

多树种合理配置抗御光肩星天牛灾害控灾阈值的研究

温俊宝¹ 吴斌¹ 骆有庆¹ 许志春¹ 曹川健² 田桂芳³

(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 ² 宁夏森林病虫害防治检疫总站 ³ 宁夏吴忠市园林局)

摘要:为了明确多树种合理配置抗御天牛灾害措施的可行性,首次提出了控灾阈值的概念。在宁夏引黄灌区选择对不同诱饵树配置、不同树龄的样地35块进行调查,并对15株平均标准木进行树干解析,建立虫口模型及其材积损失模型,结合综合效益评价结果并根据目前市场木材收购标准,确定了光肩星天牛控灾阈值模型。结果表明:诱饵树比例应控制在[7.093%, 25%]的区间内,同时可以根据对不同树种的不同要求计算出适宜的控灾阈值,体现了控灾阈值的动态性、灵活性。

关键词:多树种配置, 光肩星天牛, 灾害, 控灾阈值

中图分类号:S763.38 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-1522(2006)03-0123-05

WEN Jun-bao¹; WU Bin¹; LUO You-qing¹; XU Zhi-chun¹; CAO Chuan-jian²; TIAN Gui-fang³. **Disaster-resistant threshold to *Anoplophora glabripennis* by reasonable allocation of varied tree species.** *Journal of Beijing Forestry University* (2006)28(3) 123-127 [Ch, 8 ref.]

¹ Key Laboratory for Silviculture and Conservation, Ministry of Education, Beijing Forestry University, 100083, P. R. China;

² Ningxia General Station of Control and Quarantine of Forest Pest, Yinchuan, 750004, P. R. China;

³ Garden Administration of Wuzhong City, Ningxia, 751100, P. R. China.

In order to figure out the feasibility of resisting *Anoplophora glabripennis* by different tree species allocation, this paper brought forward the concept of disaster-resistant threshold for the first time. Thirty-five sample sites with different bait tree species and diverse tree ages were chosen in Ningxia Irrigating Area diverted water from the Yellow River for investigation, and 15 average standard trees were selected for stem analysis to establish population model and timber loss model. Disaster-resistant threshold model was confirmed by combining with integrated benefit evaluation results and current lumber purchase standards. Results show that rational proportion of bait trees should be 7.093%—25%, and proper disaster-resistant threshold can be computed according to different requirements for tree species, which reveals the dynamics and flexibility of disaster-resistant threshold.

Key words allocation of different tree species, *Anoplophora glabripennis*, disaster, disaster-resistant threshold

光肩星天牛(*Anoplophora glabripennis*)严重影响着杨树(*Populus* sp.)的生长和材质,给我国以杨树为主的防护林体系建设带来了巨大的损失,研究有效的防治措施,确定科学合理的防治指标迫在眉捷。本文旨在从多树种合理配置抗御光肩星天牛灾害的角度出发,根据不同树种配置比例天牛对杨树生长影响、虫口的变化进行研究,从而找出抗御光肩星天牛合理的树种配置比例。

1 控灾阈值概念的提出

多树种合理配置是抗御防护林光肩星天牛灾害生态调控技术的主导措施^[1],其中,造林时目标树种——新疆杨(*Populus alba* var. *pyramidalis*)与诱饵树——合作杨(*Populus* × *xiaoxhuanica* cv. 'Opera')的适当比例是体现多树种配置措施是否“合理”的关键。只要诱饵树比例配置合理,在一个轮伐期内光肩

收稿日期:2005-02-20

http://journal.bjfu.edu.cn

基金项目:“十五”国家科技攻关项目(2001BA509B10)。

第一作者:温俊宝,副教授。主要研究方向:森林害虫生态调控、森林有害生物风险分析。电话:010-62337716 Email:wenjb@bjfu.edu.cn 地址:100083 北京林业大学 113 信箱。

责任作者:骆有庆,教授,博士生导师。主要研究方向:森林害虫生态调控。电话:010-62337716 Email:yqluo@bjfu.edu.cn 地址:同上。

星天牛的种群密度被控制在诱饵树的诱集范围内,就可以期望实现光肩星天牛有虫不成灾,保证整个防护林持续发挥其综合效益.换言之,适宜的诱饵树比例就是防护林光肩星天牛灾害控制的一个阈值.

