

黑龙江省野生东北虎调查管理信息系统的构建

马天 冯仲科* 郑君 王智超

北京林业大学 林学院 北京 100083

摘要: 文章以黑龙江省野生东北虎 (*Panthera tigris altaica*) 野外调查数据为基础, 利用地理信息系统技术、计算机技术与野生动物资源调查管理技术, 构建了黑龙江省野生东北虎调查管理信息系统。主要运用面向对象程序设计语言 C# 和 ArcGIS Engine 嵌入式组件技术以及 SQL Server 数据库技术, 设计并构建东北虎调查管理系统, 实现了对野生东北虎调查数据的图形可视化操作管理。同时, 结合研究区域内的自然因素和人文因素对调查资源进行动态的空间分析, 及时准确地反映出东北虎的种群数量和空间变化规律, 并制作出相应的分类专题图及野外分布信息统计图表等。该管理信息系统将有助于野生东北虎种群及栖息地调查数据与资料的科学管理, 对于推动我国野生东北虎就地保护和科学管理具有重要意义。

关键词: 东北虎; 地理信息系统; 面向对象程序设计; 嵌入式组件技术; 数据库

中图分类号: Q958.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263(2013)06-852-07

Construction of Investigation Information Management System of *Panthera Tigris Altaica* in Heilongjiang Province

MA Tian FENG Zhong-Ke* ZHENG Jun WANG Zhi-Chao

College of Forestry Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: Based on the field investigational data of Amur Tiger (*Panthera tigris altaica*) in Heilongjiang Province, we construct the investigate and management Informational system of Amur Tiger in Heilongjiang Province with the combination of the technology of geographic information system, computer technology and the technology of investigation and management about wild animal resources. This system is mainly built by Object-oriented programming language C SHARP, ArcGIS Engine embedded component technology and SQL Server database technology and achieve the graphical and visualized management of Amur Tiger's data in Heilongjiang Province. At the same time, this system is able to provide information on the population quantity the spatial variation timely and accurately by analyzing the spatial survey resources and combining natural factors and human factors in the study area as will as to produce information classification of thematic map and the corresponding field distribution statistical chart according to the analysis results. The system is helpful for the user to manage the survey data and information about wild tiger population and their habitat. It can play an important roll in promoting in situ conservation of wild tiger population and their habitat in China.

Key words: Amur Tiger (*Panthera tigris altaica*); Geographic information system; Object-oriented programming; Embedded component technology; Data base

基金项目 国家科技支撑计划项目 (No. 2012BAH34B01);

* 通讯作者, E-mail: fengzhongke@126.com;

第一作者介绍 马天, 男, 硕士研究生; 研究方向: 3S 技术在林业、野生动物资源保护上的应用; E-mail: 290172770@qq.com.

收稿日期: 2013-01-22, **修回日期:** 2013-04-16

东北虎 (*Panthera tigris altaica*) 属于国家 I 级保护动物, 被列入《濒危野生动植物种进出口国际贸易公约》(中华人民共和国濒危物种进出口管理办公室 1995) 附录 I 重点拯救物种之一, 为 IUCN 十大濒危食肉动物之首。它不仅具备独特的生态价值和经济价值, 而且具有独特的美学和文化价值。目前, 东北虎仅分布于亚洲东北部, 即俄罗斯西伯利亚远东地区、中国东北地区和朝鲜半岛。近半个世纪以来, 由于人类的过度捕猎和栖息环境的变化, 中国境内的野生东北虎的种群数量日益减少, 分布区也明显缩小, 已处于岌岌可危的境地。因此, 东北虎的保护成为了一项迫在眉睫的艰巨任务。

地理信息系统 (geographic information system, GIS) 是在计算机软硬件支持下, 对空间数据及属性数据以一定格式输入、存储、显示、和综合分析应用的技术系统。由于其具有强大的图形管理和空间分析功能, 因此迅速在自然科学、社会科学及军事科学中得到广泛应用 (杨娇等 2008)。为了进一步推进我国东北虎等大型食肉动物资源调查和科学管理, 适应数字林业建设的要求, 笔者利用地理信息系统技术、计算机技术与野生动物资源调查管理技术, 建立了黑龙江省野生东北虎调查管理信息平台, 为科学地制定野生东北虎保护和管理措施及规划自然保护区提供信息服务和决策依据。

