

# 生物多样性保护的区域生态安全格局评价手段——GAP 分析

王 棒<sup>1</sup>, 关文彬<sup>1</sup>, 吴建安<sup>1</sup>, 马克明<sup>2</sup>, 刘国华<sup>2</sup>, 汪西林<sup>1</sup>

(1. 北京林业大学水土保持部级重点实验室, 北京 100083; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

**摘 要:** GAP 分析是用来判别生物多样性保护的空白、遗漏区域(“gaps”)和需要采取保护行动的地区(conservation gap), 它是一种评估区域生物多样性所有成分所处保护地位、被保护程度等的科学方法。强调最大限度地保护生物多样性的先决条件是通过构建保护区网络, 不仅仅考虑生物多样性最高地区, 应该使本地种和生态系统都得到保护。区域生态安全格局的评价不仅要考虑生物及其生境的保护, 而且, 更要考虑受损生态系统和破坏景观的恢复, 即不仅考虑 Conservation Gap, 也要考虑 Restoration Gap。因而, 改进 GAP 方法可用于生态安全格局的分析与评价, 且有望成为重要的研究手段。

**关键词:** 区域生态安全格局; 景观生态; GAP 分析

**中图分类号:** X171.4; X176

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2006)01-0192-05

## A Method for Assessing Regional Ecological Security Pattern to Conserve Biodiversity ——GAP Analysis

WANG Bang<sup>1</sup>, GUAN Wen-bin<sup>1</sup>, WU Jian-an<sup>1</sup>, MA Keming<sup>2</sup>, LIU Guo-hua<sup>2</sup>, WANG Xi-lin<sup>1</sup>

(1. Soil and Water Conservation Key Lab of State Forestry

Administration, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Research Center for Eco-environment Sciences, CAS, Beijing 100085, China)

**Abstract:** GAP analysis is a geographic approach which combines individual species conservation with regional biodiversity conservation. GAP efforts identify “gaps” and areas that need conservation. It is a scientific approach to appraise the conservation status of all elements of the regional biodiversity. GAP stresses that the prerequisite of biodiversity conservation is to establish reserve networks. It considers not only the richest biodiversity areas but also the local species and ecosystems. Assessing the regional pattern for ecological security must consider the species and habitats conservation as well as the restoration of the damaged ecosystems and destroyed landscapes, in another word, not only conservation gap, but restoration gap should be considered. Therefore, the extended GAP approach can be applied to the analysis and assessment of ecological security pattern, and is a promising research method.

**Key words:** regional ecological security pattern; landscape ecology; GAP analysis

区域生态安全格局(the regional pattern for ecological security)是指能够保护和恢复生物多样性, 维持生态系统结构、功能和过程的完整性, 实现对区域生态环境问题有效控制和持续改善的区域性空间格局<sup>[1]</sup>。

对于一个复杂的地理区域, 抓住对区域内对生态过程有控制意义的关键部位或战略性组分, 才可以使区域生态得到有效的控制和发展, 合理选择保护和恢复生境地可以消除生境丧失与破碎化的影响<sup>[2]</sup>, 但是应从什么地方着手呢? 近年来, 国际上基于 Burley 的 Conservation Gap 概念<sup>[3]</sup>, 提出了一种生态区域尺度上的生物多样性快速有效的评估方法——GAP 分析(A Geographic Approach to Protect Biological Diversity)<sup>[4]</sup>。GAP 途径重视从景观尺度上将物种保护和生境保护相结合<sup>[5]</sup>, 强调最大限度地保护生物多样性的先决条件是通过构建保护区网络<sup>[6]</sup>, 区域生态安全格局的构建不仅要考虑生物多样性及其生境的保护, 而且, 更要

考虑受损生态系统和破坏景观的恢复, 即不仅考虑 Conservation Gap, 也要考虑 Restoration Gap<sup>[7]</sup>。

GPS 与 RS 对自然景观与人类社会经济活动中的主要因子和重点因子予以动态监控, 甚至提前监控; 通过 GIS 进行空间制图, 分析景观异质性与生态空间稳定性, 进行区域生态风险综合评价, 及时作出预警预报反应, 并设计优化景观生态恢复模型, 在经济上与生态上都是非常有效的<sup>[7,8]</sup>。因而, 改进 GAP 方法可成为生态安全格局分析与构建的途径, 且有望成为重要的研究手段。

