



基于神经网络的灯诱法预测马尾松毛虫发生量的研究^{*}

陈德兰^{**}

(福建省武夷山市林业局, 武夷山 354300)

摘 要 【目的】为了探索灯诱马尾松毛虫 *Dendrolimus punctatus* (Walker) 成虫预测下一代幼虫发生量的办法, 建立预测预报模型。【方法】2013-2017 年连续 5 年采用灯诱法对马尾松毛虫每年的越冬代、第 1 代灯诱成虫数、雌虫数、雄虫数、雌性比等数据进行收集, 实地调查第 1 代、第 2 代 (越冬代) 幼虫林间的发生量 (虫口密度), 采用 Excel2016 进行相关性分析, 筛选出与下一代幼虫发生量 (虫口密度) 关系密切的灯诱成虫数、雌虫数、雌性比等关联因子, 并应用神经网络 Matlab2016a 建立预测模型。【结果】所建立的灯诱成虫预测模型, 拟合度 0.92 以上, 预测精度 0.90 以上。【结论】采用灯诱马尾松毛虫成虫预测下一代幼虫发生量的神经网络 Matlab 模型, 十分适用于短期精细化预报, 方法简单、实用, 值得在马尾松毛虫生产性防控中大力推广。

关键词 灯诱, 马尾松毛虫, 发生量, Matlab 模型

Using light traps to forecast the occurrence of *Dendrolimus punctatus* (Walker)

CHEN De-Lan^{**}

(Forestry Bureau of Wuyishan City, Wuyishan 354300, China)

Abstract [Objective] To develop a model to predict the abundance of larvae of the next generation of *Dendrolimus punctatus* from the number of adults caught in light traps. [Methods] For five consecutive years from 2013-2017 the number of adult females and males captured in light-traps, and the sex ratio of the overwintering and first generations of *D. punctatus*, were collected. During the same period the abundance (density) of the first and second (overwintering) larval generations were investigated in the field. Factors correlated with the abundance of the next larval generation, such as the number of adults, and sex ratio, were identified using Excel 2016. A predictive model using neural networks was established with Matlab 2016. [Results] The predictive model had a better than 0.92 fit to the actual data and was more than 0.90 accurate. [Conclusion] The Matlab model for predicting the abundance of the next larval generation of *D. punctatus* on the basis of adult light trapping data is very suitable for short-term, fine prediction. This method is simple and practical, and worth popularizing for the control of *D. punctatus*.

Key words light traps, *Dendrolimus punctatus*, occurrence quantity, matlab model

马尾松毛虫 *Dendrolimus punctatus* (Walker) 是我国南方各省市最主要的历史性森林害虫, 也是危害松林最严重的食叶害虫之一 (魏初奖等,

2002), 其周期性的暴发成灾对森林生态安全以及林业可持续发展构成严重威胁 (张真和李典谟, 2008)。国内外, 对马尾松毛虫预测预报有

^{*}资助项目 Supported projects: 福建省自然科学基金项目 (2013J01094)

^{**}通讯作者 Corresponding author, E-mail: wyscdl@163.com

收稿日期 Received: 2018-02-10, 接受日期 Accepted: 2018-02-26

多种的方法(梁其伟和萧刚柔, 1986; 柴守权等, 2003; 国家林业局森林病虫害防治总站, 2013; 余燕等, 2017), 建立了相应的预测预报模型(陈绘画等, 2009; 杨淑香等, 2014; 张正常, 2015; 周夏芝等, 2017), 其中运用灯诱技术预测马尾松毛虫发生趋势的试验也很多(吴大强, 2002), 但是应用灯诱马尾松毛虫成虫建立下一代发生量(虫口密度)的测报模型研究尚未见有报道。为了探索灯诱马尾松毛虫成虫数量预测下一代幼虫发生量的测报方法, 笔者根据 2013-2017 年灯诱马尾松毛虫成虫数据及下一代林间幼虫发生的虫口数量, 进行相关性分析和神经网络 Matlab 建模试验, 建立了幼虫发生量预测预报模型, 为马尾松毛虫生产性防控提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验点选择