为了更好地探讨“多树种合理配置”,确定造林阶段目标树种与诱饵树的适当比例,本文结合对以往天牛阈值问题的分析与研究^[2-8],提出控灾阈值(Withstanding Disaster Threshold, WDT)的概念为:“在防护林中,在采取控制某种生物灾害的主导措施时,将这种(类)措施量化为某个指标,在一定范围内调控这个指标,就可以有效地调控有害生物的种群密度,使其在一定时间(一般为一个轮伐期)内不成灾,以维持整个防护林生态系统的稳定性,并使防护林综合效益达到最佳,这一指标就是控灾阈值.”如果指标过高或过低,都会影响防护林综合效益的发挥,破坏生态系统的平衡,甚至使系统崩溃.

控灾阈值的主要特点为:①有一定的约束条件.有害生物的种类、防护林的树种配置情况、轮伐期的长短、立地条件等都会影响控灾阈值的确定.即使是同一种有害生物,在不同立地条件、不同的树种配置情况下,控灾阈值往往是不同的.②综合考虑了防护林抗御生物灾害的效果及其经济、生态、社会等综合效益,比以往阈值反映的效益指标更全面.③控灾阈值具有动态性和灵活性.有害生物对树木生长状况的影响会随时间的推移而发生变化,控灾阈值也会产生波动.随着人们对防护林经营目的的变化,根据控灾阈值可以调整树木的轮伐期,从而获得更大的效益.同时,通过控灾阈值还可以预测一定时期后(通常为一个轮伐期)树木的生长状况.控灾阈值的预测在形式上更加灵活,预测的时间跨度更大.

本文针对宁夏引黄灌区光肩星天牛危害状况,建立多树种合理配置抗御光肩星天牛灾害的控灾阈值模型.

2 研究方法

2.1 建立虫口模型

采取以空间序列代替时间序列的方法,在宁夏引黄灌区选取立地条件基本一致的样地 35 块,树龄为 3、5、8 年,诱饵树比例分别为 0、5%、8%、13%、20%、25%、50%,进行每木调查测量其树高、胸径及天牛危害情况(刻槽数、排粪孔数、羽化孔数、成虫数),得出不同诱饵树比例与各因素之间的相关关系,并建立虫口模型.

2.2 建立相关关系方程

在宁夏引黄灌区,选出配置诱饵树比例分别为 0、5%、13%、20%、50%的 8 年生新疆杨平均标准木

各 3 株,进行树干解析.采用中央断面区分法,区分段为 1 m,区分段处各取一个圆盘,最后一段不足 1 m 为梢头,各圆盘的径向生长是量测东西和南北向生长的平均值,计算其树龄、树高、年高生长量、胸径生长量、天牛危害状况,其中材积计算是由各分区段材积累加得出.从而与健康新疆杨(完全不受天牛危害的新疆杨)比较,得出不同诱饵树比例对新疆杨胸径生长、高生长、材积生长的影响.求出不同诱饵树比例与新疆杨材积损失率的关系方程.

2.3 确定控灾阈值模型

根据目前市场木材收购标准、当地用材规格及综合效益评价结果,建立相关方程,进一步找出合理的诱饵树比例,确定控灾阈值模型.

3 结果与分析

3.1 目标树——新疆杨虫口模型

3.1.1 调查因子的相关性分析

将各个调查因子进行相关性分析,根据各因子与诱饵树比例的相关系数确定相关关系的显著性程度,见表 1.