### 1 “GAP”分析的基本概念与内涵

#### 1.1 “GAP”的两层含义

GAP 代表不同的含义: <sup>[9]</sup> “gap”是指通过对研究区域的植被状况、物种分布及其丰富度的分析, 寻找到生物多样性热点地区(hotspots), 然后对比当地土地所有权和生境保

收稿日期: 2005-06-02

基金项目: 国家重点基础研究项目(G200046807); 国家自然科学基金项目(30170180)

作者简介: 王棒(1982-), 女, 硕士生, 主要研究方向: 生物多样性保护、荒漠化防治; 通讯作者: 关文彬, 博士后, 副教授, 主要研究方向: 生物多样性保护、植被生态学、荒漠化防治。

护与管理状况,最终找到的目前生物多样性保护的空白、遗漏区域(“gaps”),是生物多样性保护上的空白区域(conservation gap)<sup>[4]</sup>,即是应当立即采取保护行动的地区。

“GA P”是国家方针指导下在州和地区水平上允许创新与合作的“bottom-up”的方法<sup>[6]</sup>,是估计当地动植物物种被保护程度的一种技术,在美国是评价整个国家生物多样性所有成分所处保护地位的惟的一个项目<sup>[10,11]</sup>。

## 1.2 “GA P”分析的由来

由于人类对生物资源不合理利用的加剧,造成了对生物多样性严重的威胁,关于正在丧失或有灭绝危险的物种数量还不确定<sup>[12]</sup>。然而,受危物种的数量在急剧增加却不用置疑。

从以往生物多样性保护实践来看,遏止这种损失的方法多集中在物种水平(species-to-species),但是当物种处在灭绝边缘时,保护效果不佳,单一物种的保护措施是难以成功的,它忽视了生物多样性丧失的主要原因,例如自然景观的持续丧失和破碎化<sup>[13]</sup>。仅保护濒危和易危物种的计划不能对付生境破碎、生态过程崩溃这样的大问题,而正是这些问题促使大量原有普通物种成为了濒危物种<sup>[4,14]</sup>。

生物多样性保护要求有一个明确的认识,就是生物损失发生在所有的层次,试图保持这种多样性的努力必须被应用到各个层次水平,不仅是濒危物种<sup>[14]</sup>。为长期保护某一物种,既要考虑目标物种本身,还要考虑它所在的生态系统及有关生态过程,既要重视保护区,还要重视保护区与周围环境的关系,即问题(物种的稀有或濒危)发生在一个层次(种群),而问题的解决(保护和管理)需要在更高层次(整个景观上),生物保护战略应从单纯的目标物种途径扩展到区域景观途径<sup>[5,7]</sup>。

为此,基于Burley首次提出的(conservation gap)的概念<sup>[3]</sup>,国际上针对生物多样性保护研究,将单个物种保护与整体生物多样性保护相结合提出了生物多样性保护的GA P分析方法。

## 1.3 GA P 分析的目标

GA P 分析用来描述生物多样性变化的确定和分类以及对保护区现存体系的考察<sup>[15]</sup>。主要是评价一定的生物多样性元素(植物群落和动物种)的管理状况,提供这些元素在它们生境上的代表性信息<sup>[16]</sup>,为土地管理和生态学研究提供生态环境背景信息,Gap 分析在各个等级(hierarchy——genes to landscapes)开发关于物种和自然群落的空间信息,将这些信息作为下一步保护措施(如将来保留区设计、土地需求规划等)的前提条件,为土地管理者、规划者、科学家和政策制定者在群落和景观水平上采取预先的(proactive)而不是应对性的(reactive)管理行动提供重点和方向,防止更多的物种成为易危或濒危物种<sup>[17]</sup>。