2013-2017 年, 在武夷山市马尾松毛虫常发区的城南、城东和城西(三地直线距离 2 km 以上)各选 1 块立地条件相同, 林龄 41-50 年生的松树林分 5 hm², 于林缘 60-100 m 开阔处设 A、B、C 3 个马尾松毛虫成虫灯诱诱捕点(灯诱监测点), 并于距离每个诱捕点 500 m 左右的无灯区松林内各设 1 个幼虫期监测样地, 分别为 a、b、c。

1.2 试验方法

1.2.1 材料及安装 采用河南省佳多科工贸有限责任公司生产的频振式杀虫灯。在选定的诱捕点处清理平整出的地面, 按诱虫灯的使用说明组装诱虫灯。将支架埋入土中 1 m 左右, 保持支架稳定, 诱虫灯挂置在支架距地面 1.7 m 以上, 安装的电线须是绝缘材料。

1.2.2 调查方法

1.2.2.1 成虫期诱捕 根据历年调查资料数据, 每年于越冬代(第 2 代)蛹末期的 5 月 20 日至越冬代(第 2 代)卵孵化末期的 9 月 10 日期间, 对越冬代(第 2 代)马尾松毛虫成虫和第 1 代马尾松毛虫成虫进行灯光诱捕。灯诱期间, 根据光控, 天黑开灯, 天亮关灯, 确定开关灯时间。一

般为晚 19:00 至次日早晨 6:00 左右, 次日统计所诱集的马尾松毛虫雌、雄成虫数量和总量。

1.2.2.2 幼虫期调查 根据历年调查资料数据, 在每代成虫灯诱结束后, 于每年的马尾松毛虫第 1 代幼虫期 7 月 5 日, 第 2 代(越冬代)幼虫期的 9 月 15 日前后分别调查距离 A、B、C 三个诱捕点 500 m 外的 3 个无灯区 a、b、c 松树样地, 每个样地设样株 20 株, 每次调查计算出林间第 1 代马尾松毛虫幼虫和越冬代(第 2 代)幼虫的平均虫口密度, 做好记录。调查数据如表 1 所示。

1.3 数据处理与分析

采用 Matlab 2016a 和 Excel 2016 进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 灯诱测报因子的筛选

为了增加神经网络训练样本数, 对表 1 数据进行适当调整, 将第 1 代数据置于越冬代数据下方, 如表 2 所示。其中“0”表示越冬代(第 2 代), “1”表示“第 1 代”; “A”、“B”、“C”表示灯诱监测点; “D”、“E”、“F”、“G”、“H”分别表示“灯诱成虫数”、“雌虫数”、“雄虫数”、“雌性比”、“幼虫平均虫口密度”; “2013”、“2014”...“2017”表示年份。

对表 2 数据, 用 Excel 进行相关性分析, 结果如表 3。

从表 3 可以看出, 用于预测的因变量“下一代幼虫平均虫口密度”即“下一代 H”与“灯诱成虫数”即“D”、“雌虫数”即“E”、“雌性比”即“G”相关性较高。

2.2 建模试验

建模试验采用 Matlab2016a 中 Neural Net Fitting 工具箱。为了进行建模分析, 对表 2 数据中“下一代幼虫平均虫口密度”命名为变量“youchong”, “灯诱成虫数”、“雌虫数”和“雌性比”合并命名为变量“cheng_ci_bi”, 将表 2 数据相关列拷入相应变量, 保存为“数据”。

表 1 2013-2017 年马尾松毛虫各代别成虫灯诱数及下一代幼虫虫口密度
Table 1 Number of light trap of adult per generation and next generation larval density
of *Dendrolimus punctatus* 2013-2017

