

## 景观变化对海南坡鹿栖息地分布的影响\*

颜文博<sup>1</sup> 曾治高<sup>2\*\*</sup> 宋延龄<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>陕西理工学院生物科学与工程学院, 陕西汉中 723001; <sup>2</sup>中国科学院动物研究所, 北京 100101)

**摘要** 利用 20 世纪 50 和 80 年代海南坡鹿 (*Cervus eldi hainanus*) 的分布数据 构建栖息地分布模型和栖息地变化模型 分析了主要景观及其分布变化对上述 2 个时期坡鹿适宜栖息地的影响 并对景观因素变化对栖息地分布变化产生的影响进行了评价。结果表明: 50 年代海南坡鹿的适宜栖息地分布与林地面积比率、斑块丰富度显著正相关, 而与林地边缘密度呈显著负相关; 80 年代其适宜栖息地分布则与斑块丰富度呈显著负相关, 与林地边缘密度呈显著正相关; 道路密度也影响本时期坡鹿适宜栖息地的分布。草地转化为林地的比率、道路密度变化率、草地转化为农田的比率、林地和草地转换为居民地的比率均对海南坡鹿的栖息地分布变化具有重要影响。研究表明 坡鹿栖息地的分布受到景观变化的重要影响, 而人类活动干扰则是适宜栖息地丧失的重要因素。

**关键词** 景观变化; 海南坡鹿; 栖息地

中图分类号 Q958 文献标识码 A 文章编号 1000 - 4890(2014) 6 - 1634 - 05

**Effects of landscape changes on habitat distribution of Hainan Eld's deer.** YAN Wen-bo<sup>1</sup>, ZENG Zhi-gao<sup>2\*\*</sup>, SONG Yan-ling<sup>2</sup> (<sup>1</sup>*School of Bioscience and Engineering, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723001, Shaanxi, China;* <sup>2</sup>*Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2014, **33**(6): 1634 - 1638.

**Abstract:** In this study, we focused on the influence of landscape change from 1950s to 1980s on the changes of suitable habitat and distribution of the Hainan Eld's deer (*Cervus eldi hainanus*). Based on distribution data of the deer in 1950s and 1980s, we built two models of habitat distribution and a model of habitat distribution change. We further analyzed the main landscape factors influencing the suitable habitat distribution in the two periods, and evaluated the main landscape factors influencing the habitat distribution change from 1950s to 1980s. The results showed that the suitable habitat distribution of the deer had significant positive correlations with the forest cover and patch richness, but a significant negative correlation with the forest edge density in 1950s. However, in 1980s the suitable habitat distribution of the deer was negatively affected by the patch richness, but positively affected by the forest edge density. Road density also affected the suitable habitat distribution in the 1980s. The suitable habitat change was greatly affected by land use conversion from grassland to forest land and agricultural land, and from grassland and forest land to residential land. Moreover, the change of road density also made a contribution to the suitable habitat distribution. Our results confirmed that human disturbance greatly affected landscape change and resulted in the loss of deer habitat.

**Key words:** landscape change; Hainan Eld's deer; habitat.

景观变化对动物的栖息地分布具有重要影响 (Pearson *et al.*, 1999)。自 20 世纪 50 年代以来, 人类活动造成土地利用剧烈变化, 也使我国大部分地区的景观结构发生了巨大变化。大型哺乳动物一般

都需要较大的栖息地范围, 从而更易受到土地利用变化的影响 (Gordon & Loison, 2009)。在景观剧烈变化的地区, 大型哺乳动物都表现出种群分布和数量的急剧减少 (Morrison *et al.*, 2007)。例如, 在最近的 100 多年里, 北美 10 种有蹄类动物中有 7 种的分布范围缩减到原来的 20% (Lalbert & Ripple,

\* 国家自然科学基金项目 (30770320) 资助。

\*\* 通讯作者 E-mail: zengzhg@ioz.ac.cn

收稿日期: 2013-11-02 接受日期: 2014-03-13

2004)。为了有效保护和管理濒危有蹄类动物,必须掌握它们对景观变化和栖息地变化的响应。

海南岛西部地区是典型的农林交错热带景观环境。岛西内部是以林地为主,滨海平原是以农田为主(王兮之等 2006)。岛西地区在 20 世纪 50 年代的人口密度很低,但是到 20 世纪 80 年代约有 100 多万人迁入(海南省地方史志办公室,1994)。急剧增加的人口密度加剧岛西景观环境结构的变化,使 20 世纪 50 年代以热带稀疏草原和热带季雨林为主的自然景观,到 80 年代变成了以农田和人工林等人类主导景观为主。

