

一种森林流域生态系统管理与评价的新技术 ——NetMap 简介

及 莹, 蔡体久*, 琚存勇

(东北林业大学 林学院, 哈尔滨 150040)

摘要: 我国目前的生态系统评估多是将森林和流域生态系统分别评估, 没能真正体现生态系统各个过程与功能的耦合性及复杂性。美国加利福尼亚地理信息研究所研发的 NetMap, 是目前为止发展最完整的森林流域生态系统管理与评价系统, 除了美国本土已有多个国家用于流域管理与评价。它以地形数据为基础, 从流域角度出发, 通过流域地形地貌、植被覆盖及土地利用变化、林火风险与火烈度等级、水文过程以及侵蚀潜在性等等方面综合评价研究森林流域水文过程变化与生态系统健康状况, 增加生态系统评估的时空性和动态过程。本文主要介绍它的背景、主要功能和应用前景。

关键词: NetMap; 森林流域评估; 生态系统管理

中图分类号: S 715, X 37

文献标识码: A

文章编号: 1001-005X (2013) 02-0044-04

An Introduction to NetMap: A New Technology of Management and Assessment for Forest Watershed Ecosystem

Ji Ying, Cai Tijiu*, Ju Cunyong

(School of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040)

Abstract: Ecosystem assessment in China is usually divided into forest and watershed ecosystems, which did not reflect the connectivity and complexity of ecosystem process and functions. NetMap, which is developed by Earth System Institute in California, America, is the most integrated watershed assessment and resource management system and has been applied in many countries. Starting from the aspect of watershed and based on the digital elevation models, NetMap can evaluate the forest watershed process and ecosystem health condition from watershed topography, vegetation and land use variation, forest fire risk and severity, watershed process, and erosion potential, which improve the spatial and dynamic processes of ecosystem evaluation. The background, main functions, and application prospects of NetMap are introduced in this paper.

Keywords: NetMap; forest watershed assessment; ecosystem management

生态评价并不是一个全新的研究课题^[1]。我国首次以生态系统为单位进行评估源于 20 世纪 80 年代初开始的森林资源价值核算研究工作^[2]。目前我国生态系统评估的研究重点多是将森林和流域生态系统分别进行评估, 对森林生态系统的评估主要是森林生态系统服务价值^[3-6]和生态功能评

估^[7-11]。目前对流域的生态环境健康评价主要集中在对河流水质的监测, 对流域水资源的物理特征和生态特征的研究还不多。水域生态系统评估研究重点主要是从水质理化参数、生物指标、形态结构、水文特征和河滨植被带状态与功能 5 个方面进行评估^[12], 很少从系统和综合的角度审视河流状况^[13]。虽然两种生态系统的评估都取得了一些成果, 然而将两种生态系统分开评估不能真正体现生态系统中各个过程与功能的耦合性及复杂性。水文循环是全球自然过程中的重要组成部分, 推动着生物圈物质和能量的交换和传递, 其中陆地水文循环过程是在一定的自然地理单元——流域中进行的, 流域内高地、河岸带植被变化(采伐、自然演替、火烧等)必然对流域水资源从质与量两个方面带

收稿日期: 2012-07-18

基金项目: 国家林业局 948 项目 (2009-9-43)

第一作者简介: 及 莹 (1984-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 博士研究生。研究方向: 森林水文学。

* 通讯作者: 蔡体久 (1963-), 男, 山东巨野人, 博士生导师, 教授。研究方向: 森林水文学与恢复生态学。

引文格式: 及 莹, 蔡体久, 琚存勇. 一种森林流域生态系统管理与评价的新技术——NetMap 简介 [J]. 森林工程, 2013, 29 (2): 44-47.