建立保护区一直是生物保护的基础 (Rouget et al. 2006), 建立保护区需要对保护对象的生境需求进行分析。基于二次开发针对野外生物调查的地理信息系统虽然种类繁多, 但由于系统开发者所运用的组件技术在空间分

析上有一定的局限性 (如 MapX、SuperMap Objects 等), 大多数系统的功能只局限于调查数据的管理、专题图制作及对相关数据统计分析等方面, 对物种的生境进行分析仍然需要另外借助相关应用软件。为了弥补这一缺陷, 本研究运用了地理信息系统的主流软件 ArcGIS 系列产品中的 ArcGIS Engine 组件式技术, 利用其强大的空间分析 COM 组件, 构建以野生东北虎生境分析为主要功能, 集野外调查数据管理、分布信息统计分析、专题图制作于一体的管理信息平台, 真正意义上实现了在野生动物资源保护研究中的内外业一体化、自动化。

1 研究地区及系统数据采集方法

1.1 研究地区 黑龙江省境内东北虎主要分布于该省东部山区, 包括完达山东部、老爷岭南部分布地区, 地理坐标为 $128^{\circ}10'06'' \sim 134^{\circ}13'24''$ E, $43^{\circ}26'27'' \sim 47^{\circ}36'41''$ N, 包括 8 个森工林业局 9 个县市。海拔一般在 300 ~ 800 m, 坡度主要在 $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$, 气候属于中温带大陆性季风气候, 植被类型包括针叶林、阔叶林、针阔混交林、灌丛和建林沼泽等 (孙海义 2011)。

1.2 系统数据采集方法 系统数据包括 1999 ~ 2010 年黑龙江省东北虎野外调查点数据 (时间、地点、经纬度、雌雄、备注等信息), 由黑龙江省动物研究所提供 (表 1); 黑龙江省遥感影像 (30 m \times 30 m) 及 DEM (Digital Elevation Model, 数字高程模型), 从中国科学院数据应用环境网站 (<http://www1.csd.cn/>) 下载; 黑龙江省相关矢量图层, 包含河流水系、居民点、道路、林地等。

表 1 黑龙江省东北虎野外调查点数据示例

Table 1 The example of field survey data of Amur Tiger in Heilongjiang Province

时间 (年-月-日) Time (Year-Month-Date)	地点名称 Location	经度 Longitude	纬度 Latitude	年龄和性别 Age and Gender	备注信息 Remark
1999-10-20	东方红, 奇源, 26 林班	133. 516	46. 636	雌 Female	发现足迹
1999-10-22	东方红, 奇源, 81 林班	133. 496	46. 503	雌 Female	前一天晚某司机目击虎实体
1999-10-22	东方红, 五林洞, 81 林班	133. 496	46. 503	幼 Juvenile	前一天晚某司机目击虎实体
1999-11-05	迎春, 五泡, 6 林班	133. 179	46. 598	雌 Female	足迹来自于青山方向
1999-11-07	东方红, 青山, 5 林班	133. 258	46. 569	雌 Female	有卧迹、蹲迹、与熊同行足迹

2 系统的技术背景与路线

2.1 技术背景 黑龙江省野生东北虎调查管理信息系统,在对比了 C/S(客户机/服务器)和 B/S(浏览器/服务器)两种模式结构的优缺点的基础上,选择了具有交互性强、网络通信量低、响应速度快、有利于处理大量的数据(高艳强 2006)等特点的 C/S 模式结构。该模式结构能够满足实现野外调查数据实时上传与更新、动态分析的需求。客户机端以 Visual Studio 2008 为开发平台,以 C#为编程语言,结合 ArcGIS Engine 嵌入式组件技术开发而成。服务器端是由 Microsoft SQL SERVER 2005 数据库技术与 ArcSDE 空间数据引擎技术构建而成。

