

亚洲象生境评价*

李芝喜 李红春 陆 锋

(西南林学院 昆明 650224)

摘要 本文阐述了通过外业抽样调查进行亚洲象生境因子定量分析, 利用遥感技术提取生境专题信息建立数据库, 在此基础上, 应用 GIS 对西双版纳勐养自然保护区亚洲象生境因子进行评价。同时, 提出改善栖息地环境质量的治理方案。

关键词 亚洲象, 生境因子, 抽样调查, 遥感, GIS

1 引言

亚洲象 (*Elephas maximus* Linnaeus) 属长鼻目大型陆生草食性哺乳动物, 是一种只残存于亚洲的濒危珍稀物种, 属于国家一级保护动物。由于亚洲象对适应生态环境要求比较严格, 所以分布范围越来越小。在距今 3000 年前的商代, 亚洲象大量分布于我国黄河流域; 在公元 500 年左右的南北朝时期, 分布退缩到长江以南; 明朝末年, 仅在湖广一带有野生象分布的记载。随着森林植被的破坏, 亚洲象已濒临灭绝。如今仅存云南西双版纳等热带雨林地区, 而且生存空间和分布区域在日渐缩小。所以保护亚洲象的生境, 就是直接保护亚洲象的生存和繁衍。

野生动物生境的评价, 在有关研究中其生境因子一般仅限于植被分类, 较为单一^[1]。此次亚洲象生境的研究, 从研究对象来说, 属于热带林区, 地况和林况都比较复杂, 难度较大。为此, 我们利用了多种传感器数据, 并加强地面调查, 以扩大信息含量和提高判读精度。从研究方法上, 将抽样技术, 遥感技术和地理信息系统技术结合成一个综合的技术体系, 以提高生境评价的精度, 为生物多样性保护奠定信息基础, 为亚洲象保护提供对策。

2 研究地区概况

西双版纳位于云南省南部边缘, 与缅甸、老挝接壤。因为其独特的地理位置、地貌形态和气候条件, 使之成为地球上热带林最北端分布区, 同时也是我国生物多样性的荟

* 该研究属世界自然基金会 (WWF) 西双版纳热带雨林保护资助项目。参加该项目的还有西南林学院的冯毅、黄绍春、刘春红、周润等, 世界自然基金会项目组顾问 Harold Wadley、杨元昌、西双版纳国家级自然保护区管理局赵建伟、郭贤明、李杨等, 该局的有关领导给予了大力支持和帮助, 此外美国环境信息系统研究所 (ESRI) 也给予了技术协助, 西南林学院朱翔提供了一些有益的建议, 在此一并致谢。

收稿日期: 1995年8月7日; 收到修改稿日期: 1995年11月23日

萃地。

然而, 由于热带森林植被的破坏, 致使亚洲象生境恶化, 生存空间受到限制, 亚洲象面临绝迹的威胁。所以急待对生境进行评价和监测, 并提出保护亚洲象的对策。试验区为勐养自然保护区, 它是西双版纳州5个国家级保护区面积最大的一个, 总面积118400公顷, 西以澜沧江为界, 东以小黑江为界, 森林植被主要为雨林、季雨林、常绿阔叶林等。

3 研究方法

本研究的技术路线是: 以亚洲象的生物生态学特性为生境分析的导向, 遥感图象为生境信息的载体, GIS为生境分析工具, 建立亚洲象栖息地质量评价和生境监测的技术系统。具体研究过程分为生境分析、判读和评价。

3.1 生境因子分析

3.1.1 抽样调查

根据亚洲象的陆栖草食等生物生态学特性, 其生境因子主要有草本食料、水源、蔽护环境和生活空间。结合遥感图象的可判读性, 我们选定了植被类型(含郁闭度)、距水源距离、坡度、坡向、坡位、海拔、含人口密度在内的人为活动强度等8个因子进行判读和调查。调查内容是各种生境因子在不同状态下的亚洲象足迹数量。为了保证样地在自然保护区内的代表性, 采用了系统抽样的方法。考虑到样地设置的方便, 采用长100m, 宽2m, 200m²的带状样地。为了保证各种生境因子在不同状态下至少含有5个以上的样地, 共设置了71个样地。样地调查时, 除进行样地点位刺点标定外, 精确地查数记录亚洲象的足迹及其相应的生境因子状态特征。

3.1.2 生境因子定量分析

根据调查记录材料, 经整理得出8个生境因子在各种状态下的亚洲象单位面积的足迹数量(表1)。

表1中的数据仅属于单因子分析。由于生境因子之间存在着交互作用, 所以我们还进行了多因子的综合分析。

根据多因子的综合作用, 我们利用了多元回归数学模型进行分析, 其方程式为:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + b_6X_6 + b_7X_7 + b_8X_8$$