海南坡鹿(*Cervus eldi hainanus*)是生活在热带地区的一种鹿科动物,也是国家一级重点保护动物。该物种在 20 世纪 50 年代还广泛分布在海南岛西部地区,但到 1983 年仅分布在大田自然保护区(Zeng et al. 2005)。历史数据表明,坡鹿主要栖息于海拔 200 m 以下的热带稀疏草原生境(余斯绵等,1984)。在现有坡鹿分布的海南大田自然保护区内,坡鹿主要栖息于海拔低于 80 m 热带草原生境(宋延龄,1994)。然而,对再引入坡鹿的研究也表明该物种可以栖息于海拔 200~400 m 的生境中(Yan et al., 2013)。坡鹿的这些生境主要是由林地和草地景观组成。这 2 类景观因素的变化对坡鹿栖息地分布变化具有重要影响(Koy et al., 2005; McShea et al., 2005)。

本研究依据 20 世纪 50 和 80 年代坡鹿的分布范围信息及近 30 年来对该物种栖息地利用状况的研究数据,通过构建 20 世纪 50 和 80 年代的坡鹿栖息地分布模型,对这 2 个时期栖息地的景观因素进行分析,同时构建了栖息地分布变化模型以确定影响坡鹿栖息地分布变化的景观因素。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

研究地区位于海南岛西部的儋州、白沙、昌江、东方、乐东 5 个县市辖区(108°38'E—109°12'E, 18°24'N—19°37'N;图 1)。该区地形由东向西梯状降低,依次为丘陵带、台地带和滨海平原带。该区属热带半干旱气候,年平均气温 22~26 °C。年降雨量 1000~1200 mm;且有明显的旱季和雨季。由于人类的土地开发利用,分布在中低海拔区域的热带季雨林已经转化成了低矮的灌木林,只有在高海拔区域还残存着一些热带季雨林。热带季雨林的主要组

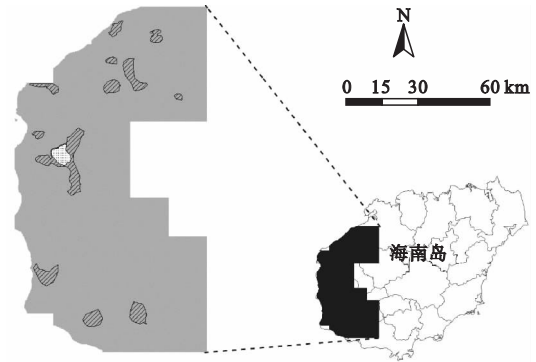


图 1 研究地区的位置和海南坡鹿的分布示意图

Fig.1 Location of the study area and distribution of the Hainan Eld's deer

斜线区域表示坡鹿 20 世纪 50 年底的分布区域,点区域表示坡鹿 20 世纪 80 年代的分布区域。

成树种为白格(*Albizia procera*)、厚皮树(*Lansea grandis*)、叶被木(*Phyllochlamys taxoides*)和刺桑(*Taxotrophis ilicifolius*)。人工林主要分布在低海拔区域,主要包括芒果林和其他人工经济林。天然林保护工程实施以后,热带季雨林在中低海拔区域正在逐渐恢复。

### 1.2 GIS 地图数据

美国陆军地图局根据 1947—1953 年的资料绘制了研究地区的 1:250000 土地覆盖地图(土地覆盖类型主要标明了 4 类:林地、农田、水域和居住地)。再根据同时期的海南岛志等相关地图资料,对研究地区的未分类区域进行了再分类得出 20 世纪 50 年代的 5 类土地覆盖数据:林地、农田、草地、水域和居住地。20 世纪 80 年代的土地覆盖地图数据来源于中国科学院地理所制作的全国土地利用地图,其土地覆盖类型分为 6 大类 31 小类,比例尺是 1:100000。由于这 2 个时期土地覆盖地图的分类和比例尺存在差异,对它们进行标准统一化处理,具体方法为:(1)把土地覆盖地图数据进行重新分类,分别得到 2 个时期只有 5 个土地覆盖分类(林地、农田、草地、水域、居住地)的标准地图数据;(2)把 2 个时期的地图都转化成 100 m 像素的栅格地图数据。