2.2 技术路线 以黑龙江省东北虎野外调查点数据为基础,通过系统的数据维护功能将数据上传到服务器端的数据库,利用 ArcSDE 空间数据引擎将野外调查点数据的经纬度坐标(X,Y)转化成矢量图层,结合研究区域内野生东北虎生境的影响因素图层,提取每一个野外调查点影响因素的分布信息,如与 DEM 相结合,提取该调查点的海拔与坡度、与居民点分布图层相结合,提取该点距最近居民点距离等。对提取的分布信息以图表形式进行统计分析,依据分析结果对相应图层建立缓冲区,然后根

据自然因素和人文因素对野生东北虎分布影响的重要性为每个缓冲区图层赋值,将赋值后的各个图层叠加合并,依据合并值的大小对合并后的图层进行分级,最后生成野生东北虎的生境适宜性示意图(图 1)。

3 系统结构与功能实现

3.1 系统的结构设计 根据系统的设计原则,运用经典的 Windows 窗体控件搭建系统框架,因此该系统的结构具备了实用、简洁的风格(黄林等 2003),同时结合 ArcGIS Engine 自带的控件以及基本操作功能的接口,使该系统具备地理要素可视化操作、编辑、查询检索、专题图制作、制图输出等基本的地理信息系统功能(图 2)。之后针对生境分析功能添加了野外调查数据维护、分布信息提取统计、空间分析三个模块。每一模块的详细功能互相合作,形成了对野生东北虎生境分析的技术路线。

3.2 系统的功能实现

3.2.1 野外调查数据导入与转换 由于野生动物资源具有自然性、社会性、区域性、多源性等多种特点,不仅包含非空间属性数据,还包含大量与地理位置相关的空间数据,因此数据集成管理技术显得尤为重要(刘红军 2011)。解决数据集成管理的有效途径,就是实现在关系数据库中空间数据与在同一关系数据库中属性

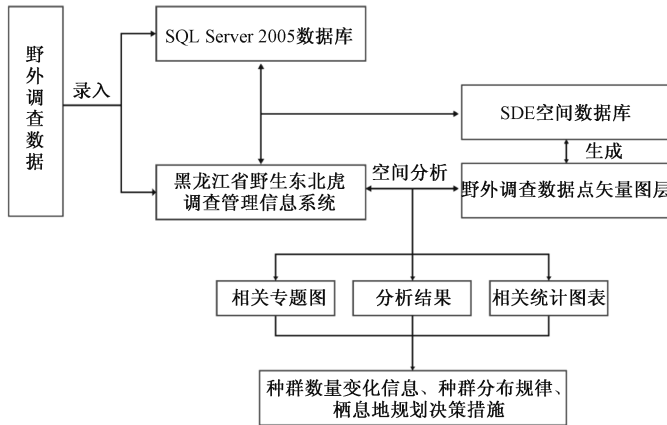


图 1 黑龙江省野生东北虎调查管理信息系统技术路线

Fig. 1 The technology route of investigate and management informational system of Amur Tiger in Heilongjiang Province

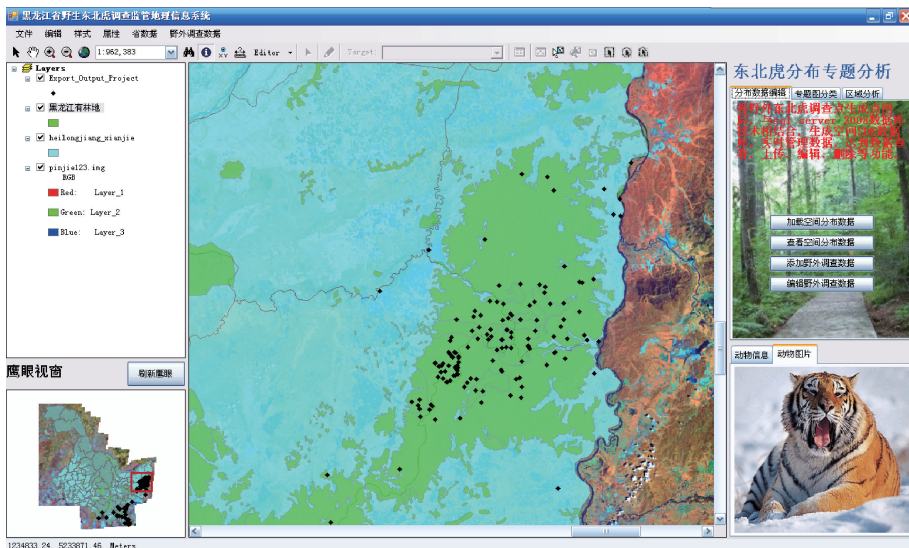


图 2 黑龙江省野生东北虎调查管理信息系统主界面

Fig. 2 The main interface of field survey and management informational system of Amur Tiger in Heilongjiang Province