表 1 不同诱饵树比例与目标树(新疆杨)各调查因子相关性分析结果

TABLE 1 Correlation analysis on factors of target trees in different proportion of bait trees

诱饵树比例	树高	胸径	树龄	刻槽数	排粪孔数	羽化孔数	成虫数
X	H ₁	D ₁	T ₁	I ₁	F ₁	H ₁	A ₁
X	1.000	-0.004	0.419*	0.163	-0.460*	-0.511**	-0.530**

注: * 表示在 0.05 水平上相关性显著, ** 表示在 0.01 水平上相关性显著(表 2 同此).

用统计软件分析得出:诱饵树配置比例(X)与新疆杨胸径(D₁)、天牛刻槽数(I₁)相关性显著,与新疆杨上天牛排粪孔数(F₁)、羽化孔数(H₁)相关性极显著,与新疆杨成虫数(A₁)无相关性.

3.1.2 新疆杨虫口主成分分析

根据诱饵树比例与各调查因子相关分析结果,建立一个新的虫口密度(N₁)指标,综合考虑刻槽数、排粪孔数、羽化孔数 3 项指标.即对新疆杨上天牛刻槽数(I₁)、排粪孔数(F₁)、羽化孔数(H₁)作主成分分析,从而以虫口密度(N₁)来表示,分析得出:

$$N_1 = 0.987I_1 + 0.979F_1 + 0.968H_1 \quad (1)$$

3.1.3 虫口密度(N₁)与其他因子建立虫口模型

经过软件分析建立多元线性回归模型,得出:
$$N_1 = -1.911 - 1.423X + 3.177H_1 + 3.034D_1 - 1.467T_1 \quad (2)$$

 $R=0.774$, $R^2=0.599$, $Adj R^2=0.523$,说明回归效果一般.

方差分析结果表明:统计量 $F=7.850$, 相伴概率值 $P<0.001$, 说明多个自变量因子与因变量目标树虫口密度之间存在线性回归关系.

3.2 诱饵树——合作杨虫口模型

3.2.1 调查因子的相关性分析

经过统计软件分析得出:诱饵树配置比例(X)与树龄(T_2)、诱饵树树高(H_2)、胸径(D_2)、刻槽数(I_2)、排粪孔数(F_2)、羽化孔数(H_2)相关性极显著,与诱饵树成虫数(A_2)无相关性.

表 2 不同诱饵树比例与诱饵树各调查因子相关性分析结果

TABLE 2 Correlation analysis on factors of bait trees in different proportion							
X	H_2	D_2	T_2	I_2	F_2	H_2	A_2
X	1.000	0.721**	0.648**	0.736**	0.867**	0.925**	0.892**
H_2		1.000	0.736**	0.867**	0.925**	0.892**	0.000
D_2			1.000	0.867**	0.925**	0.892**	0.000
T_2				1.000	0.925**	0.892**	0.000
I_2					1.000	0.892**	0.000
F_2						1.000	0.000
H_2							1.000
A_2							

3.2.2 合作杨虫口主成分分析

用 N_2 来表示诱饵树的虫口密度, 经过对诱饵树上天牛刻槽数(I_2)、排粪孔数(F_2)、羽化孔数(H_2)作主成分分析得:

$$N_2 = 0.984I_2 + 0.994F_2 + 0.993H_2 \quad (3)$$

3.2.3 虫口密度(N_2)与其他因子建立虫口模型

经过软件分析得出:虫口密度(N_2)与诱饵树比例(X)、树龄(T_2)、胸径(D_2)、树高(H_2)相关性极显著. 建立多元线性回归模型, 得:

$$N_2 = -62.5 + 2.271X + 4.548T_2 + 9.443H_2 + 1.534D_2 \quad (4)$$

$R=0.949$, $R^2=0.901$, $Adj R^2=0.868$, 说明回归效果显著.

方差分析结果表明:统计量 $F=27.260$, 相伴概率值 $P<0.001$, 说明多个自变量因子与因变量诱饵树虫口密度之间存在线性回归关系.

3.3 不同诱饵树比例对目标树生长的影响

不同比例的诱饵树随着时间的推移, 其诱集光肩星天牛的能力也有所不同, 也就是说对新疆杨的保护能力存在差异, 表现在新疆杨的生长状况与健康树的差别. 根据调查结果, 分别对不同诱饵树比例的新疆杨的胸径、树高、材积与健康木进行比较.