### 1.3 土地覆盖变化

使用 ENVI 4.7 软件的 Change Detection Statistics 工具分析 2 幅栅格地图的土地覆盖变化。每类土地覆盖类型(林地、农田、草地、水域、居住地)可以分别转化为其他 4 类,最终得到一个包含 20 类土地覆盖转化类型的栅格地图。本研究主要分析林地

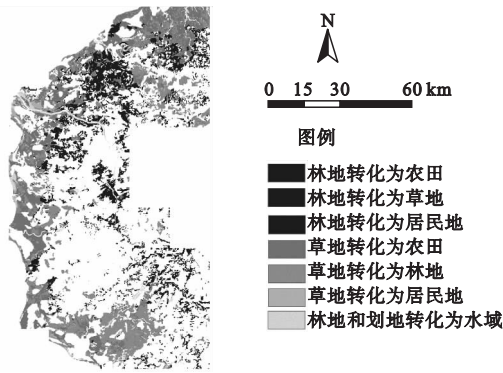


图2 研究地区的林地和草地向其他土地覆盖类型的转化示意图

Fig.2 Conversion from wood and grass to other land cover types in the study area

和草地的转化对海南坡鹿栖息地变化的影响。因此,把土地覆盖转化类型的栅格地图简化成只包含林地和草地转化的栅格地图(图2)。

#### 1.4 模型变量

首先,依据余斯绵等(1984)汇集的海南坡鹿在20世纪50和80年代的分布范围数据,分别绘制20世纪50和80年代的海南坡鹿分布地图。然后,采用栖息地利用点和不利用点方法,构建两个时期的栖息地分布模型。构建间隔距离1 km的位点栅格地图,把这个位点栅格地图覆盖在研究地区地图上,提取利用点和不利用点。利用点是指那些落入坡鹿分布区内的点。不利用点是指那些距离分布区大于2 km且小于6 km范围的点(主要是为了尽量降低地理隔离引起的误差)。然后在SPSS 20.0中软件中使用随机函数提取构建模型的利用点和不利用点。从20世纪50年代的479个利用点数据,提取350个点,从3168个不利用点中数据中提取940个点;对于80年代的数据,从40个利用点和336个不利用点分别提取30和100个点。在构建栖息地分布变化模型时,把在2个时期都落入坡鹿分布区内的点作为不变点(随机提取30个),把20世纪50年代落入坡鹿分布区而80年代不在分布区的点作为变化点(随机提取86个)。

为了使2个时期的栖息地分布模型具有可比性、尽可能地平衡模型的清晰性和生态学意义之间的关系,把海南坡鹿的潜在栖息地类型都作为栖息地预测变量。由于20世纪50年代的地图数据把林地都作为一个植被类型,因此本研究也把林地类型作为一个土地利用类型,把林地所占的面积比率和边缘密度(edge density)作为模型变量。草地为坡

鹿提供丰富的食物资源,因此把草地所占的面积比率作为模型变量。在景观尺度上,由于斑块丰富度(patch richness)可能是影响栖息地分布的重要因素,因此把斑块丰富度也作为模型变量。人类干扰活动是导致坡鹿种群快速衰退的主要原因(余斯绵等,1984)。由于缺乏每个乡镇的人口具体数据,故采用道路密度这个可以间接地反映人口密度的数据作为人类干扰活动的变量。栖息地变化模型的变量包括林地和草地向其他土地利用类型的转化比率,以及道路密度的变化率。

在ArcMap 10.0软件中使用临近统计(neighbourhood statistics)分析方法对数据点进行临近统计分析,根据再引入坡鹿的大家域面积(潘多,2010)把临近统计分析的半径确定为2 km。然后,使用Fragstats 4.1软件提取模型变量。