年度 Year	灯诱监测点 The lighting monitoring points	0-D	0-E	0-F	0-G	1-H	1-D	1-E	1-F	1-G	0-H
2013	A	1 478	1 395	83	0.94	68.80	198	147	51	0.74	8.90
	B	700	667	33	0.95	34.30	112	64	48	0.57	4.60
	C	844	668	176	0.79	33.40	127	69	58	0.54	5.10
2014	A	391	286	105	0.73	10.40	87	59	28	0.68	4.80
	B	364	178	186	0.49	5.80	86	50	36	0.58	4.30
	C	460	257	203	0.56	9.60	145	53	92	0.37	4.40
2015	A	385	189	196	0.49	6.20	147	105	42	0.71	7.30
	B	294	119	175	0.40	2.70	145	92	53	0.63	6.70
	C	305	146	159	0.48	3.90	145	96	49	0.66	7.00
2016	A	819	792	27	0.97	39.60	1 281	1 106	175	0.86	245.00
	B	771	729	42	0.95	34.10	769	700	69	0.91	99.30
	C	802	747	55	0.93	36.80	839	781	58	0.93	118.10
2017	A	166	112	54	0.67	2.30	60	52	8	0.87	4.40
	B	198	101	97	0.51	1.80	63	47	16	0.75	4.20
	C	216	109	107	0.50	2.10	61	49	12	0.80	4.30

D、E、F 单位为“头”；H 单位为“头/株”。下表同。

The units of D, E and F are heads. The unit of H is head/plant. The same below.

表 2 建模试验数据
Table 2 Modelling test data

年度-世代-灯诱 监测点 Year-generation- the lighting monitoring points	D	E	F	G	下一代 H The next generation H	年度-世代- 灯诱监测点 Year-generation- the lighting monitoring points	D	E	F	G	下一代 H The next generation H
2013-0-A	1 478	1 395	83	0.94	68.80	2015-1-A	147	105	42	0.71	7.30
2013-0-B	700	667	33	0.95	34.30	2015-1-B	145	92	53	0.63	6.70
2013-0-C	844	668	176	0.79	33.40	2015-1-C	145	96	49	0.66	7.00
2013-1-A	198	147	51	0.74	8.90	2016-0-A	819	792	27	0.97	39.60
2013-1-B	112	64	48	0.57	4.60	2016-0-B	771	729	42	0.95	34.10
2013-1-C	127	69	58	0.54	5.10	2016-0-C	802	747	55	0.93	36.80
2014-0-A	391	286	105	0.73	10.40	2016-1-A	1 281	1 106	175	0.86	245.00
2014-0-B	364	178	186	0.49	5.80	2016-1-B	769	700	69	0.91	99.30
2014-0-C	460	257	203	0.56	9.60	2016-1-C	839	781	58	0.93	118.10
2014-1-A	87	59	28	0.68	4.80	2017-0-A	166	112	54	0.67	2.30
2014-1-B	86	50	36	0.58	4.30	2017-0-B	198	101	97	0.51	1.80
2014-1-C	145	53	92	0.37	4.40	2017-0-C	216	109	107	0.50	2.10
2015-0-A	385	189	196	0.49	6.20	2017-1-A	60	52	8	0.87	4.40
2015-0-B	294	119	175	0.40	2.70	2017-1-B	63	47	16	0.75	4.20
2015-0-C	305	146	159	0.48	3.90	2017-1-C	61	49	12	0.80	4.30

表 3 相关性分析
Table 3 Correlation analysis

	D	E	F	G	下一代 H he next generation H
D	1				
E	0.987 226	1			
F	0.264 961	0.107 944	1		
G	0.618 436	0.714 670	- 0.466 368	1	
下一代 H The next generation H	0.750 919	0.745 413	0.174 232	0.508 849	1

对上述数据进行建模试验，“Input”选择变量“cheng_ci_bi”，“Targets”选择变量“youchong”；Samples are“选择”Matrix rows，“Validation”选择“5%”，“Testing”选择“5%”，“Number of hidden neurons”选择“60”，“Choose a training algorithm”选择“Bayesian regularization”对网络进行训练。结果图 1、图 2 所示。

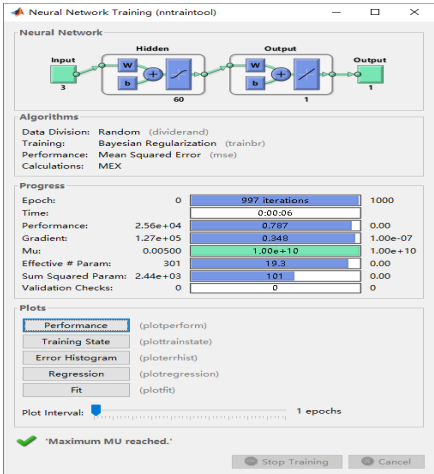


图 1 网络训练 (1)
Fig. 1 Network training(1)