式中: Y为亚洲象活动频数(每公顷足迹数)的测定值, b_0 为回归常数, $b_1, b_2, b_3, \dots, b_8$ 为回归系数, $X_1, X_2, X_3, \dots, X_8$ 分别代表有关生境因子(与表1相同)。

表1中所列出的生境因子多数属于定性因子, 不能直接输入计算。同时各生境因子的状态数据与亚洲象单位面积足迹数量大多不是线性关系。为了保证多元线性回归的精度, 特将原始数据进行了赋值转换。

赋值转换时, 以生境因子状态中每公顷足迹数极小值为1, 其余在此基础上按比例类推。例如, 植被类型(表2)。

其余因子也进行了赋值处理。在此基础上, 根据样本单元的观测值经计算得出有关

表 1 各种因子不同状态与亚洲象足迹的关系
Table 1 The relation between different conditions of each factor and elephant trails

生境因子 (X_i)	状 态 (X_{i-j})	足迹数 (y/ha)	因子内各状态优先等级
植被类型 (X_1)	常绿阔叶林 (X_{1-1})	1120	2
	竹 林 (X_{1-2})	1380	1
	灌 木 林 (X_{1-3})	300	3
	早生农作物 (X_{1-4})	230	4
郁 闭 度 (X_2)	疏 < 0.2 (X_{2-1})	320	3
	中 0.2—0.5 (X_{2-2})	620	2
	密 > 0.5 (X_{2-3})	990	1
水源距离 (X_3)	近 < 100m (X_{3-1})	1270	1
	中 100—500m (X_{3-2})	780	2
	远 > 500m (X_{3-3})	440	3
坡 度 (X_4)	< 10° (X_{4-1})	440	5
	10—20° (X_{4-2})	650	4
	21—30° (X_{4-3})	1550	1
	31—40° (X_{4-4})	950	2
	>41° (X_{4-5})	760	3
坡 向 (X_5)	阴 坡 (X_{5-1})	1350	1
	半阴半阳 (X_{5-2})	760	2
	阳 坡 (X_{5-3})	270	3
坡 位 (X_6)	上 (X_{6-1})	640	3
	中 (X_{6-2})	1050	1
	下 (X_{6-3})	830	2
海 拔 (X_7)	600—800m (X_{7-1})	660	3
	810—1000m (X_{7-2})	800	2
	1000—1300m (X_{7-3})	970	1
人为活动强度 (X_8)	强 (X_{8-1})	220	3
	中 (X_{8-2})	530	2
	弱 (X_{8-3})	1540	1

表 2 植被类型的赋值转换
Table 2 The transformation from qualitative date to quantitative value on vegetation

状 态	常绿阔叶林	竹 林	灌 木 林	旱 地
足迹数	1120	1380	300	230
赋 值	4.9	6.1	1.3	1.0

数据(表3)。

同时还给出了多元线性回归的精度指标: L_{yy} (总平方和)=64889577, U (回归平方和)=35931762, Q (剩余平方和)=28957815, $F_{(8,62)}$ (回归显著性)=9.62, 而 $F_{0.01(8,62)}=2.80$ $F > F_{0.01}$, R (复相关系数)=0.75 各因子的 F 检验, 见表4。

$S_0 = \sqrt{Q/(n-m-1)} = \sqrt{28957815/62} = 683$, $S_r = 683/8.4 = 81.3$, $\Delta = 1.96 \times 81.3 = 159$, $E = 0.18$, $P_c = 1 - E = 82\%$, 按95%的可靠性指标, 获得82%的精度。

表3 因子回归系数表

Table 3 The factors regression coefficients

因子	植被	郁闭度	水源	坡度	坡向	坡位	海拔	人为活动强度	回归常数 b_0
回归系数 b_i	156.40	196.90	101.44	142.80	157.95	12.17	115.29	132.99	-1705.03

表4 回归系数显著性的 F 检验

Table 4 The F -test of significance of each regression coefficient

生境因子	植被	郁闭度	水源	坡度	坡向	坡位	海拔	人为活动强度
F	4.973	1.504	5.731	0.800	10.519	0.009	0.364	12.819
因子优先级	4	5	3	6	2	8	7	1

3.2 生境判读

亚洲象的生境因子, 其中地况部分包括坡度、坡向、坡位、海拔和水源, 由地形图中直接导出。人口密度, 由乡镇近期统计材料中给出。而植被包括郁闭度, 则借助于遥感材料获取。遥感图象是生态因子特别是植被的载体。