数据的衔接, 实现在数据访问等操作中对属性数据和空间数据进行集成管理。ArcSDE 是 ArcGIS 的空间数据引擎, 它允许用户在多种数据管理系统中管理地理信息, 并允许所有的 ArcGIS 应用程序都能使用这些数据(以图形文

件的形式)。

基于上述技术, 笔者首先运用 ArcCatalog (地理数据资源管理器) 建立了空间数据库关系(图 3), 以空间数据引擎为桥梁, 将服务器端的数据库和客户端根据空间信息生成的图形

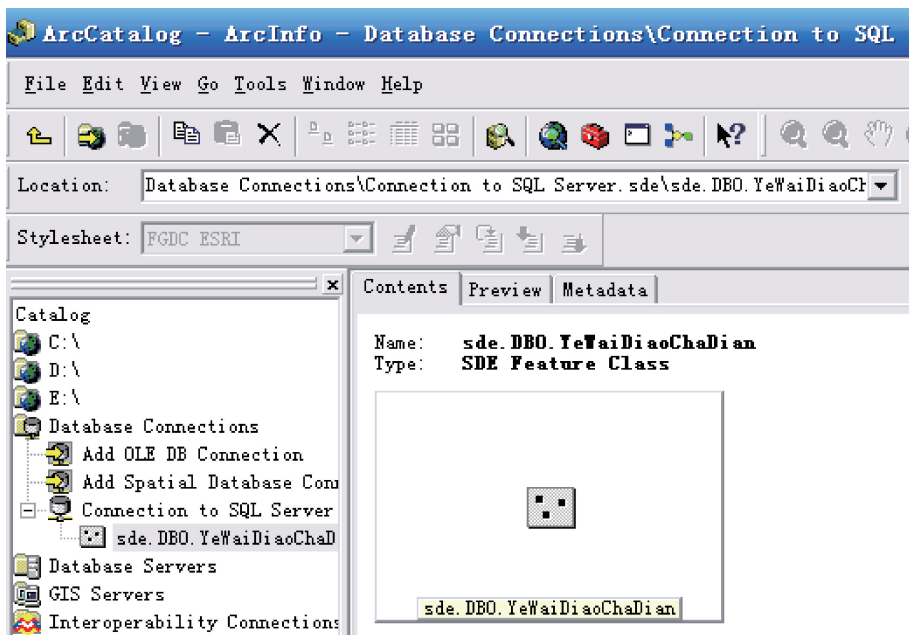


图 3 运用 ArcCatalog 建立 SDE 空间数据库

Fig. 3 SDE spatial database set by ArcCatalog

文件进行关系衔接,同时在系统中设计数据维护模块,使用户以界面操作的形式将东北虎野外调查数据上传到空间数据库。通过空间数据引擎技术,系统自动将调查数据的属性信息上传到服务器端的数据库,并同时根据调查数据的空间信息(经纬度坐标)生成以点为表现形式的矢量图层。

3.2.2 分布信息提取与统计 野生东北虎的生境影响因素分为自然因素和人为因素。自然因素主要包括适宜的林相、离水源距离、海拔高度、地势坡度等几个要素;人为要素包括距公路距离、距居民点距离等(刘雪华 2011)。本系统在分布信息提取统计模块中利用东北虎野外调查点所生成的矢量点图层,分别结合研究区域内相关图层,包括水系图层(一、二、三级河流),道路图层(国道、省道、铁路、城市道路、乡村路),DEM、林相图等,依次运用叠加分析的方法提取出东北虎野外调查点的分布信息。

该模块功能的核心技术是读取 ArcGIS 中 Analysis tools 空间分析工具包,调用空间分析功能(例如 near、slope、surface spot 等)相关的