#### 1.5 模型构建和评价

使用SAS 9.1统计软件的一般线性模型(generalized linear model)的逐步探测过程方法(step-up procedure with deletion)构建模型。根据Akaike Information Criterion(AIC)值进行判定,AIC值最小的模型就是最佳模型。使用Receiver Operating Characteristic(ROC)方法评价模型的精确度(Guisan & Zimmermann,2000),采用ROC曲线下面积(AUC)评价模型精确度:AUC $\geq$ 0.7表示模型具有较高的预测精度(McPherson *et al.* 2006)。同时,也采用Kappa值评价模型精度:0.4~0.55、0.55~0.7、0.7~0.85、0.85~0.99分别表示模型精度为合理、较高、很高与极高(Monserud & Leemans,1992)。

## 2 结果与分析

### 2.1 海南坡鹿栖息地分布模型

20世纪50年代的栖息地分布模型显示,海南坡鹿适宜栖息地的分布与林地的面积比率显著正相关( $\beta=0.07$ , $P<0.01$ ),与林地的边缘密度则显著负相关( $\beta=-0.05$ , $P<0.05$ ),表明斑块面积较大的林地是坡鹿的适宜栖息地;同时,坡鹿的适宜栖息地分布与斑块丰富度显著正相关( $\beta=0.61$ , $P<0.001$ ),表明坡鹿偏爱景观异质性较高的生境(表1)。草地虽然是重要的景观类型,但栖息地分布模型判定它对海南坡鹿的栖息地分布没有影响。道路密度对海南坡鹿50年代的栖息地分布同样没有影响。此时期坡鹿栖息地分布模型的预测精度偏低(Kap-

pa = 0.41; 表 2)。

与 20 世纪 50 年代的栖息地分布模型相反, 80 年代的栖息地分布模型显示坡鹿的适宜栖息地分布与斑块丰富度显著负相关 ( $\beta = -1.73, P < 0.001$ ), 表明本时期坡鹿偏好景观异质性较小的生境。道路密度也影响坡鹿适宜栖息地的分布, 坡鹿主要分布在道路密度较低的区域 ( $\beta = -2.37, P < 0.01$ )。林地面积比率没有影响 80 年代的栖息地分布, 但是坡鹿适宜栖息地的分布与林地的边缘密度显著正相关 (表 1), 表明坡鹿偏好斑块复杂性较高的林地。草地所占的面积比率虽然进入了栖息地分布模型, 但并没有产生显著影响 (表 1)。此时期坡鹿栖息地分布模型有很高的预测精度 (Kappa = 0.90; 表 2)。

### 2.2 海南坡鹿栖息地分布变化模型

栖息地分布变化模型结果显示有 5 个栖息地变量影响海南坡鹿的栖息地分布变化 (表 3), 其中 4 个栖息地变量对模型具有显著影响 ( $P < 0.01$ ): 依次

表 1 20 世纪 50 年代和 80 年代的海南坡鹿栖息地分布模型的变量系数、标准误 (SE) 和显著性 (P)

Table 1 Coefficients ( $\beta$ ), standard errors (SE), and significance (P) for explanatory model variables of habitat distribution for Eld's deer presence/absence in the 1950s and 1980s

模型变量	1950s			1980s		
	$\beta$	SE	P	$\beta$	SE	P
林地面积比率	0.07	0.03	<0.01	-	-	-
林地边缘密度	-0.05	0.02	<0.05	0.12	0.04	<0.01
草地面积比率	-	-	-	-3.48	2.74	0.20
道路密度	-	-	-	-2.37	0.80	<0.01
斑块丰富度	0.61	0.13	<0.001	-1.73	0.50	<0.001

表 2 20 世纪 50 年代和 80 年代海南坡鹿栖息地分布模型和变化模型的评价

Table 2 Summary of the performance of the habitat models and the change model for the 1950s and 1980s

模型	AIC	AUC	Kappa
50 年代模型	586.14	0.63	0.41
80 年代模型	94.66	0.91	0.90
变化模型	75.75	0.94	0.94

表 3 坡鹿栖息地变化模型的各项系数

Table 3 Coefficients ( $\beta$ ) for change model of Eld's deer habitat

变量	Wald-Z	$\beta$	SE	P
林地转化为草地比率	1.87	-109.1	79.71	0.17
林地和草地转化为居民地比率	5.51	-131.7	56.11	0.02
草地转化为农田比率	6.73	-2.91	1.12	<0.01
草地转化为林地比率	12.39	-4.40	1.25	<0.001
道路密度变化率	7.48	-2.21	0.81	<0.01