3.3.1 不同诱饵树比例对新疆杨胸径生长的影响

通过树干解析, 计算各年的胸径生长量(D'), 与健康新疆杨比较, 求出各年的胸径生长损失率(Y)(见图 1).

从图 1 可看出, 相同诱饵树比例随着树龄增加, 新疆杨胸径损失率逐渐增加, 但当诱饵树比例达到 13% 时, 胸径生长损失在第 6 年以后出现下降的趋势, 诱饵树比例在 20% 以上时, 下降趋势更为明显. 同一树龄新疆杨的胸径损失率随着诱饵树比例的增加而减少.

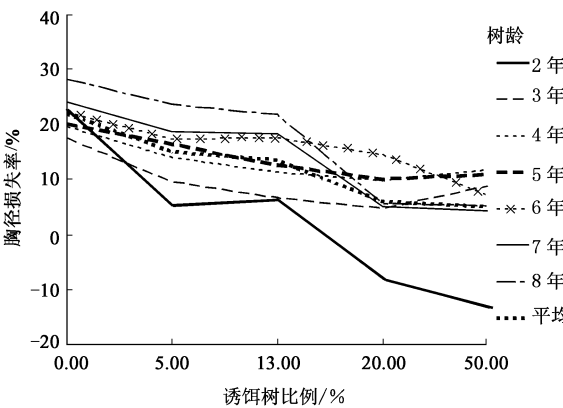


图 1 不同树龄诱饵树比例与目标树胸径损失率关系
FIGURE 1 Relationship between the proportion of bait trees and DBH loss rates of target trees at different ages

3.3.2 不同诱饵树比例对新疆杨树高生长的影响

通过树干解析, 计算各年的树高生长量(H'), 与健康新疆杨比较, 求出各年的树高生长损失率(Y)(见图 2).

从图 2 中可以看出, 随着诱饵树比例的增加新疆杨的树高生长损失率呈现负增长, 也就是说, 配置一定比例的诱饵树会促进新疆杨的树高生长. 诱饵树比例在 0~5% 时, 除第 4 年树高生长损失率在增加, 其余各年都呈下降趋势; 诱饵树比例在 5%~13% 时, 树高生长损失率下降幅度增大; 诱饵树比例在 13%~20% 时, 树高生长损失率基本保持不变; 当诱饵树比例大于 20% 时, 新疆杨树高生长损失率增加, 树高生长减缓.

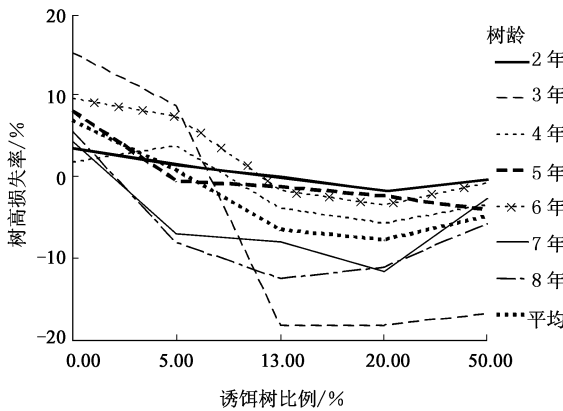


图 2 不同树龄诱饵树比例与目标树树高损失率关系
FIGURE 2 Relationship between the proportion of bait trees and height loss rates of target trees at different ages

3.3.3 不同诱饵树比例对新疆杨材积的影响

通过树干解析, 计算各年的材积(V'), 与健康新疆杨比较, 求出各年的材积生长损失率(Y)(见图 3).