接口来实现。使用 near 功能计算矢量图层中每个图形要素与其他图层中每个图形要素的最近距离,得到每一个东北虎调查点距河流、道路、居民点等的最近距离。同理,利用 slope、surface spot 功能可计算每一个东北虎调查点分布的坡度与海拔。

为了便于对调查点分布信息的统计分析,系统可将调查点的分布信息上传服务器端数据库(图 4),运用 SQL 语句(结构化查询语言)结合 .net 技术中的 Chart 图表统计控件对分布信息进行统计显示。通过图表的直观显示,用户可了解野生东北虎调查点位各个生境影响因素的分布情况,为下一步的生境分析做参考。如图 5 所示,以柱形图的方式直观表达 2006 年东北虎野外调查点距水源最短距离的统计结果。

3.2.3 生境分析 为了针对各个生境影响因素生成野生东北虎分布的适宜性区域,系统通过调用 AnalysisTools 中 Buffer 类的接口实现了缓冲区分析功能,对道路、河流、居民点等矢量图层进行缓冲区处理生成面状图层,其中缓冲距离的大小是根据东北虎野外调查点分布信息

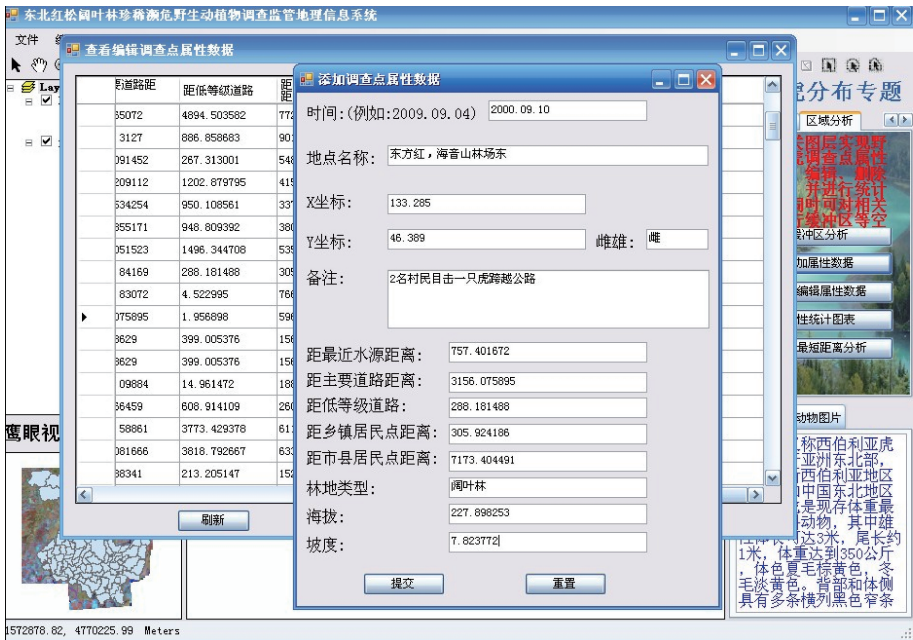


图 4 东北虎野外调查点数据维护界面(添加和编辑界面)

Fig. 4 The data maintenance interface of Amur Tiger's field survey (adding and editing interface)