## 2 GA P 分析基本理论

### 2.1 GA P 分析基本假设

GA P 的一个基本假设是:存在一个降低因人为干扰引起的物种灭绝概率的最佳时间,就是当它还处于普通状态时,等到一个物种真正受到灭绝危险时,再付诸于保护措施,则代价昂贵,成功率极低<sup>[13]</sup>。GA P 分析认为在给定生物区最大限度地保护生物多样性的先决条件是尽可能确定一个包括每一个物种的保护区网<sup>[10]</sup>。只保护生物多样性最高的位点是不够的,所有的本地种和生态系统都应在一个保护区系统内得到保护,没有被保护的或在已有保护区系统中没有体现的植被型和热点地区是需要立即采取行动进行保护的区

域<sup>[11,13]</sup>。

### 2.2 低成本避免危机原则

GA P 方法基于生境保护和多种类保护的双重目的要比单一物种或种群的保护更可行而且代价更小<sup>[13]</sup>。它提供一个基于生物地理信息的多个层次结构(例如单一物种、种群和植被联结等)<sup>[10]</sup>,它是补充而不是替代生物多样性保护中的物种对应保护(species-by-species)方法<sup>[17]</sup>。

同时,GA P 分析认为维持物种在自然状态的花费比挽救濒危物种进行强度管理所需的花费要低。避免灭绝危机的有效途径就是和大量不同的土地利用规划机构和土地利用管理机构(包括私人机构和集体机构)共同合作来提取大区域的整个生物多样性的地理信息,并应用于土地利用和资源管理决策<sup>[4]</sup>。

### 2.3 粗略过滤器(Coarse filter)理论

因为一个物种或一种生境类型在目前是普通状态,但这并不能保证在将来没有灭绝的威胁。GA P 分析的实质是“粗略过滤器”生物多样性保护方法的扩展<sup>[18,19]</sup>,它不但集中于群落基础上的生境单元,而且还关注每一个单一物种。是相对于濒危物种行动(ESA)中精细过滤器而提出的,这种方法试图和着眼于那些近灭绝种的局部行为的精细过滤器(fine filter)保护法相协调<sup>[20]</sup>。粗过滤器在一个相对精细过滤器更大的尺度下进行保护,例如,群落、生境、生态系统及景观尺度,它试图充分利用遥感(RS)和地理信息系统(GIS)的最新进展<sup>[21,22]</sup>。在土地管理者制定政策决策采用的合适尺度下,生态学家能扩展小研究区域到更广大的生态背景,可以用来评价已经存在的保护区,对理解和描述给定的生物多样性的成分、单元或我们感兴趣的任意地块的生态背景,及其他土地类型和水区管理相关的分布。用这些信息,GA P 可以寻求确认那些不能充分代表保护区的生物多样性的成分<sup>[10,23]</sup>。

### 2.4 生物多样性替代种的应用

因为并不能模拟生物多样性的所有组成成分,所以必须设定前提条件来确定应该先研究哪一个组分。一个模拟生物多样性的理想指示种并不存在,所以用现存的指示种来模拟生物多样性<sup>[24]</sup>。GA P 分析用脊椎动物和植被群系组(原始优势植被型)作为生物多样性的两个指示种。选用脊椎动物是因为他们固有的重要性,他们在群落结构和过程中扮主要角色,还因为在适当的尺度上易于绘制他们的分布图<sup>[13]</sup>。用优势植被型是因为陆地自然覆盖是给定地域环境条件的整体反映<sup>[25]</sup>,他们也是整个生物多样性的决定要素<sup>[26]</sup>,他们的结构和组成明显影响物种水平的相互作用。优势植被型是景观的组成部分,在保护评价中能用作栖息地类型指标<sup>[27]</sup>。但是,脊椎动物和群系组代表无脊椎动物,真菌,或单个植物种的程度在GA P 目前使用的分辨率水平下仍然无法探测<sup>[28]</sup>。