植被在表4中虽仅居第4位, 但居第1位的人为活动强度、第2位的坡向都是植被的直接和间接的反映。因此, 植被是生境中的支柱, 在生境判读中, 将以植被类型作为主体内容。

3.2.1 图象处理^[2]

此次判读所采用的材料有: 1989年3月航空摄影经放大为1:2万的全色黑白象片; 1988年2月2日及1992年5月28日记录的 Landsat-TM 数据; 1988年2月16日记录的 SPOT-XS 数据等。

对于卫星遥感数据, 进行了包括对比度拉伸和彩色合成的图象处理。TM 数据在处理前先进行波段选择。波段选择时按相关系数进行筛选。勐养自然保护区的 TM 波段相关系数矩阵表明, 相关系数较小的是 TM_2 与 TM_4 , TM_3 与 TM_4 , TM_4 与 TM_7 。单纯从相关性出发, TM_{36} 最好, TM_{234} 次之。但结合波段的功能, 进行综合考虑, TM_{234} 不仅对植被分类的灵敏度比较高, 波段间的独立性也比较强, 波段间信息重复较少, 而且减少红外信息含量, 消除山地阴影, 充分发掘信息潜力。

3.2.2 判读过程

为了保证判读精度, 在判读前进行了判读训练。判读训练的目的在于建立判读标志

和设置计算机图象分类的训练区。在训练的基础上, 进行全面的室内判读。当某种图象难以确定其属性时, 则参考另一种图象(包括另一种处理方式的图象), 特别要说明的是, 放大的航空象片是森林植被信息的一种重要信息源。此外, 森林植被的生态规律, 由于光热水条件的分配差异而形成的森林植被特有的垂直分布带谱(包括阳坡垂直带谱和阴坡垂直带谱), 我们在判读中也加以应用。

把判读的森林植被分类界线, 一一转绘到地形图作为地理基础底图, 经综合取舍而成为森林植被的原图。

3.3 生境评价

3.3.1 工作环境

该项研究使用带有 ARC/INFO Version 7.03 的 Sun SPARC-LX 工作站, 设备为 Calcomp 9500 数字化仪, Calcomp 3036 绘图仪等。

3.3.2 数据库设计

根据亚洲象生境因子分析和遥感判读的结果, 生境质量评价所需的信息有: 地形、水系、植被、人口密度、道路、地名、行政界线等。数据层的名称, 数据模型和属性(表 5)。

表 5 数据库的设计
Table 5 The design of database

数据层	地 形	河 流	植 被	道 路	居民点	界 线
数据模型	线结构	线结构	多边形	线结构	点结构	线结构
属 性	等高线	河流类型	植被类型	道路等级	居民点地名	乡村行政界线

关于具体的数据库设计, 我们专门拟定了数据字典^[3], 以便建立数据库。

3.3.3 数据库建立

数据库包括图形数据库和属性数据库两个组成部分。

建立图形数据库时, 使用 Calcomp 9500 数字化仪进行图形输入。为了保证图形质量, 在勐养自然保护区选择了 17 个分布比较均匀的控制点, 使控制点在地形图(1: 50,000)上的残余误差小于 0.2mm。在保证图形精度的前提下, 进行坐标转换、图形编辑和拓扑关系的建立, 最后输入属性数据。

属性数据库, 除了基于 Coverage 的数据类型, 自动产生诸如面积、周长、长度之类的空间图形信息之外, 还需要增加用户自定义的属性数据, 比如地类、植被类型, 高程, 河流和公路等级等。以便识别地表特征并建立图形与属性之间的对应关系。

3.3.4 分析

根据经营区划所划分的地块单元(小班), 按各单元的植被、郁闭度、水源、坡度、坡向、坡位、海拔(坡度、坡向、坡位、海拔由地形派生)、人为活动强度等生境因子, 利用已建立的多元线性回归方程, 计算各地块的每公顷面积足迹数量。例如第 1 林班 2 小班: 植被(X_1)为竹林, 按表 2 中的赋值为 6.1, 如上郁闭度(X_2)中赋值为 1.9, 该地距离水源(X_3)400m, 赋值为 5.4, 坡度(X_4)20—30 度之间, 赋值 2.6, 坡向