从图 3 可以看出, 随着诱饵树比例增加新疆杨的材积损失率呈现线性负增长. 即配置一定比例的诱饵树不仅能够控制光肩星天牛灾害, 而且还可以

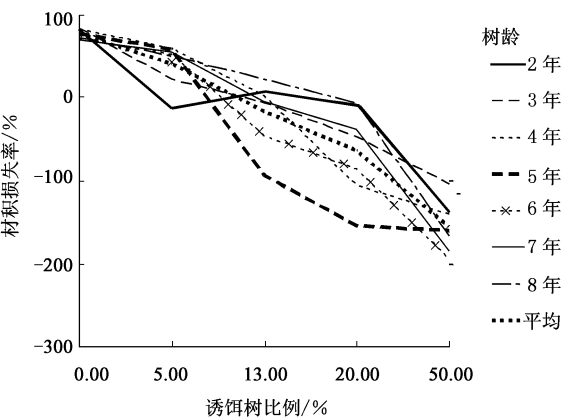


图 3 不同树龄诱饵树比例与目标树材积损失率关系

FIGURE 3 Relationship between the proportion of bait trees and timber loss rates of target trees at different ages

促进新疆杨的材积生长。

3.3.4 建立诱饵树比例与新疆杨材积损失率的回归模型

用统计软件对不同树龄不同诱饵树比例(X)和材积损失率(Y)之间的关系进行曲线回归分析,选取 11 个曲线模型进行拟合,选择出一种最适合的回归模型,结果见表 3。

表 3 不同树龄不同诱饵树比例材积损失率的比较

TABLE 3 Comparison of timber loss rates in diverse proportion of bait trees at different ages

树龄	回归方程式	R	R^2	Adj R^2	F	Sig. F
2~8*	$Y=79.437\ 6-8.543\ 6\ X+0.077\ X^2$	0.999	0.999	0.998	1\ 273.489	0.000\ 8
2	$y=52.112\ 9-3.673\ 2\ x-0.001\ 4\ x^2$	0.935	0.875	0.750	17.007	0.124\ 9
3	$y=75.522-7.864\ 5\ x+0.086\ x^2$	0.993	0.986	0.943	53.100	0.018\ 5
4	$y=99.917-11.443\ 4\ x+0.131\ 8\ x^2$	0.971	0.944	0.889	13.297	0.048\ 3
5	$y=100.453\ 9-17.217\ 2\ x+0.239\ 7\ x^2$	0.980	0.960	0.919	23.768	0.040\ 4
6	$y=81.929\ 9-10.302\ 5\ x+0.095\ 8\ x^2$	0.993	0.987	0.974	75.501	0.013\ 1
7	$y=75.283\ 9-5.971\ 9\ x+0.015\ 3\ x^2$	0.998	0.996	0.993	280.181	0.003\ 6
8	$y=70.832\ 7-3.331\ 8\ x-0.027\ 9\ x^2$	0.999	0.999	0.999	2\ 910.036	0.000\ 3

注: * 为 2~8 年树龄总回归式。

由表 3 可见,各年的诱饵树比例与材积损失率回归效果显著。方差分析结果表明:2~8 年的总回归式诱饵树比例与目标树材积损失率之间存在线性回归关系。

总式回归系数 B_1 、 B_2 与各分式回归系数 b_1 、 b_2 差异性检验结果见表 4。检验值 T_1 、 T_2 的相伴概率分别为 1.000、0.798,均大于显著性水平 0.05,总式回归系数 B_1 、 B_2 与各分式回归系数 b_1 、 b_2 均未呈显著性差异。由些可见,不同树龄不同诱饵树比例新

疆杨的材积损失率可由材积损失率回归总式代表,即

$$Y=79.437\ 6-8.543\ 6\ X+0.077\ X^2\quad (5)$$

根据回归模型,目标树种材积损失率为 0 时,诱饵树的比例为 7.093%。当诱饵树比例在[7.093%,50%]之间时,目标树种材积与健康木相比没有明显差异。经过对多树种配置抗御光肩星天牛灾害的综合效益评价(另文报道)得出,诱饵树比例为 25%的配置模式比诱饵树为 10%的综合效益低,可见当诱饵树比例达到 25%时,综合效益呈下降趋势,考虑到综合效益达到最佳范围,因此确定控灾阈值的范围在[7.093%,25%]。