## 3 GA P 分析的步骤与评价

### 3.1 GA P 分析方法

GA P 分析的基本过程就是对所考虑的物种和植被类型的分布与保护区的分布作比较<sup>[17,29]</sup>,这种方法更详细的描述见:“A handbook for Conducting Gap Analysis”<sup>[13,30]</sup>。(如图1)

GA P 分析是确认那些在保护区网络中代表性不足(underrepresented)和没有出现(not represented)的生物元素(物种和植被联结)。植被图、物种图、土地管理图是GA P 分析的基础数据。准备好这些数据,土地覆盖和物种分布范围就可以和管理属性数据进行相互交叉和融合<sup>[31]</sup>。

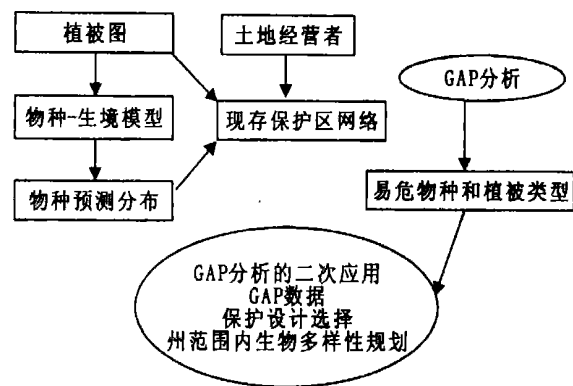


图 1 GAP 分析步骤

简要步骤<sup>[13]</sup>：第一步：为最终分析准备植被分布、动物分布和管理分布范围数据。第二步：把植被分布和动物分布范围和管理分布范围相叠加，以确定研究对象分布范围，包括管理分布边界和属性。第三步：从上面的叠加分析中，使用统计的方法，在每一个管理范畴内制作代表单个组分的属性表。第四步：根据产生的结果合制作“gap”样图<sup>[32]</sup>。

### 3.2 精度评估

#### 3.2.1 精确度评估的内容

要详细调查整个国家或地区物种分布几乎是不可能的，用 GAP 分析推断物种分布图在于知晓一个物种在可预见类型中出现的最大概率。因此，为提高 gap 分析预测的可信程度，对所获得的数据进行可信度的评估是十分必要的，精度评估包含四个方面的内容<sup>[29]</sup>：空间精确性、属性精确性、逻辑一致性、时间精确性。

#### 3.2.2 精确度评估方法

精确性评估有如下几种方法：对比物种名录<sup>[33]</sup>，这是一种获得有效 GAP 分布图十分必要的方法，即通过对比 GAP 预测物种名录和同一地区实地考察所得物种名录，即参考数据。其有效性依靠于从足够数量的地区获得可用的物种名录来作对比<sup>[34]</sup>，被观察的物种名录来自于完善的、精确且完备的名录。预测和实际情况的不相符表明了 GAP 预测的不合理，而符合可能也并不表明整个分布图的准确度。这是因为在模型预测中 GAP 不包括栖息地特征，比如，一个区域退化，因为时间的因素，导致了物种缺失<sup>[35]</sup>。用物种现有的记录比较，被用来做比较的评估数据必须是独立的，现有的记录识别以后，在 GIS 上处理，用于某些适合多边形分布的物种<sup>[33]</sup>。用于评估的记录一些被用于分布图的制作，一些用于分布图进一步发展完善。区域调查，区域调查为现有物种的存在性和丰富度这一完整独立的数据提供了主要来源，通过概率抽样，设计选择范围和区域，可以获得有关全部或部分资料<sup>[36]</sup>，考虑到评估的客观性，备用资料数据的属性和基本的统计学和生物学假设必须是可行和可靠的<sup>[37]</sup>。

## 4 GAP 方法在区域生态安全格局评价中的应用

### 4.1 相关案例

GAP 分析已有一些案例研究，如针对夏威夷森林濒危鸟类的保护，结果显示现有保护区几乎没有保护濒危物种多样性的热点地区，后来，多数关键地区被联邦和州政府给予了很好的保护。对美国 Idaho 州进行的 GAP 分析，预测出一种尖尾鹀 (*Tympanuchus phasianellus*) 有可能分布在以前从未记载过的地区，后来的野外调查证实了预测结果，也因此这种方法也被认为是 GAP 的标准格式而在美国各州推广<sup>[13]</sup>。