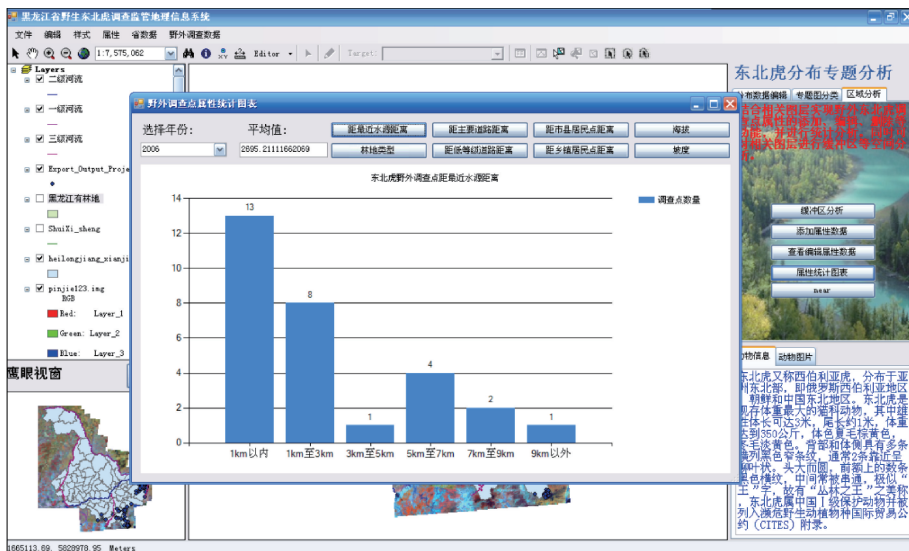


图 5 2006 年东北虎野外调查点距水源最短距离的统计结果

Fig. 5 The statistical result of the shortest distance of Amur Tiger's survey point from water source in 2006

经统计分析的结论得出。以图 5 为例,发现 2006 年东北虎调查点主要分布于距水源 1 km 以内区域,因此对 2006 年河流水系的线状图层以 1 km 为缓冲区距离做缓冲区处理,生成的面状图层则为东北虎针对水源分布的适宜区域。由于 DEM 为栅格数据,因此需要利用系统的分类功能根据东北虎调查点分布的海拔和坡向对 DEM 进行分类处理,之后利用系统的要素编辑功能对适宜区域进行矢量化生成面状图层。

由于各个生境影响因素对东北虎分布的重要性不同,必须确定各因素间的相对权重(曲艺 2010),以权重值为字段值利用系统的属性编辑功能对各个生境影响因素的面状图层添加字段并赋值。在计算权重方法的选择上,通过参考文献,发现在以往研究中并没有一个公认准确的方法来比较生境影响因素的重要性,有利用专家调查问卷的方式来确定生境影响因素对东北虎分布的重要性(李颖 2011),但人为比较会使主观因素占主导,影响结果的科学性。也有利用 SPSS 统计软件对所有变量数据进行主成分分析,通过比较对主成分的贡献度大小来确定各个因素间的重要程度(刘宇 2005),但纯应用数学方法会导致过分依赖实验数据,使分析结果不准确。因此本研究采用了层次分析

法(analytic hierarchy process, AHP),结合定性、定量分析过程,较为客观地确定生境影响因素之间的相对重要性。层次分析法首先把问题层次化,按问题性质和总目标将问题分解成不同层次,构成一个多层次的分析结构模型。然后构造判断矩阵,按先行后列的顺序比较所有要素两两相对重要性程度(Wang et al. 2008, Saaty et al. 1991)。本系统依据层次分析法的数学模型设计了权重计算功能,使用户依据层次分析法的原则依次输入两两因素之间的等级比较值,该系统可自动计算出各个生境影响因素的权重值。

之后通过调用 Analysis tools 中 union 功能的接口,对赋值后的各个图层实现图层合并,对结果图层依据累加字段值的大小进行符号化分级显示,一般可分为三个等级:适宜,次适宜,非适宜。从而生成每一年的野生东北虎生境示意图(图 6)。

4 结 论

4.1 优缺点讨论 黑龙江省野生东北虎调查管理信息系统还存在诸多不足之处,例如系统个别功能存在响应速度慢、处理速度慢的问题,需对后台代码及相应算法施行进一步的优化,同时