表 4 新疆杨材积损失率总式与各分式回归系数 T 检验

TABLE 4 T -test about the regression coefficient of fractional and lumped model in timber loss rates of target trees

	T 值	检验值	自由 度 f	双尾 T 检 验 P 值	差值	差值的 95%置信区间	
						下限	上限
B_1	0	-8.543\ 6	6	1.000	1.000×10^{-4}	-4.541\ 6	4.541\ 8
B_2	0.268	0.077	6	0.798	8.414×10^{-3}	-0.107\ 9	0.124\ 7

3.4 控灾阈值模型的确定

根据以上分析结果,建立新疆杨胸径(Y_{d_1})与目标树及诱饵树虫口数(N_1 、 N_2)的回归模型,得

$$Y_{d_1}=3.975+0.246\ N_1+0.058\ N_2\quad (6)$$

$R=0.964$, $R^2=0.929$, Adj $R^2=0.922$,说明回归效果显著。

经方差分析得,统计量 $F=143.501$,相伴概率 $P<0.001$,说明此回归模型线性关系显著。

将新疆杨虫口模型与诱饵树虫口模型代入上式,得

$$Y_{d_1}=0.354-0.14\ X-0.064\ T_1+0.236\ T_2+0.462\ H_1+0.491\ H_2+0.08\ D_2\quad (7)$$

根据国家收购原木标准(GB11717-89),新疆杨胸径大于 18 cm,虫口数小于 10 个,得出控灾阈值模型:

$$\left\{\begin{array}{l} Y_{d_1}=0.354-0.14\ X-0.064\ T_1+0.236\ T_2+0.465\ H_1+0.491\ H_2+0.08\ D_2>18 \\ N_1<10 \\ X\in[7.093\%,25\%] \end{array}\right.\quad (8)$$

3.5 控灾阈值模型的检验

应用灰色系统理论中预测模型检验方法——后残差检验法,对建立的模型进行检验。这种检验方法是检验系统误差的方差估计方法,运用了概率置信域概念和区间估计,消弱了系统误差影响。通过拟合值与实际值的残差分析,可以检验模型的精度,结果见表 5。

表 5 模型拟合残差

TABLE 5 Residual information of the model								
D_1 / cm	H_1 / m	T_1 / a	D_2 / cm	H_2 / m	T_2 / a	X 拟合 值/%	X 实际 值/%	残差/ %
14.06	13.2	8	11.1	10.2	8	24.64	25	1.44
15.55	13.8	10	12.15	11.4	11	9.46	10	5.4

其中,残差: $e^{(0)}(i)=(X^{(1)}(i)-X^{(0)}(i))\backslash X^{(0)}(i)\times 100\%$
式中, $X^{(1)}(i)$ 为拟合值, $X^{(0)}(i)$ 为实际值.
平均残差: $e^{(0)}(\text{avg})=1/n\sum |e^{(0)}(i)|=3.42\%$
残差的方差: $S_e^2=1/n\sum (e^{(0)}(i)-e^{(0)}(\text{avg}))^2=3.92$
原始数据平均值: $X=1/n\sum X_i=17.5$
原始数据方差: $S_X^2=1/n\sum (X^{(1)}(i)-X)^2=56.25$
则后验差比值: $C=S_e/S_X=0.264$
小误差概率: $p=p\{|e(i)-e(\text{avg})|<0.6745S_X\}=1$
根据后验差检验指标(表 6),由于 $C=0.264<0.35$,故可以判断预测模型为一级精度,即“好”,说明预测模型可信,预测值可用.

表 6 预测精度检验等级参照表

TABLE 6 Ranking reference of testing the predictive precision		
等级	均方差比值 C	小误差概率 p
一级(好)	0.35	0.95
二级(较好)	0.50	0.80
三级(一般)	0.65	0.70
四级(差)	0.80	0.60

4 结论与讨论

4.1 结 论

本文首次提出控灾阈值的概念,以诱饵树比例作为光肩星天牛控灾阈值的特征指标值.在宁夏引黄灌区,根据不同诱饵树比例对树木生长状况及光肩星天牛危害程度的分析,认为采用多树种合理配置的措施抗御光肩星天牛灾害是可行的.通过虫口模型、材积损失、木材收购标准及综合效益评价结果确定的控灾阈值模型,诱饵树比例应控制在[7.093%,25%]的区间内.还可以根据对不同树种的不同要求,计算出配置最适的诱饵树比例.