用 GAP 项目在 Wyoming<sup>[38]</sup>, New Mexico<sup>[39]</sup>, Utah<sup>[40]</sup> 进行过一些 GAP 分析的研究。在 Wyoming<sup>[38]</sup> 最优先考虑保护的是有植被沙丘、活动沙丘、有林河岸带、灌木河岸带和草本湿地，因为他们当前的保护水平是极低的，并且是最容易受到土地管理政策影响。结果显示了一个高海拔地区和其他生物量及生产力相对较低的地区保护模式，阐明了生境和物种的保护地位，并逐个导入生物多样性保护的系统过程。

目前墨西哥已经投入资金在 Lower Rio Grande 进行 GAP 分析项目，在全国范围内正努力启动类似的项目，加拿大和许多其他国家，如芬兰、日本已经在国内项目上列入议程<sup>[41]</sup>，澳大利亚<sup>[42]</sup>也正在努力实现一个与美国水平相当的项目，南美的巴西也在开展相关的工作<sup>[43]</sup>。在中国用 GAP 分析的方法，分别在青海湖和龙门河地区进行了相关的研究工作，取得了很好的结果<sup>[11, 44, 45]</sup>。自然保护区网络设计中的应用，改进保护区网络的有效性，为选择自然保护区网络提供依据<sup>[46]</sup>。但这只是个开端，在全国范围内的研究并没有形成。

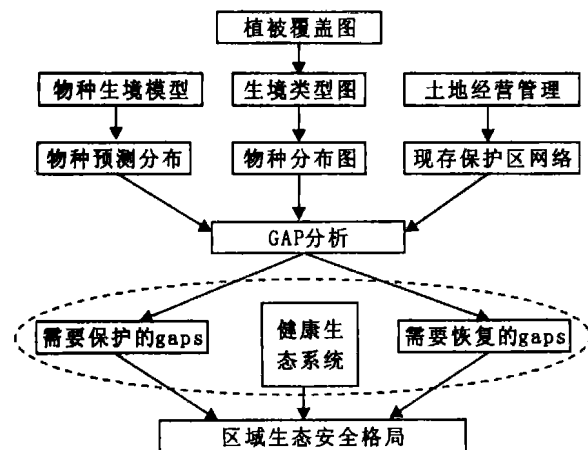


图 2 区域生态安全格局的评估流程图

### 4.2 GAP 分析的应用前景

GAP 分析是一种在州、区域和国家尺度下辨别生物多样性保护中“gaps”的方法。虽然是为鉴定在保护网络中的 gaps 而设计，但是为 GAP 分析收集的数据能服务许多其他目的。一些重要的应用包括解释植被型的范围和分布方面时空变化。把它们与其他信息如空气污染或城市发展相联系时，Gap 分析数据能预测环境变化，估计人类活动的影响。区域生态安全格局重点研究关键生态系统的完整性和稳定性，景观斑块动态与景观生态过程的连续性，生态系统健康与服务功能的可持续性，景观对干扰的阻抗与恢复能力<sup>[47]</sup>。对于一个退化的区域景观，抓住对景观内的生态流有控制意义的关键部位或战略性组分，在两个或多个孤立栖息地之间构筑廊道，才可以使恢复过程更有效，包括有效地使乡土物种得以维持和繁衍和有效地阻止外来物种的侵入<sup>[5]</sup>。一个典型的生态安全格局包括源 (source)、缓冲区 (buffer zone)、源间联接 (inter-source linkage)、辐射道 (radiation routes) 与战略点 (strategic points) 五个部分<sup>[48]</sup>。那么如何来评价现有的区域结构和保护网络是否安全呢？GAP 分析在生物多样性保护中取得的成绩，启发我们通过 GAP 分析的手段既然能确定保护的“gap”，用同样的方法，我们也可以在—个区域中，找出恢复的“gap”，以及健康的生态系统，区域生态安全格局的评价不仅要考虑生物及其生境的保护，而且，更要考虑受损生态系统和破坏景观的恢复，即不仅考虑 Conservation Gap，也要考虑 Restoration Gap。区域中需要保护的斑块、需