来深刻的影响,因此把水生生态系统和陆地生态系统的研究结合起来,将森林流域生态系统作为一个有机单元来进行综合的分析与评价在理论及实践上都是十分必要的^[14]。目前我国流域管理的指导思想是以行政区为单位进行管理,违背了流域管理以自然流域为单位进行统一管理的思想。各主管部门从自身利益出发,无法做到对流域的统筹规划和管理,导致水资源效益次优化^[15]。

国外以流域为单位的评价体系主要有:以流域水质评价为核心内容的评价体系、以流域土地利用方式为核心内容的评价体系、压力-状态-响应评价体系、自然条件限制因子-流域生态健康指示因子-人类活动影响因子评价体系和生物因素-非生物因素评价体系^[16-17]。这些流域生态系统的评价体系虽然或多或少地注意到陆地生态系统对水生生态系统的影响,但评价内容主要是生态系统所能提供的服务,指标的选取由于各自研究的侧重点或技术局限性而有所不同,或偏重于物理化学方面的指标,或偏重于生态指标,或偏重于社会经济、人类健康指标^[18],而没有实现流域生态系统的综合评价。

美国加利福尼亚地理信息研究所研发的用于流域水文科学和资源管理的技术系统 NetMap,综合了多个数值模型和分析方法,是目前为止发展最完整的流域生态系统管理与评价系统,目前已经在美国本土、俄罗斯和西班牙等地得到了推广应用。它将森林流域看作一个完整的生态单元,研究其结构与功能之间的互动关系。在地形数据的基础上,从流域角度出发,通过地形地貌、植被覆盖、土地利用方式变化、林火风险和侵蚀潜在性等方面综合评价森林流域生态系统健康状况,从而增加了生态系统评估的时空性和动态过程。

1 NetMap 原理

地形、地质条件对河流的走向、流程和河网结构特征等起着制约作用。河道弯曲程度、沟谷与漫滩的相间分布频率、有无支流汇入等不同的河网结构特征形成了多种多样的景观斑块和水生生物栖息地类型^[19-20],并且栖息地类型的空间分异无论是在溪流还是流域尺度上都会发生^[21]。河流的水文特征也是多方面因素综合作用的结果,例如,河流的含沙量,既受土质状况、植被覆盖情况的影响,又受气候因素的影响。正是这些要素之间不断的相

互作用,使得流域结构与生态功能总是处于动态变化之中^[22-23]。NetMap 利用数字高程模型 (DEM) 中提供的地形信息和其他相关参数,建立流域内行政单元、景观单元、小流域和栅格等不同尺度下河流栖息地与陆地生态系统之间的关系,分析自然或人为干扰对栖息地变化的定量影响,包括地形和侵蚀对河道栖息地形成的调控,河网、河谷和河道形态对栖息地空间分布与空间差异的影响,干扰在栖息地形成过程中的作用等^[24]。

NetMap 系统体系结构可以划分为参数输入,计算和数据输出 3 个部分,3 个部分之间通过用户界面进行交互。在数据输入部分,主要可以通过用户界面输入基础参数(见表 1),软件计算部分自动进行流域分析,生成另外 30 个与自然资源管理相关的参数,输出结果主要包括河道分类,河道干扰潜在性,泥沙输移,核心栖息地,生境多样性,侵蚀潜在性,道路,侵蚀风险和敏感栖息地的叠加分析以及子流域聚类属性(subbasin-aggregated attributes)等。

表 1 NetMap 基础参数^[23]

Tab. 1 Basic parameters in NetMap^[23]

地形及侵蚀参数	流域、河谷和河网参数	河道参数
通用侵蚀潜在指数 (用于湿润和半干旱地区)	子流域面积	河道比降
浅层滑坡潜力	支流汇入的影响概率	河道宽
滑坡体流入河道 比例 < 0.04	汇流影响的衰减	溪流倒木来源 (优势种)
滑坡体流入河道 比例 < 0.20	河谷顶宽 (5 倍水深的高度处)	倒木堆积形态
泥石流概率	河谷顶宽 (20 倍水深的高度处)	
泥石流可能引起 的林木输移	流域形状 (仅限闭合流域)	
深层滑坡/泥流滑坡 (earth flow) 地形特征		
河滨带地形粗糙度		

2 NetMap 功能

NetMap 可以根据数字高程模型 (DEM) 和其他参数预制 25 种地形属性图层。包括侵蚀潜在性、林火风险等级、水生栖息地分布、道路密度、支流注入点和火后泥石流(侵蚀沟)可能性等,并通