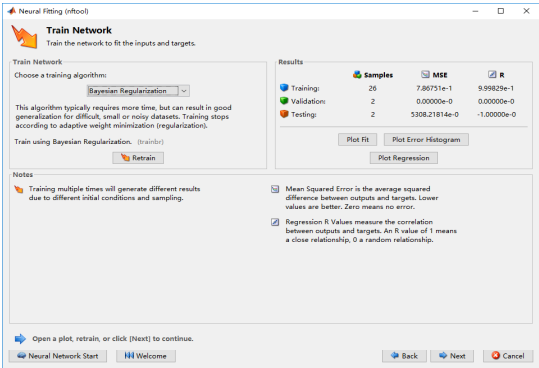
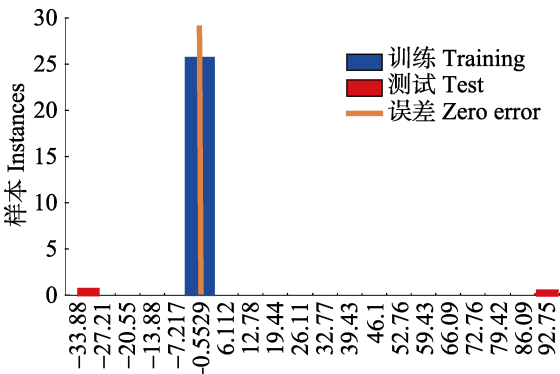


图 2 网络训练 (2)
Fig. 2 Network training (2)

训练结果如图 3、图 4 所示。



误差=目标值-输出值 Errors=Targets-Outputs
图 3 训练结果 (误差分布图)
Fig. 3 Training results (error distribution)

2.3 数据分析

从图 4 可以看出，Test 的 R 值为 1，Training 的 R 值为 0.999 83，All 的 R 值为 0.926 81，拟合度极高。

进一步使用监测数据“灯诱成虫数”、“雌虫数”和“雌性比”，使用通过训练得到的模型进行预测，将预测的“下一代幼虫平均虫口密度”预测值与“下一代幼虫平均虫口密度”实际监测值进行比较，得到表 4。

从表 4 可以看出，预测精度均大于 90%。因此，只要选测合适的神经网络模型与训练参数，通过灯诱监测数据，对下一代幼虫虫口密度进行预测，其预测精度完全可以满足生产预报要求。

3 结论与讨论

3.1 用 Excel2016 进行相关性分析，筛选出影响下一代马尾松毛虫幼虫发生量（虫口密度）的灯

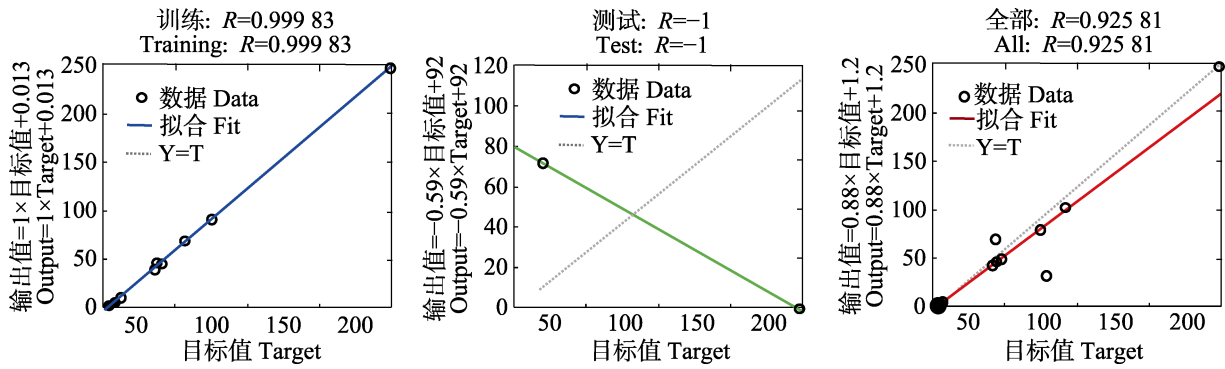


图 4 训练结果 (拟合度回归分析)
Fig. 4 Training results (matching regression analysis)