4.2 讨 论

1) 控灾阈值是进行害虫科学管理和决策的重要依据.由于不同诱饵树配置比例对目标树种的影响不同,害虫的危害情况不同,因此控灾阈值是动态的,即随着诱饵树比例、人们对目标树种成材的要求标准等因素的变化而变化.本文通过考虑目标树种与诱饵树的生长情况、天牛危害状况、材积损失状况进行动态模拟确定控灾阈值模型,不仅描述了光肩

星天牛种群的动态过程,而且反映了其动态危害过程.但关于光肩星天牛控灾阈值的研究尚属首例,由于资料有限,调查难度大,研究处于探索阶段,存在许多缺陷和不足,有待进一步深入.

2) 由于各地区立地条件等不同,光肩星天牛对防护林的危害状况也不相同,防护林所发挥的作用存在着不同程度的差异,所以不同地区光肩星天牛控灾阈值也存在差异.本文确定的宁夏引黄灌区防护林光肩星天牛控灾阈值模型,对其他地区的参考价值,有待于进一步研究.

参 考 文 献

[1] 骆有庆,刘荣光,许志春,等.防护林杨树天牛灾害的生态调控理论与技术[J].北京林业大学学报,2002,24(5/6):161-163.
LUO Y Q, LIU R G, XU Z C, et al. Theories and technologies of ecologically regulating poplar long-horned beetle disaster in shelter forest[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2002, 24(5/6): 161-163.
[2] 周嘉熹,邵崇斌.黄斑星天牛经济阈值的探讨[J].森林病虫害通讯,1988(3):1-4.
ZHOU J X, SHAO C B. Economic threshold for *Anoplophora nobilis* Ganglbauer[J]. Forest Pest and Disease, 1988(3): 1-4.
[3] 赵瑞良,武祥云,吕晓宏.光肩星天牛经济阈值的研究[J].山西林业科技,1991,12(4):29-32.
ZHAO R L, WU X Y, LÜ X H. Economic threshold for *Anoplophora glabripennis* Matsch [J]. Journal of Shanxi Forestry Science and Technology, 1991, 12(4): 29-32.
[4] 黄大庄,关慧元,张久森,等.桑天牛的防治阈值[J].东北林业大学学报,1997,25(2):78-82.
HUANG D Z, GUAN H Y, ZHANG J S, et al. Control threshold for *Apriona germati* [J]. Journal of Northeast Forestry University, 1997, 25(2): 78-82.
[5] 何东进,洪伟.害虫防治经济阈值研究进展[J].福建林业科技,1998,25(4):7-12.
HE D J, HONG W. The study progress of the economic threshold of injurious insect control[J]. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 1998, 25(4): 7-12.
[6] 郭树平.用材林害虫管理经济阈值模式的研究[J].森林病虫害通讯,2000(3):9-12.
GUO S P. Economic threshold models of timberlands pest management[J]. Forest Pest and Disease, 2000(3): 9-12.
[7] 骆有庆,宋广巍,刘荣光,等.杨树天牛生态阈值的初步研究[J].北京林业大学学报,1999,21(6):45-51.
LUO Y Q, SONG G W, LIU R G, et al. Preliminary study on ecological threshold for poplar long-horned beetle [J]. Journal of Beijing Forestry University, 1999, 21(6): 45-51.
[8] DYACK B J, ROLLINS K, GORDON A M. A model to calculate *ex ante* the threshold value of interaction effects necessary for proposed intercropping projects to be feasible to the landowner and desirable to society[J]. Agroforestry Systems, 1999, 44(2-3):197-214.

(责任编辑 董晓燕)