过图层之间的叠加分析产生综合的评估结果。概括地讲, NetMap 可以实现以下功能(如图1所示)。

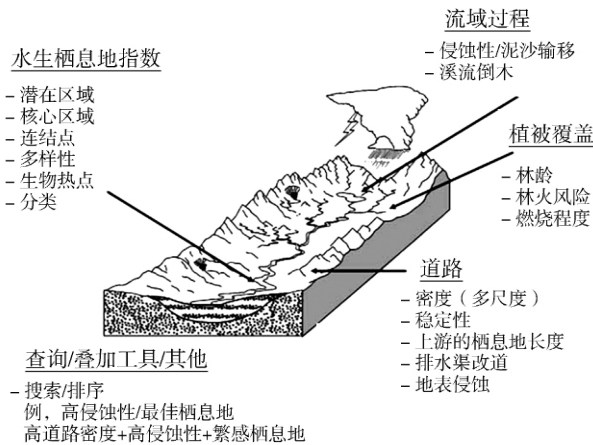


图1 NetMap 功能图解

Fig. 1 Overview of NetMap functions

2.1 评估功能

区别于之前的流域生态系统评价多是静态评价而且受空间范围的影响, NetMap 充分挖掘 DEM 提供的地形信息, 如坡度、坡向、坡面形态、流域边界和水流路径等^[23 25], 通过模拟其中某个参数变化对流域生态水文过程的影响, 定量评价各种干扰模式引起森林流域生态系统功能的变化规律。

2.1.1 评估水生栖息地优劣

栖息地通常指某种生物或某个生态群体生存繁衍的地域或环境类型^[26]。广义上讲, 栖息地概念中不但包括了生物的地理生存空间, 同时也包括了生存空间中全部环境因子, 如气候和河流等^[27]。由于流域水平 (watershed level) 上的空间异质性特点, 部分栖息地环境更适宜于某些物种的生存, 这主要决定于河床坡度、河谷地形、支流汇流、河流纵比降及其他因素。NetMap 的“栖息地创建 (Habitat creator)”功能通过大尺度流域地形图识别水生栖息地的异质分布状态。得出的栖息地指数包括: ①栖息地质量 (通过河岸植被状态、水土流失及道桥等人为干扰评价栖息地的环境质量); ②生物热点区域; ③核心区; ④生境多样性。

2.1.2 评估侵蚀潜在风险和泥沙输移过程

NetMap 包含可以搜索泥石流和相应深层滑坡区域地形的模块。侵蚀预测功能可以预测沉积物的走向, 包括累积沉积物输移至下游的数量。沉积物功能可以根据河流功率除以泥沙输移量所得值预测泥石流发生的潜在区域。加上汇流处的影响可以为

沉积物环境提供信息。河流功率 (底部) 除以支流沉积物量与干流沉积物量的比值可以推测出支流如何影响干流的形态。NetMap 同时能够将沉积物供给率与河流功率比较, 分析沉积物是如何分布于下游河网。

2.1.3 景观尺度下流域比较分析功能

大尺度景观研究, 通常按照子流域或水域数量对其环境属性进行分层。现阶段我国景观尺度流域研究很少, 主要是缺少连续的地形数据和相应的计算机软件。就寻找高侵蚀可能性和脆弱栖息地的交叉区域而言, 传统的方法是首先要运行计算机模型预测特殊地形属性, 然后用数据库软件进行累计分布功能分析, 建立排序标准, 得出表格样式的输出结果和图层。NetMap 可以简化这些工作, 当搜索引擎定位于所选流域, 可以创建出动态的流域属性参数的分布格局。输出结果会以表格和图形的方式呈现出来。例如, 山坡侵蚀潜在性与敏感鱼类栖息地相比较, 可以支持景观尺度下土地利用的规划, 减少敏感鱼类栖息地河岸带森林的采伐。NetMap 数字地形数据库提供了数千平方公里景观范围内的强大搜索、分类、排序和划分流域或河道属性的功能。

