

# 太行山区牛叫河小流域土地 可持续利用模式探讨

刘 晗, 吕 斌

(北京大学城市与环境学院, 北京 100871)

**摘要:** 太行山区小流域综合开发治理是促进山区生态建设和保障山前平原城市密集带发展的重大课题。科学划分小流域土地利用功能区, 进而形成合理的土地利用模式是推进太行山区小流域开发治理的关键举措。本文以位于太行山东坡的牛叫河小流域为例, 界定了生态功能区划的基本程序, 建立了包括恒定和波动两类指标的区划指标体系, 提出了以模糊聚类为主体的区划方法。将牛叫河小流域划分为分水岭区、沟坡区和沟道区三种土地利用功能类型, 相应的土地利用模式为: 分水岭区地形平缓, 通过改良土壤, 可开展农作物种植, 统筹安排农林牧业生产; 沟坡区地形坡度较大、土地贫瘠, 水土流失严重, 宜以林为主, 并需采取综合保持性措施; 沟道区土地平坦, 应突破单纯的种植业模式, 以获得更高的经济和社会效益。

**关键词:** 小流域开发; 功能分区; 土地利用模式; 牛叫河小流域; 太行山区

**文章编号:** 1000-0585(2012)06-1050-07

## 1 引言

太行山区位于我国地势第二级阶梯东缘, 是华北平原的天然屏障和重要的水源地, 也是我国水土流失严重、农村居民生活贫困和人地关系矛盾尖锐的地区之一<sup>[1~5]</sup>。综合开发治理是促进太行山山区生态建设和保障山前平原城市密集带发展的重大课题; 科学划分小流域土地利用功能区, 进而形成合理的土地利用模式是推进太行山区小流域开发治理的关键举措。对于山区小流域开发利用模式方面, 国内学者总结出了不同的治理模式。查轩等分析了水蚀风蚀时空分布规律和脆弱生态环境特征, 提出以防治水蚀和风蚀为核心, 建立具有防蚀固沙兼高效生态经济功能的大农业复合生态系统综合治理模式<sup>[1]</sup>。周建平以东港小流域为例探索出城郊型水土保持治理模式<sup>[2]</sup>。刘正斌总结了贫困山区的城郊旅游型、脱贫型及致富小康型等各具特色的小流域治理模式<sup>[3]</sup>。柴春山为半干旱黄土丘陵沟壑区筛选出了适合该流域的水土流失治理模式<sup>[4]</sup>。

目前小流域治理方面的问题主要有两点: 一是受监测手段的限制, 许多小流域治理缺乏相关的历史监测指标数据, 缺乏对数据深入科学的定量分析。二是由于组成流域系统的因素复杂, 具体状况各不同, 目前各指标界限模糊。本文基于人地关系地域系统的视角, 以位于邯郸市的牛叫河小流域为例, 通过构建指标体系和土地利用功能分区方法, 实证探

收稿日期: 2011-09-14; 修订日期: 2012-03-15

基金项目: 科技部“十一五”国家科技支撑计划重大项目 (2006BAJ05A09)

作者简介: 刘晗 (1986-), 女, 北京人, 研究生, 主要从事区域环境规划设计与城市设计的研究。E-mail: liuhanw8@gmail.com

通讯作者: 吕斌 (1950-), 男, 上海青浦人, 博士, 教授, 主要从事城市与区域规划、城市设计、社区规划与环境设计的研究。E-mail: lubin@urban.pku.edu.cn

索和总结能适应于太行山区小流域治理的土地开发利用的模式。

## 2 研究区概况

研究区位于太行山脉南段东麓、邯郸市西北,距邯郸市中心约 13km (图 1)。该区地处西部山地向中部丘陵的过度地带,地势西北高、东南低。气候属暖温带半湿润类型,四季分明。春季干旱少雨升温快,多刮偏南风;盛夏炎热多雨,全年降水的 60%集中在这一阶段,易形成汛期;秋季晴朗少云,温湿度适中,降温快;冬季天气寒冷干燥,一月上旬是全年最寒冷的时期。自然植被类型包括针叶林、阔叶林、灌丛和灌草丛、草甸、沼泽植被、水生植被 6 种类型。土壤成土母质五分之四以上为河流沉积物,其中以轻壤质、中壤质的土壤面积较大,约占耕地的 60%。区内除盐碱地、沙地、山丘岗坡地肥力基础较差外,70%的耕地土壤肥力基础都较好。土壤存在的主要问题是有机质含量和全氮含量普遍偏低,并严重缺磷,土壤中氮、磷比例失调,是制约农作物产量的严重障碍。