表 4 下一代幼虫发生量 (虫口密度) 的实际值与预测值

Table 4 The actual and forecast value of next generation larva occurrence quantity (insect density)

年度-世代-灯诱监测点 Year-generation-Lighting monitoring points	下一代 H (实际值) The next generation H (actual values)	下一代 H (预测值) The next generation H (forecast value)	绝对误差 Absolute error	预测精度 (%) Prediction accuracy (%)	年度-世代-灯诱监测点 Year-generation-Lighting monitoring points	下一代 H (实际值) The next generation H (actual values)	下一代 H (预测值) The next generation H (forecast value)	绝对误差 Absolute error	预测精度 (%) Prediction accuracy (%)
2013-0-A	68.80	68.80	0.00	100.00	2015-1-A	7.30	7.33	0.03	99.65
2013-0-B	34.30	37.51	3.21	90.65	2015-1-B	6.70	7.40	0.70	89.60
2013-0-C	33.40	33.38	- 0.02	99.94	2015-1-C	7.00	7.56	0.56	91.99
2013-1-A	8.90	9.07	0.17	98.11	2016-0-A	39.60	39.71	0.11	99.72
2013-1-B	4.60	4.54	- 0.06	98.80	2016-0-B	34.10	34.01	- 0.09	99.74
2013-1-C	5.10	5.32	0.22	95.70	2016-0-C	36.80	36.61	- 0.19	99.49
2014-0-A	10.40	10.36	- 0.04	99.61	2016-1-A	245.00	245.00	0.00	100.00
2014-0-B	5.80	5.90	0.10	98.29	2016-1-B	99.30	99.49	0.19	99.80
2014-0-C	9.60	9.78	0.18	98.11	2016-1-C	118.10	124.18	6.08	94.85
2014-1-A	4.80	4.41	- 0.39	91.89	2017-0-A	2.30	2.34	0.04	98.34
2014-1-B	4.30	4.24	- 0.06	98.59	2017-0-B	1.80	1.71	- 0.09	94.87
2014-1-C	4.40	4.49	0.09	97.87	2017-0-C	2.10	1.94	- 0.16	92.48
2015-0-A	6.20	5.94	- 0.26	95.86	2017-1-A	4.40	4.32	- 0.08	98.25
2015-0-B	2.70	2.63	- 0.07	97.37	2017-1-B	4.20	4.19	- 0.01	99.73
2015-0-C	3.90	4.26	0.36	90.81	2017-1-C	4.30	4.34	0.04	98.96

诱成虫的主要因子。结果表明马尾松毛虫灯诱成虫数、雌虫数及雌性比与下一代马尾松幼虫发生程度相关关系十分显著,灯诱成虫数量大、雌虫多和雌性比高则下一代幼虫发生量 (虫口密度) 大,发生危害严重。

3.2 采用 Matlab2016a 中 Neural net fitting 工具箱建模,选择合适的训练参数,通过灯诱监测数据,对下一代幼虫发生量 (虫口密度) 进行预测,无论是拟合度还是预测精度都很高,可作为预测

下一代马尾松毛虫发生量的新方法,十分适用于短期精细化预报,对指导防治救灾具有重要意义。

3.3 马尾松毛虫的发生量 (虫口密度) 与环境因素关系密切,比如气候条件 (如降雨量、温湿度等)、生物因素 (如天敌、寄主植物等) 等,用灯诱马尾松毛虫成虫数据预测其下一代幼虫的发生量 (虫口密度) 虽拟合精度高,能做出较为准确的短期预测预报,但如何结合气象因子、

灯诱的天敌成虫数等数据进一步优化预测模型提高预测精度及开展中、长期预测还需进行深入研究。

参考文献 (References)