要恢复的斑块、以及生态健康的斑块,合理的廊道,进而把区域中各个斑块整合成结构和过程完整,健康与服务功能持续,具有干扰阻抗与恢复能力的区域生态安全格局(如图2)。因而,改进GAP方法用于生态安全格局的分析与评价,且有望成为重要的研究手段。

“3S”技术与空间制图分析的飞速发展,为区域景观制图和信息收取提供了很大的便利。为GAP分析提供了强大的动力工具,利于进行大尺度的景观分析、评价、规划<sup>[7]</sup>。我国

是生态环境灾害相当普遍的国家,已经威胁到我国可持续发展的战略,生态环境安全问题已不可忽视。近几年在我国普遍开展的退耕还林工程,恢复退化的植被生态系统,保护受危物种,建设自然保护区网络,这都是一些有益的尝试。进行区域生态格局的评价,构建安全的区域生态环境,实现社会-经济-自然复合生态系统的协调发展,对西部开发及国家发展都有重要的意义。

#### 参考文献:

- [1] 马克明,傅伯杰,黎晓亚,等. 区域生态安全格局: 概念与理论基础[J]. 生态学报, 2004, 24(4): 761- 768
- [2] Tilman D. Biodiversity: population versus ecosystem stability[J]. Ecology, 1997, 77: 350- 363
- [3] Burley F.W. Monitoring biological diversity for setting priorities in conservation[A]. In: Biodiversity[M]. Washington, DC: National Academy Press, 1988. 227- 230
- [4] Scott J.M., Csuti B., Estes J.E. Species richness: a geographic approach to protecting future biological diversity[J]. Bioscience, 1987, 37(11): 782- 788
- [5] 李晓文, 胡远满, 肖笃宁. 景观生态学与生物多样性保护[J]. 生态学报, 1999, 19(3): 399- 407
- [6] Scott J.M., Davis F.W., McGhie R.G., et al. Nature reserves: do they capture the full range of America's biological diversity? [J]. Ecol Appl, 2001, 11(4): 999- 1007
- [7] 关文彬, 谢春华, 马克明, 等. 景观生态恢复与重建是区域生态安全格局构建的关键途径[J]. 生态学报, 2003, 23(1): 64—73
- [8] 黎晓亚, 马克明, 傅伯杰, 等. 区域生态安全格局: 设计原则与方法[J]. 生态学报, 2004, 24(5): 1055- 1062
- [9] Jean M. Request for proposals: socioeconomic seed grants for state gap analysis projects[J]. Cooperative Park Studies Unit University of Idaho. 1999
- [10] Michael D. Jennings. Gap analysis: concepts, methods, and recent results[J]. Landscape Ecology, 2000, 15: 5- 20
- [11] 李迪强, 宋延龄. 热点地区与GAP分析研究进展[J]. 生物多样性, 2000, 8(2): 208- 214
- [12] Lugo A.E. Estimating reductions in the diversity of tropical forest species[A]. In: Biodiversity[M]. Washington DC: National Academy Press, 1988. 58- 70
- [13] Scott J.M., Davis F., Csuti B., et al. Gap Analysis: a geographic approach to protection of biological diversity[J]. Wildlife Monographs 1993, 123: 1- 41
- [14] Noss R.F. From endangered species to biodiversity[A]. In: K. Kohm, ed. Balancing on the brink of extinction: the Endangered Species Act and Lessons for the future[M]. Washington, DC: Island Press, 1991. 227- 246
- [15] Noss R.F., Cooperrider A.Y. Saving nature's legacy, protecting and restoring biodiversity[M]. Washington, DC: Island Press. 1994
- [16] David M. GAP management status and regional indicators of threats to biodiversity[J]. Landscape Ecology, 2000, 15: 21- 33
- [17] Scott J.M. Preface[A]. In: Patrick C., Blair C. A Handbook for Gap Analysis[M]. Moscow, ID: Idaho Cooperative Fish and Wildlife Research Unit, University of Idaho, 2000
- [18] Noss R.F. A regional landscape approach to maintain diversity[J]. BioScience, 1983, 33(11): 700- 706
- [19] Noss R.F. Protecting natural areas in fragmented landscapes[J]. Natural Areas Journal, 1987, 7: 2- 13
- [20] Hutto R.L. A critical evaluation of the species approach to biological conservation[J]. End. Sp. Update 1987, 4(12): 1- 4
- [21] O'Neill R.V., DeAngelis D.L., Waide J.B., et al. A hierarchical concept of ecosystem [M]. Monographs in Population Biology No. 33. Princeton: Princeton University Press, 1986
- [22] O'Neill R.V. Recent development in ecological theory: hierarchy and scale[A]. In: Gap Analysis: a landscape approach to biodiversity planning [M]. Edited by J.M. Scott, T.H. Tear and F.W. Davis. Bethesda, MD: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1996. 7- 14
- [23] Mark W.S. Choosing the Appropriate Scale of Reserves for Conservation[J]. Annu. Rev. Ecol. Syst., 1999, 30: 83- 108
- [24] Margules C.R. Editors Nature conservation: cost effective biological surveys and data analysis[M]. Australia CSIRO, East Melbourne, 1991
- [25] Whittaker R.H. Dominance and diversity in land plant communities[J]. Science, 1965, 147: 250- 259
- [26] Noss R.F. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach[J]. Conservation Biology, 1990, 4: 355- 364
- [27] Austin M.P., Margules C.R. Assessing representativeness[A]. In: Usher M.B. (ed.). Wildlife Conservation Evaluation [M]. London: Chapman and Hall, 1986
- [28] Halbert S., Jennings M.D., Cogan C., et al. Potential use of suction trap collections of aphids as indicators of plant biodiversity[A]. In: Insects in a changing environment [M]. Edited by N. Stark, R. Harrington. London: Academic