(X_5) 半阴半阳, 赋值为 2.9, 坡位 (X_6) 中坡, 赋值 4.9, 海拔 (X_7) 小于 800m, 赋值为 3.0, 人为活动强度 (X_8) 弱, 赋值 7.0。根据表 3, 计算可得:

$$Y = -1705.03 + 156.40 \times 6.1 + 196.90 \times 1.9 + 101.44 \times 5.4 + 142.80 \times 2.6 \\ + 157.95 \times 2.9 + 12.17 \times 4.9 + 115.29 \times 3.0 + 132.99 \times 7.0 \\ = 2337 \text{ 个/ha.}$$

根据每公顷的足迹数量全距及现实经营水平, 进行生境质量评价 (表 6)。

表 6 生境等级
Table 6 Habitat classification

足迹数量 (个/ha)	<600	601 — 1200	1201 — 1800	>1801
质量等级	劣等	中等	良好	优等

上例, 第 2 小班属优等地块。按此方法, 对勐养自然保护区各地块 (小班), 进行了质量评价。而后综合得出勐养自然保护区亚洲象栖息环境评价的数字地图。

4 结果与讨论

4.1 初步结果

生成了勐养保护区亚洲象栖息环境评价系统。包括输出森林植被专题图 (图版 I 图 1) 及生境质量等级专题图 (图版 I 图 2)。获得了落实到山头地块的现实的生境质量空间分布信息, 为管理保护工作提供依据。

通过分析评价, 得出了亚洲象 4 个生境等级的面积及其百分比 (表 7)。

表 7 生境等级面积
Table 7 Area sum of habitat classification

质量等级	优等地	良好地	中等地	劣等地
地块数量	101	171	225	181
面积 (ha)	2930	31674	44097	33302
%	3.5	28.0	39.0	29.5

根据生境因子分析, 4 种生境质量等级的主要特征是:

优等地: 人为活动很弱, 海拔在 1000—1300m 之间, 坡度 20—30 度, 阴坡, 在山坡中下部, 一般在 100m 之内有水源, 植被类型为竹林, 这类地块是亚洲象的最佳栖息环境, 多位于自然保护区的核心地带。

良好地: 人为活动较弱, 阴坡或半阴半阳坡, 距水源大多小于 500m, 多为常绿阔叶林或竹林。

中等地: 人为活动一般, 坡向多为半阴半阳坡, 离水源较远, 灌木较多, 也有常绿阔叶林。

劣等地：人为活动较多，多为阳坡，离水源远，多数大于 700m，多为灌木草地、农地或坡位很高的裸地，属于亚洲象极不利的生境，多位于非核心区。

根据生境特征，按照因地制宜，因害设防的原则，提出相应治理栖息环境的具体对策。对于优良等级的地段，严格控制人为活动，居民点应立即外迁，不得上山打猎、砍树、采竹笋和砍芭蕉等。对其中的小水池，应定期投放食盐和含碘物质，以供亚洲象食用。对于中等、劣等质量的地段，应严禁刀耕火种的游耕方式，大力开展混农林业，以建立生态村，恢复森林植被，增加地力及提高农民经济收入。特别应当加强法制教育，对猎杀亚洲象的不法分子进行严惩。在亚洲象偷食、破坏农作物较为严重的地区，设置电围栏，防止亚洲象的危害。

4.2 问题讨论

在本次研究中，考虑到生境因子的稳定性，我们主要偏重于自然环境因子，人为因子也只局限于稳定的人口密度。然而社会因素对生境影响也起着相当大的作用，包括干扰破坏和救助保护两个方面。例如，1994 年 12 月 25 日中央电视台“焦点访谈”节目报道了不法分子猎杀亚洲象 16 头，打伤 3 头的严重违法行为。同时，随着人们保护意识的增强，重视了对亚洲象的保护。例如，1994 年 12 月 25 日勐腊县农民见到母象遗弃了刚出生的小象，立即将小象送交保护区管理所，使之得到了妥善的养护。此外，民族习惯、宗教信仰在亚洲象保护中所起的作用，在本次研究中未作进一步分析。

此次研究，在方法上属于森林抽样、遥感和地理信息系统的一体化技术。根据国际林协 (IUFORO) 1992 年在曼谷召开的遥感抽样地理信息系统森林监测学术讨论会^[4]和 1994 年的森林监测指南一书^[5]，都将抽样、遥感和地理信息系统的相互结合，作为国际森林监测的发展趋势。我们此次所进行的生物多样性保护中的亚洲象生境评价，从方法论来说，就是林业 3S 一体化技术的有益尝试。

参 考 文 献

- [1] Stephen S. Talbot, Carl J. Markon, Intermediate-Scale Vegetation Mapping of Innoko National Wildlife Refuge, Alaska Using Landsat MSS Digital Data. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 1988 LIV (3): 377—383.
- [2] 李芝喜等. 利用多种传感器信息编制热带森林植被图的研究. 环境遥感, 1993, 8(3): 180—189.
- [3] ESRI. SWFC. Database Design, Xishuangbanna Agroforestry Development Project. 1994.
- [4] R. H. Cydelund Songkram, Risto Paivinen Thammincha. Remote Sensing and Permanent Plot Techniques for World Forest Monitoring. Proceeding of the IUFRO S4.02.05, Pattaya, Thailand. 1992.
- [5] Risto Paivinen, International Guidelines for Forest Monitoring. IUFRO world series 1994, 5: 6—34.