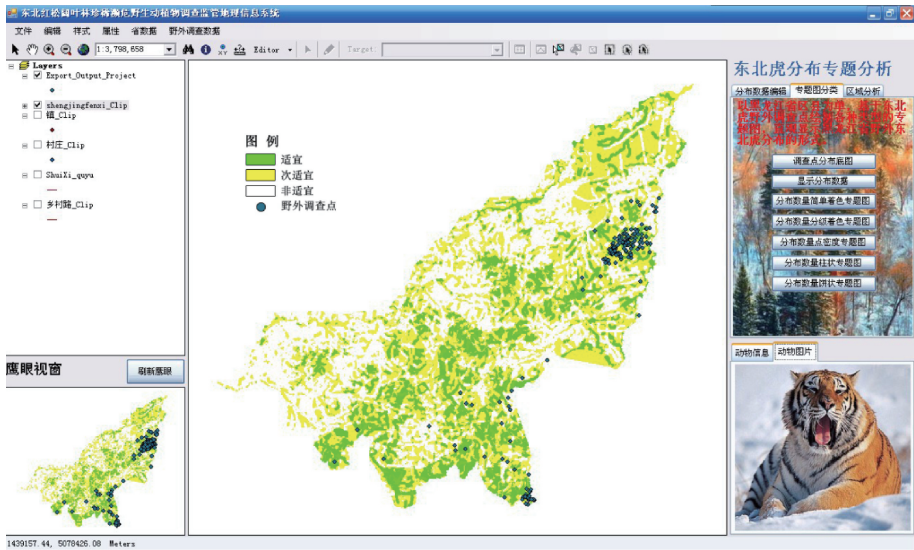


图 6 以 2006 年为例的东北虎生境适宜性示意图

Fig. 6 The example of habitat suitability maps for Amur Tiger's based on data collected in 2006

生境分析技术方法略显单一,但鉴于该系统所运用的开发语言及组件技术具备可扩展性强的特点,有利于以后开发更复杂的空间分析功能,从而利用到不同的生境分析技术路线当中。

4.2 创新点分析 本系统的创新点在于充分利用 ArcGIS Engine 组件技术,在二次开发的过程中将 GIS 中的空间分析功能最大限度地应用于野生动物生境分析上,不但解决了以往在野生东北虎的研究和保护中实地考察信息难以科学管理和数字化、可视化表达的难题,而且以与计算机人机交互的方式智能地对野外调查资源在地理空间上进行处理和针对性地分析,避免了内外业数据转换的繁琐步骤,节省内业处理工作的大量时间,从而在人力、物力、财力三个方面上提高了效率,为野生动物保护行业带来了显著的经济效益,同时促进了野生动物资源保护事业的发展。

参 考 文 献

Rouget M, Cowling R M, Lombard A T, et al. 2006. Designing large-scale conservation corridors for pattern and process. *Conservation Biology*, 20(2): 549 – 561.

Saaty T L, Vargas L G. 1991. Prediction, Projection, and Forecasting: Applications of the Analytic Hierarchy Process in

Economics, Finance, Politics, Games, and Sports. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Wang X D, Zhong X H, Liu S Z, et al. 2008. Regional assessment of environmental vulnerability in the Tibetan Plateau: Development and application of a new method. *Journal of Arid Environments*, 72(10): 1929 – 1939.

高艳强. 2006. 野生动物资源管理信息系统. 陕西: 西北农林科技大学硕士学位论文, 13 – 15.

黄林, 邵崇斌, 任晓静. 2003. 陕西省陆生野生动物资源调查管理信息系统的研究. *西北林学院学报*, 18(4): 113 – 117.

李颖. 2011. 珲春地区基于东北虎生境选择的生态廊道研究. 吉林: 延边大学硕士学位论文, 21 – 23.

刘红军, 吴学伟, 张延波. 2011. GIS 技术在濒危野生动物资源管理领域应用. *东北林业大学学报*, 39(7): 123 – 127.

刘雪华. 2011. 3S 技术与中国野生动物生境评价. 北京: 中国林业出版社, 66 – 69.

刘宇. 2005. 吉林珲春自然保护区冬季野生东北虎 (*Panthera tigris altaica*) 生态学问题研究. 上海: 华东师范大学硕士学位论文, 17 – 32.

曲艺, 栾晓峰. 2010. 基于最小费用距离模型的东北虎核心栖息地确定与空缺分析. *生态学杂志*, 29(9): 1866 – 1874.

孙海义. 2011. 东北虎. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 46 – 50.

杨娇, 张明海, 孙红瑜, 等. 2008. 黑龙江省珍稀濒危野生动物地理信息管理系统构建. *野生动物*, 29(5): 276 – 278.

中华人民共和国濒危物种进出口管理办公室. 1995. 濒危野生动植物种进出口国际贸易公约. 北京: 中华人民共和国濒危物种进出口管理办公室.