学特性及防治研究 [J]. 西北林学院学报, 1996, 11 (2): 64–68]
- Zhu YP, Liang J, Sun ZQ, et al. Tree species composition determines associational resistance or associational susceptibility: A case of *Cephalcia kunyushanica* [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, 32 (4): 938–945. [朱彦鹏, 梁军, 孙志强, 等. 树种组成决定联合抗性或易感性: 以昆崙山腮扁叶蜂发生为例 [J]. 生态学报, 2013, 32 (4): 938–945]
- Zhou ZX, Xie SX. Studies on the biomass and productivity of *Eucommia ulmoides* plantation [J]. *Forest Research*, 1994, 7 (6): 646–651. [周政贤, 谢双喜. 杜仲人工林生物量及生产力研究 [J]. 林业科学研究, 1994, 7 (6): 646–651]