是草地转化为林地比率 (Wald Z = 12.39), 道路密度变化率 (Wald Z = 7.48), 草地转化为农田比率, 林地和草地转换为居民地比率 (Wald Z = 5.51) 值最小。该变化模型的 AUC 值是 0.94, 且 Kappa 值也达到了 0.94 (表 2), 说明这是一个具有很高模拟精度的模型。

### 3 讨论

景观异质性的变化对海南坡鹿的栖息地分布具有重要影响。本研究证实, 海南坡鹿在 20 世纪 50 年代倾向于选择斑块丰富度较大的生境, 但 80 年代坡鹿对栖息地的选择则完全相反。这是因为海南坡鹿的生存不仅需要食物、水等资源, 还需要隐蔽环境 (特别是育幼时期更需要安全环境)。异质性的景观生境有利于坡鹿的生存繁衍。在 20 世纪 50 年代, 人类干扰活动很少的热带稀疏草原和热带季雨林是研究地区的主要生境类型, 斑块丰富度大的生境可以满足海南坡鹿多方面的栖息地需求。根据中国第二次人口普查数据, 从 20 世纪 50—80 年代, 研究地区内的人口数量急剧增加 (海南省地方史志办公室, 1994)。土地利用状况随着人类活动的加剧也发生了显著变化, 农田、人工林和居民地等人类景观斑块的数量和面积也急剧增加 (廖继武等, 2009)。斑块丰富度较大的环境都是人类农业活动剧烈的地区。因此, 20 世纪 80 年代模型显示海南坡鹿选择斑块丰富度较小的生境, 可能是坡鹿为了躲避强烈的人类干扰活动的结果。

2 个时期的栖息地模型都显示林地是海南坡鹿的适宜栖息地分布的重要影响因素, 但它们之间也存在明显的差异。20 世纪 50 年代坡鹿选择面积较大的林地, 而 80 年代选择面积较小的林地。20 世纪 50—80 年代, 海南经历了 50 年代的“橡胶热”、60 年代的“垦荒热”、70 年代的“育种热” (蔡运龙, 1994), 研究地区的天然林面积递减, 橡胶林等人工林的面积持续增加。到 20 世纪 80 年代, 人工林成为研究地区的主要林地类型, 而天然林仅在大田自然保护区和中高海拔区域有零散分布。在 20 世纪 80 年代坡鹿可能仍然选择利用天然林, 但此时天然林的面积已经显著减少, 所以栖息地模型显示的结果是坡鹿选择面积较小的林地。袁喜才等 (1996) 的研究结果也显示, 海南坡鹿主要选择利用天然林, 很少利用保护区周边的人工林。

栖息地变化模型结果显示人类活动干扰 (居民

地、农田和道路)是海南坡鹿适宜栖息地丧失的重要因素。在20世纪50年代,海南坡鹿主要栖息于海拔200 m以下的热带稀疏草原生境(余斯绵等,1984),而热带稀疏草原也是移民迁入的首选区域。从20世纪50—80年代,随着移民数量的急剧增加,研究地区内的居民地、农田和道路快速侵占着热带稀疏草原等自然生境,导致海南坡鹿的适宜栖息地丧失。例如,在1976年,地方政府在邦溪坡鹿自然保护区内部安置了一个移民村,移民开始在保护区内建房、垦田、修路,居民地、农田和道路快速成为了邦溪保护区内的主要景观;到1983年,由于适宜栖息地的急剧减少,野生坡鹿在邦溪保护区灭绝。

2个时期的栖息地模型都显示草地对海南坡鹿的栖息地分布没有显著影响。研究表明,在20世纪50年代,海南坡鹿没有选择草地,而选择林地,这说明隐蔽性是海南坡鹿栖息地选择的重要限制因素。有研究表明,海南坡鹿的仔鹿选择隐蔽条件好的环境(宋延龄和李善元,1991),缅甸Chatthin保护区栖息的坡鹿也选择隐蔽性较好的生境(Aung *et al.*, 2001)。

尽管与80年代的栖息地模型相比,50年代的栖息地模型的预测精度略低,但从统计学分析角度看,其精度仍在合理可以接受的范围内(表2)。本研究表明,天然林是海南坡鹿的主要生境,由人类活动干扰导致的草地和林地转换为农田、道路和居民区的景观变化,是适宜栖息地丧失的重要原因。1998年开始实施的天然林保护工程对海南坡鹿的适宜栖息地恢复具有重要作用,因此,本研究栖息地模型对于评价当前海南坡鹿的栖息地景观特征有重要意义。