2.2 管理功能

人类活动是生态系统稳定性的重要影响因素^[25], 即使是远离城市的森林流域生态系统也常因农业生产或林业采伐等干扰而受到影响。所以林业管理决策决定着森林流域的可持续发展前景。世界范围内绝大多数的河流和林业管理通常都基于费时耗力且主观因素较大的踏查测量活动, 很难发现从而忽略了生态环境时空分布异质性的特点。事实上, 流域范围内, 并不是所有的森林都适合采伐, 林火发生的几率也不一样, 从而引起不同的土壤侵蚀现象, 再者不同的支流汇入处可能是重要程度各异的水生栖息地。管理策略中忽略这些空间异质性, 就会造成一些不必要的损失。NetMap 与现有河流和林业研究中的“一刀切”方案不同, 因地制宜, 根据流域分布的异质性特征采取不同的管理策略, 使森林流域充分发挥服务功能和生态功能。

NetMap 软件支持多领域的流域管理, 可为鱼类栖息地管理、林业的火前和火后规划、森林恢复与保护以及气候变化动态研究等提供非常有价值的信息。

2.2.1 水生栖息地界定

河流中的浅滩和深潭的水深、流速及含氧量等

的不同,构成了生境的多样性^[26]。NetMap 基于地形数据的分析,可以界定不同河段的生态条件,结合生物习性找出某些生物的分布区。例如,在栖息地潜力模型中河道纵比降就常用于识别银鲑鱼(*Oncorhynchus kisutch*)和虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)的栖息地^[24],因为虹鳟和山鳟(*Oncorhynchus clarki*)更喜欢栖息在地形陡峭,河道纵比降大的河源地区。

2.2.2 林业规划

利用 NetMap 相关参数和自动分析工具可以鉴别栖息地形成过程中环境的变异,搜索流域内那些脆弱地带或生产力较高的地区,为林业管理决策的制定提供多视角的信息。例如,那些宽的河岸带缓冲区通常会是一些生物聚居的热点,而相对狭窄的河岸带则生物栖息地少而生产力小。林业管理者要是认识到河源地区或沉积物富集地区容易发生泥石流,就可以限制该地区的木材采伐与道路修建,相反,可以将采伐区选在地质土壤条件稳定的区域。

林火会因发生地的地形和植被的异质性而对生态系统有不同的影响。NetMap 通过对火险等级的计算以及与侵蚀概率图层叠加分析,能够发现森林火灾过后可能会发生次生灾害如泥石流和沟蚀的地区,并根据它们可能发生灾害的严重程度排序,确定最需要修复和保护的区域,从而最先开展修复工作,节省有限的开支和时间。根据火险分布图,林业经营管理者可以定期清理可燃物以防止林火的发生等。

2.2.3 监测功能

Netmap 根据数字地形数据库划分侵蚀作用和沉积作用的范围,这可为设定河流水文监测站点的位置提供参考。例如,支流汇入的地方和河岸山坡易发生侵蚀流失的河段,沉积作用相对突出,此处的水质状况就不能代表整个流域,不宜设作流域断面水质监测点。另外 NetMap 中的“创建河槽干扰指数”工具也可以用于确定合适的监测点位置。

总之,NetMap 系统具有标准化的数据库结构,方便使用者快速便捷的查找数以万计的流域数据,并可以展开不同尺度之间的流域特征对比研究,充分尊重流域生态系统上下游的生态完整性,对于流域或区域尺度的生态综合评价具有重要意义。同时,NetMap 系统适用于多领域管理工作,可以为水利、渔业、林业和环境等多部门提供非常有价值的实用信息,限于篇幅在此不一一列举。