- Chai SQ, Xu GL, Shao DK, Li RB, Lu N, 2003. A preliminary study on the forecast of harm extent and occurrence area of *Dendrolimus punctatus* Wenshanensis. *Journal of Southwest Forestry College*, 23(1): 59–61. [柴守权, 许国莲, 邵登坤, 李任波, 卢南, 2003. 文山松毛虫危害程度与发生范围预测预报研究. 西南林学院学报, 23(1): 59–61.]
- Chen HH, Zhu SY, Zhou ZH, 2009. Study on forecasting the occurrence amount of *Dendrolimus punctatus* Walker based on genetic neural network mixed model. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 37(12): 5548–5551. [陈绘画, 朱寿燕, 周泽华, 2009. 基于遗传神经网络混合模型预测马尾松毛虫发生量的研究. 安徽农业科学, 37(12): 5548–5551.]
- Liang QW, Xiao GR, 1986. The application of three kinds of mathematical methods in the prediction of the outbreak of pine caterpillar. *Scientia Silvae Sinicae*, 22(4): 360–367. [梁其伟, 萧刚柔, 1986. 几种数学方法在马尾松毛虫预测预报上的应用研究. 林业科学, 22(4): 360–367.]
- The Forest Disease and Pests Prevention and Control Station, 2013. Forest Pest Monitoring and Forecasting Technology. Beijing: Chinese Forest Press. 117–118. [国家林业局森林病虫害防治总站, 2013. 林业有害生物监测预报技术. 北京: 中国林业出版社. 117–118.]
- Wei CJ, Zhuang CH, Xie DY, Cai GG, Li ML, 2002. Plague division and application of *Dendrolimus punctatus* Walker in Fujian Province. *Journal Nanjing Forestry University (Natural Science Edition)*, 26(3): 35–39. [魏初奖, 庄晨辉, 谢大洋, 蔡国贵, 李闽丽, 2002. 福建省马尾松毛虫灾区区划及其应用. 南京林业大学学报(自然科学版), 26(3): 35–39.]
- Wu DQ, 2002. Application of Jiaduo frequency trembler grid lamps in the forecast and control of pine caterpillars. *Forest Pest and Disease*, 21(4): 18–20. [吴大强, 2002. 佳多频振式杀虫灯在松毛虫预测预报及防治中的应用. 中国森林病虫, 21(4): 18–20.]
- Yang SX, Zhao HY, Bao XH, 2014. A study on the forecast model of *Dendrolimus superans* Butler occurrence based on artificial neural network. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 30(28): 72–75. [杨淑香, 赵慧颖, 包兴华, 2014. 基于人工神经网络的落叶松毛虫发生量预测模型的研究. 中国农学通报, 30(28): 72–75.]
- Yu Y, Li S, Wang ZX, Bi SD, Zhang GQ, Zhou XZ, Fang GF, Zou YD, Zhang Z, Song YS, 2017. Study on the forecasting occurrence severity degree of the *Dendrolimus punctatus* larvae. *Journal of Anhui Agricultural University*, 44(5): 882–893. [余燕, 李尚, 王振兴, 毕守东, 张国庆, 周夏芝, 方国飞, 邹运鼎, 张桢, 宋玉双, 2017. 马尾松毛虫幼虫发生严重程度的预测研究. 安徽农业大学学报, 44(5): 882–893.]
- Zhang Z, Li DM, 2008. Approach to outbreak mechanism of *Dendrolimus punctatus*. *Scientia Silvae Sinicae*, 44(1): 140–149. [张真, 李典谟, 2008. 马尾松毛虫暴发机制分析. 林业科学, 44(1): 140–149.]
- Zhang ZC, 2015. Study on maflab modeling of occurrence amount of *Dendrolimus punctatus* Walker based on neural network. *Modern Agricultural Science and Technology*, (23): 137–139. [张正常, 2015. 基于神经网络马尾松毛虫发生量 Matlab 建模研究. 现代农业科技, (23): 137–139.]
- Zhou XZ, Wang ZX, Yu Y, Li S, Bi SD, Zhang GQ, Fang GF, Zou YD, Zhang Z, Song YS, 2017. Comparison of models for forecasting peak abundance of *Dendrolimus punctatus* larvae. *Entomological Knowledge*, 54(6): 1031–1043. [周夏芝, 王振兴, 余燕, 李尚, 毕守东, 张国庆, 方国飞, 邹运鼎, 张桢, 宋玉双, 2017. 马尾松毛虫幼虫高峰期发生量的预测模型研究. 应用昆虫学报, 54(6): 1031–1043.]