- Press, 1995 499- 504
- [29] Patrick C, Robert D. Assessing Land Cover Map Accuracy [A]. In Stoms D. A Handbook for Gap Analysis [M]. Moscow, ID: Idaho Cooperative Fish and Wildlife Research Unit, University of Idaho, 2000
- [30] Gap Analysis Program. A handbook for conducting gap analysis [EB/OL]. <http://www.gap.uidaho.edu/gap/AboutGAP/Handbook/Index.htm>. U. S. Geological Survey, National Gap Analysis Program, Moscow, ID. 1998
- [31] Crist P, Csuti B. The assessment of the representation of biotic elements relative to land stewardship [A]. In A handbook for conducting gap analysis [M]. Moscow, ID: National Gap Analysis Program, 1997.
- [32] National gap analysis program. A Handbook for Gap Analysis [M]. Moscow, Idaho, U.S.A. 2000
- [33] Kelly C, Edward O, Garton W B, et al Methods for Assessing Accuracy of Animal Distribution Maps [M]. Gap Analysis Program, University of Idaho, Moscow, ID. 2000
- [34] Ammand R, James S M, Trisha K C. Application of IUCN criteria and Red List categories to species of five Anacardiaceae genera in Madagascar [J]. Biodiversity and Conservation, 2002, 11: 1289- 1300
- [35] Hansen A J, Rotella J J, Kraska M P V, et al Dynamic habitat and population analysis: An approach to resolve the biodiversity manager's dilemma [J]. Ecological Applications, 1999, 9 (4): 1459- 1476
- [36] Scott J M. Forest bird communities of the Hawaiian Islands: their dynamics, ecology, and conservation Studies in Avian Biology [M]. Cooper Ornithological Society, Lawrence, Kansas, 1986
- [37] Stoms D, Davis F, Cogan C, et al Assessing land cover map accuracy for Gap Analysis [A]. In Scott J M, Jennings M D, et al A Handbook for Gap Analysis [M]. Moscow, ID: Idaho Cooperative Fish and Wildlife Research Unit, University of Idaho, 1994
- [38] Merrill E H, Kohley M E, Driese R W, et al Wyoming Gap Analysis Project Final Report [D]. Department of Zoology and Physiology, Department of Botany, and Wyoming Cooperative Fish and Wildlife Research Unit, U.S.G.S Biological Resources Division, University of Wyoming, Laramie, 1996
- [39] Thompson B C, Crist J S. Gap analysis of biological diversity conservation in New Mexico using geographic information systems [D]. New Mexico Cooperative Fish and Wildlife Research Unit, U.S.G.S Biological Resources Division, New Mexico State University, Las Cruces, 1996
- [40] Edwards T C, Deshler E T, Foster D, et al Adequacy of wildlife habitat relation models for estimating spatial distributions of terrestrial vertebrates [J]. Conservation Biology, 1996, 10: 263- 270
- [41] Kevin G. National Notes [A]. In: Gap Analysis Bulletin 9 [M]. Edited by E. Brackney and M. Jennings. Moscow, ID: U. S. Geological Survey, National Gap Analysis Program, 2000
- [42] Austin M P. Vegetation: data collection and analysis [A]. In Nature conservation: cost effective biological surveys and data analysis [M]. Edited by C. R. Margules and M. P. Austin. CSIRO, Australia: East Melbourne, 1991. 37- 41.
- [43] Fearnside P M, Ferraz J. A conservation gap analysis of Brazil's Amazonian vegetation [J]. Conservation Biology, 1995, 9(5): 1134- 1147.
- [44] 李迪强, 蒋志刚, 王祖望. 青海湖地区生物多样性的空间特征与 GAP 分析 [J]. 自然资源学报, 1999, 14(1): 47- 54
- [45] 田自强, 陈王月, 陈伟烈, 等. 神农架龙门河地区基于植被的 GAP 分析 [J]. 植物生态学报, 2002, 26(增刊): 40- 45
- [46] 徐海根. 自然保护区生态安全设计的理论与方法 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2000
- [47] 肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容 [J]. 应用生态学报, 2002, 13(3): 354- 358
- [48] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局 [J]. 生态学报, 1999, 19(1): 8- 15