3 前景展望

目前,我国还没有真正树立流域管理的思想,而是把一个完整的流域在行政上人为的分开,行动上无法做到统一协调,违背了以自然流域为单位进行统一管理的思想^[15]。

流域生态系统评估体系所侧重的科学问题同样是多方面的。例如,水文特征、自然干扰、生物指标、河岸植被带变化和地质地貌等,并且很少能真正支持管理机构决策的信息,多数停留在实验研究的阶段。迄今为止,国内还没有一个可以实现大尺度综合评价流域生态系统的评价体系。相比较而言 NetMap 是一种低成本、高价值的森林流域生态系统评估和管理软件,它强调空间关系、多要素综合分析和动态预测能力,其分析结果具有共享性、客观性和区域分布性,提供了一种生态系统评估和管理森林流域生态系统的新视角。可以为与地理信息相关的不同行业、不同管理机构的日常管理和科学研究提供有价值的信息和建议,帮助政府部门制定因地制宜的管理方法,把流域管理作为水资源利用与保护的主要途径,做到水资源的可持续发展。

【参 考 文 献】

- [1] 田永中,岳天祥.生态系统评价的若干问题探讨[J].中国人口资源与环境,2003(2):17-22.
- [2] 赵同谦,欧阳志云,郑华,等.中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J].自然资源学报,2004,19(4):480-491.
- [3] 蒋延玲,周广胜.中国主要森林生态系统公益的评估[J].植物生态学报,1999,23(5):426-432.
- [4] 候元兆,吴水荣.生态系统评估理论方法的最新进展及对我国流行概念的辩证[J].世界林业研究,2008,21(5):7-16.
- [5] 欧阳志云,赵同谦,赵景柱,等.海南岛生态系统生态调节功能及其生态经济价值研究[J].应用生态学报,2004,15(8):1395-1402.
- [6] 靳芳,鲁绍伟,余新晓,等.中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J].应用生态学报,2005,16(8):1531-1536.
- [7] 郭玉文,孙翠玲.关于森林生态功能评价的探讨[J].环境与开发,1997,12(1):13-16.
- [8] 米锋,李吉跃,杨家伟.森林生态效益评价的研究进展[J].北京林业大学学报,2003,25(6):77-83.
- [9] 肖风劲,欧阳华,牛海山.生态系统健康与相关概念的逻辑关系[J].生态学杂志,2003,22(2):56-59.
- [10] 陈高,邓红兵,王庆礼,等.森林生态系统健康评估的一般性途径探讨[J].应用生态学报,2003,14(6):995-999.
- [11] 姜帆,董希斌.山地退化森林生态系统恢复评价方法的研究[J].森林工程,2007,23(4):5-7.

(下转第102页)

表 3 沥青路面各结构层材料单价

Tab. 3 Material unit price of the asphalt pavement structure

材料名称	单价/元·m ⁻³
中粒式沥青混凝土	850
粗粒式沥青混凝土	840
水泥稳定碎石	250
粗粒式沥青稳定碎石	750

按照表 3 单价分别计算修建每平方米上述两种结构形式沥青路面的工程造价。

半刚性基层沥青路面: 造价 = $850 \times 0.11 + 840 \times 0.07 + 250 \times 0.56 = 292.3$ 元。

组合式基层沥青路面 (14 cm): 造价 = $850 \times 0.11 + 750 \times 0.14 + 250 \times 0.40 = 298.5$ 元。

组合式基层沥青路面 (12 cm): 造价 = $850 \times 0.11 + 750 \times 0.12 + 250 \times 0.40 = 283.5$ 元。