致谢 感谢荷兰屯特大学汪铁军教授在本研究设计过程中提供的帮助,感谢中国科学院资源环境科学数据中心提供的数据支持。

#### 参考文献

- 蔡运龙. 1994. 海南岛土地资源的利用条件与开发方向. 自然资源, 6(2): 1-7.  
 海南省地方史志办公室. 1994. 海南省志. 海口: 南海出版公司.  
 廖继武, 孙武, 尹秋菊. 2009. 海南岛西部沿海地区20世纪30年代以来土地利用变化及其驱动机制分析. 亚热带资源与环境学报, 4(2): 17-23.  
 潘多. 2010. 再引入海南坡鹿种群对人为干扰环境的生态适

- 应(博士学位论文). 北京: 中国科学院动物研究所.  
 宋延龄. 1994. 四十年来海南坡鹿分布区和种群数量的变迁原因//夏武平, 张洁. 人类活动影响下兽类的演变. 北京: 中国科学技术出版社: 102-107.  
 宋延龄, 李善元. 1991. 海南坡鹿(*Cervus eldi hainanus*)仔鹿对卧息地的选择. 兽类学报, 11(3): 161-164.  
 王兮之, 郑影华, 李森. 2006. 海南岛西部土地利用变化及其景观格局动态分析. 中国沙漠, 26(3): 409-414.  
 余斯绵, 刘振河, 袁喜才. 1984. 海南坡鹿资源及保护利用. 野生动物, 5(5): 9-12.  
 袁喜才, 夏伟, 李善元. 1996. 海南坡鹿对生境的选择. 生态科学, 15(1): 52-56.  
 Aung M, McShea WJ, Htung S, *et al.* 2001. Ecology and social organization of a tropical deer (*Cervus eldi thamin*). *Journal of Mammalogy*, 82: 836-847.  
 Gordon IJ, Loison A. 2009. What is the future for wild, large herbivores in human-modified agricultural landscapes? *Wildlife Biology*, 15: 1-9.  
 Guisan A, Zimmermann NE. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135: 147-186.  
 Koy K, McShea WJ, Leimgruber P, *et al.* 2005. Percentage canopy cover: Using Landsat imagery to delineate habitat for Myanmar's endangered Eld's deer (*Cervus eldi*). *Animal Conservation*, 8: 289-296.  
 Laleberte AN, Ripple WI. 2004. Range contractions of north American carnivores and ungulates. *BioScience*, 54: 123-138.  
 McPherson JM, Jetz W, Rogers DJ. 2006. Using coarse-grained occurrence data to predict species distributions at finer spatial resolutions: Possibilities and limitations. *Ecological Modelling*, 192: 499-522.  
 McShea WJ, Koy K, Clements T, *et al.* 2005. Finding a needle in the haystack: Regional analysis of suitable Eld's deer (*Cervus eldi*) forest in Southeast Asia. *Biological Conservation*, 125: 101-111.  
 Monserud RA, Leemans R. 1992. Comparing global vegetation maps with the Kappa statistic. *Ecological Modelling*, 62: 275-293.  
 Morrison JC, Sechrest W, Dinerstein E, *et al.* 2007. Persistence of large mammal faunas as indicators of global human impacts. *Journal of Mammalogy*, 88: 1363-1380.  
 Pearson SM, Turner MG, Drake JB. 1999. Landscape change and habitat availability in the southern Appalachian highlands and Olympic peninsula. *Ecological Applications*, 9: 1288-1304.  
 Yan WB, Zeng ZG, Pan D, *et al.* 2013. Scale-dependent habitat selection by reintroduced Eld's deer (*Cervus eldi*) in a human-dominated landscape. *Wildlife Research*, 40: 217-227.  
 Zeng ZG, Song YL, Li JS, *et al.* 2005. Distribution, status and conservation of Hainan Eld's deer (*Cervus eldi hainanus*) in China. *Folia Zoologica*, 54: 249-257.

作者简介 颜文博,男,1978年生,博士。主要从事动物保护生物学研究。E-mail: Yanwb\_26@163.com  
 责任编辑 张敏