作 者 简 介

李芝喜，男，1936 年生。西南林学院毕业，曾在加拿大、比利时和美国进行过访问研究，现为西南林学院教授。早期从事森林航测教学，近 20 年来，从事林业遥感科研和教学工作。发表论文 30 余篇，出版《林业遥感》一书。

Evaluation of Asian Elephant's Habitat

Li Zhixi Li Hongga Lu Feng

(Southwest Forestry College, Kunming 650224)

Abstract This paper offers the means of assessing the Asian Elephant (*Elephas maximus* Linnaeus)'s habitat. Firstly, based on the field sampling investigation, we used multivariate regression to quantitatively analyse the Asian elephant's habitat factors. Secondly, through the interpretation of the aerophotos and TM data, the theme information of elephant's habitat was obtained and the database of geographic information system for habitat was established. Thirdly, we used the SUN workstation ARC/INFO software to evaluate the habitat quality of elephant in Mengyang nature reserve of Xishuangbanna. Lastly, we put forward some measures and suggestions to improve the elephant's habitat to ensure the existence and propagation of Asian elephant.

Key words Asian elephant (*Elephas maximus* Linnaeus), Habitat, Sampling, Remote sensing, Geographic information systems (GIS)



图1 TM 3、4、2 (RGB)
彩色合成三维显示

图4 分类结果 (I) 水 (黑),
裸土 (黄), 旱地 (红),
迹地 (绿)

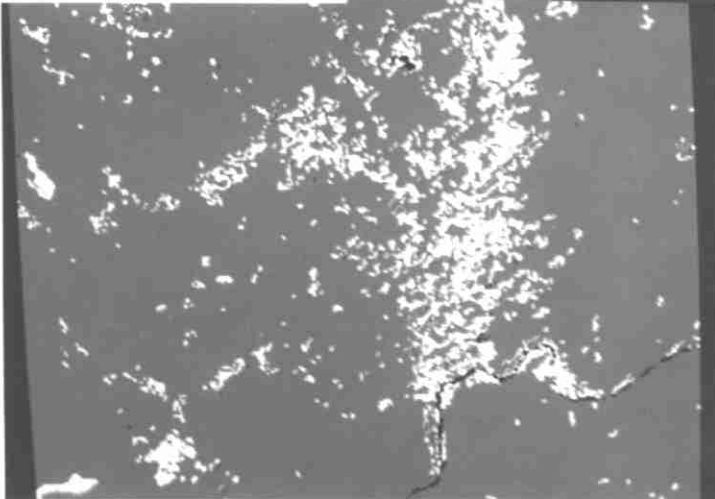
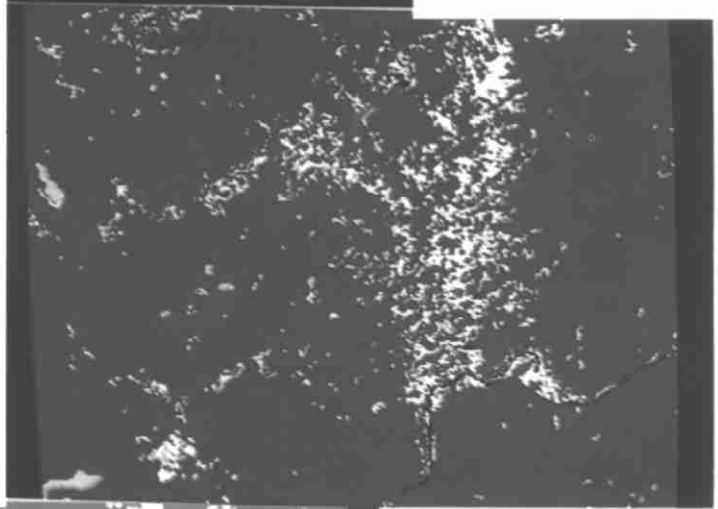


图5 分类结果 (II) 水 (蓝),
居民地 (红), 水田 (黄)