因此, 组合式基层沥青路面与半刚性基层沥青路面的工程造价相当, 甚至在适当减薄沥青稳定碎石基层厚度的情况下, 组合式结构造价能够略低于半刚性基层沥青路面结构。

5 结 论

(1) 随着沥青稳定碎石基层厚度的减薄, 底基层层底拉应力有增大的趋势, 因此在组合式结构设计时应考虑底基层层底拉应力指标。

(2) 相同荷载条件下, 组合式基层沥青路面

面层层底拉应变较小, 具有较好的疲劳性能。

(3) 组合式基层沥青路面在养护措施合理的情况下能够提供较好的使用性能。

(4) 组合式基层沥青路面与传统半刚性基层沥青路面结构相比工程造价相当, 经济上可行。

【参 考 文 献】

- [1] 郭爱国. 高速公路沥青路面早期破坏原因分析[J]. 岩石力学与工程学报 2004 23(S1): 4634-4638.
- [2] 沙庆林. 高速公路沥青路面早期破坏现象及预防[M]. 北京: 人民交通出版社 2008.
- [3] 武 鹤 魏建军 苏 群 等. 水稳砂砾沥青路面冷再生材料温缩和抗冻性能试验研究[J]. 森林工程 2012 28(5): 76-78.
- [4] 沈金安. 国外沥青路面设计方法总汇[M]. 北京: 人民交通出版社 2004.
- [5] 葛折圣 黄晓明 龚英安. 沥青稳定基层疲劳试验荷载控制模式选择[J]. 公路交通科技 2005(5): 32-34.
- [6] Cheng P, Zhou X, Hou E. Experimental research about shrinkage of cement stabilized gravel base[J]. Applied Mechanics and Materials 2012(174-177): 409-412.
- [7] 程培峰 范勇强 张志华. 哈尔滨城市道路损害调查与分析[J]. 低温建筑技术 2011(6): 28-30.
- [8] 詹海玲. 半刚性基层沥青路面反射裂缝综合防治[J]. 公路工程 2008 33(1): 122-123+134.
- [9] 康 悦. 沥青稳定碎石柔性基层路用性能评价指标[D]. 西安: 长安大学. 2007.

[责任编辑: 董希斌]

(上接第 47 页)

- [12] 吴阿娜 杨凯 车 越 等. 河流健康状况的表征及其评价[J]. 水科学进展 2005 16(4): 602-608.
- [13] 曾小琪 车 越 吴阿娜. 3 种河流健康综合性评价方法的比较[J]. 中国给水排水 2007 23(4): 92-96.
- [14] 刘国彬 梁宗锁 郝明德. 流域生态与管理学科发展及研究重点[J]. 西北植物学报 2003 23(8): 1315-1319.
- [15] 李婉晖 潘文斌 邓红兵. 水资源利用与保护的途径—流域管理[J]. 生态学杂志 2004 23(6): 97-101.
- [16] 龙 笛 张思聪 樊朝宇. 流域生态系统健康评价研究. 资源科学 2006 28(4): 38-44.
- [17] 龙 笛. 浅谈流域生态环境健康评价. 北京水利 2005(5): 6-10.
- [18] 罗跃初 周忠轩 孙 轶 等. 流域生态生态系统健康评价方法. 生态学报 2003 23(8): 1606-1614.
- [19] Montgomery D R, Beamer E M, Pess G R, et al. Channel type and salmonid spawning distribution and abundance[J]. Canadian Journal of Fisheries Aquatic Sciences 1999(56): 377-387.
- [20] Rice S P, Greenwood M T, Joyce C B. Tributaries, sediment sources and the longitudinal organization of macroinvertebrate fauna along river systems[J]. Canadian Journal of Fisheries Aquatic Sciences 2001(58): 824-840.
- [21] Frissell C A, Liss W J, Warren W J, et al. A hierarchical framework for stream habitat classification: Viewing streams in a watershed context[J]. Environmental Management 1986 10(2): 199-214.
- [22] Poff N L. Landscape filters and species traits: towards mechanistic understanding and prediction in stream ecology[J]. The North American Benthological Society 1997 16(2): 391-409.
- [23] Reeves G H, Benda L, Burnett K M, et al. A disturbance-based ecosystem approach to maintaining and restoring freshwater habitats of evolutionarily significant units of anadromous salmonids in the Pacific northwest[J]. American Fisheries Society 1995(17): 334-349.
- [24] Benda L, Miller D, Andras K, et al. NetMap: A new tool in support of watershed science and resource management[J]. Forest Science 2007 53(2): 206-219.
- [25] 毕华兴 谭秀英 李笑吟. 基于 DEM 的数字地形分析[J]. 北京林业大学学报 2005 27(2): 49-53.
- [26] 杨 宇 严忠民 乔 晔. 河流域类栖息地水力学条件表征与评述[J]. 河海大学学报 2007 35(2): 125-130.
- [27] 蔡庆华 唐 涛 刘建康. 河流生态学中的几个热点问题[J]. 应用生态学报 2003 14(9): 1573-1577.

[责任编辑: 李 洋]