#### (上接第 177 页)

数据与属性数据一体化, 因此图形和属性之间相互查询比较方便。查询包括对图形和属性的双向查询、图形定位等查询功能。

#### 3.4.2 统计分析功能

水土保持统计分析是水土保持规划信息系统的重要组成部分。通过水土保持统计了解土地数量结构、利用状况的区域分布特征。

#### 3.4.3 变更编辑功能

水土保持规划系统变更是指水土保持利用状况发生的变化, 即地类、面积发生的变化。系统将水土保持各因子变更划分为属性变更和图形变更。系统提供各种图形和属性变更工具, 图形变更能够直接输入精确坐标进行变更操作, 图形变更

#### 参考文献:

- [1] 中地软件丛书编委会. MAPGIS 地理信息系统使用手册 [S]. 3-270. 2004. 4
- [2] 吴信才. 地理信息系统的基本技术与发展动态 [EB/OL]. <http://www.esri.com>. 2005. 2. 5
- [3] 齐清文, 刘岳. GIS 环境下向地理特征的制图概括的理论和方法 [J]. 地理学报, 1998, 53(4): 28- 29

时自动生成新实体编号 (如图斑编号), 避免重号的发生。

#### 3.4.4 制图显示功能

制图显示功能包括常规的地图操作, 如放大、缩小、地图图层控制管理等; 创建默认水土保持规划 (现状) 利用图, 创建各种专题图如单一值规划图、等级符号图、统计专题图等。利用等高线和高程点生成 DEM 和数字正射影像, 并与水土保持利用图叠加显示, 生成形象直观的水土保持土地利用图, 可以很直观地看出地类在地形上的分布情况。

#### 3.4.5 输出功能

根据用户具体要求可以输出多种形式的报表、图表, 按小流域或者区划可以输出一定比例的水土保持土地利用图、水土保持规划图、水土流失现状图等。