牛叫河自西北向东南流经整个研究区。为减轻牛叫河洪水对邯郸市主城区的威胁,1957 年修建了拦河坝(齐村大坝),并在左岸向北开挖了溢洪道,将流域内的洪水导至输元河。齐村大坝为均质土坝,坝长 630m,最大坝高 12m,控制流域面积为 124km<sup>2</sup>。大坝上、下游坝坡无护坡,坝顶路面坑洼不平,影响交通和防汛抢险。溢洪道岸坡也未衬砌,受雨水冲刷,岸坡已很不整齐。河道淤积严重,有的地方低水河槽已经淤平,有的地方大堤被人为破坏,致使河道行洪能力降低。大坝现状过水能力为 169m<sup>3</sup>/s,仅为 5 年一遇标准。

研究区面积 40.1km<sup>2</sup>,基本上与户村镇镇区范围一致,含 17 个行政村,2008 年总人口 2.74 万人。耕地面积 1611 万 km<sup>2</sup>,占土地总面积的 40.17%,其中水浇地占 61.5%。2008 年财政收入达 4.33 亿元,农林牧渔总产值为 1.12 亿元,粮食总产量 8785t,农民人均纯收入 4709 元/人,在邯郸市属于农村经济发展较好的区域之一。

## 3 指标、方法及数据

进行土地利用功能分区,首先需要建立能客观评价分区单元属性特征的指标体系;之后基于 GIS 技术提取各单元空间属性数据,通过统计报表或实地调查获得行政单元和居民情况数据;最后对单元进行模糊聚类,进而形成土地利用功能分区结果。

### 3.1 指标体系及数据来源

土地利用功能是人类经济社会活动作用于资源和自然环境的综合反映<sup>[5]</sup>,土地利用现状则体现了人与自然过去长期相互作用的结果<sup>[6]</sup>。因此,土地利用功能区划分指标至少应涵盖自然背景和人类活动影响两个方面<sup>[7]</sup>,包括恒定和波动两类指标。恒定指标反映长时间尺度的自然背景状态,只在地质变迁和高强度应力作用时发生改变,基本不受人为干扰影响,如地形高程和坡度。波动指标反映人类活动对自然和社会经济系统的影响,具有时变性,又可分为低频波动指标与高频波动指标两个亚类。低频波动指标是人类活动对区域生态系统综合作用的表达,直接反映人类活动带来的植被覆盖和土地利用功能格局改变,并可揭示这种改变诱发的潜在生态问题,由于自然系统具有自我调节与恢复能力,这类指标变化频率较低,包括植被归一化指数、水面面积比重、耕地面积比重和土壤侵蚀模数等<sup>[8]</sup>。高频波动指标反映人类社会经济发展状况与水平,指标变化相对迅速,可间接反映自然系统受人为干扰的程度,代表社会经济系统的产出水平,以人口密度、城镇化水平、

经济密度与居民收入 4 个指标来表达 (表 1)。

表 1 土地利用功能分区指标体系  
Tab 1 Index system of land use-functional regionalization

| 指标类别   | 指标     | 单位                                 | 数据来源   | 计算方法               |
|--------|--------|------------------------------------|--------|--------------------|
| 恒定指标   | 高程     | m                                  | DEM 数据 | 利用 arcgis 直接获取     |
|        | 坡度     | °                                  | DEM 数据 | 利用 arcgis 中相应模块获取  |
|        | NDVI   |                                    | 遥感影像   | ENVI 软件中的 BandMath |
| 低频波动指标 | 水面面积比重 | %                                  | 土地部门   | 水面面积/区域面积          |
|        | 耕地面积比重 | %                                  | 土地部门   | 耕地面积/区域面积          |
| 波动指标   | 土壤侵蚀模数 | t/km <sup>2</sup> ·a <sup>-1</sup> | 水文监测数据 | 土壤侵蚀量/区域面积         |
|        | 人口密度   | 人/km <sup>2</sup>                  | 统计数据   | 人口数量/区域面积          |
| 高频波动指标 | 城镇化水平  | %                                  | 统计数据   | 非农人口/总人口           |
|        | 经济密度   | 万元/km <sup>2</sup>                 | 统计数据   | 产值/区域面积            |
|        | 居民人均收入 | 元/人                                | 统计数据   | 居民当年收入总和           |

3.2 土地利用功能分区方法

指标模糊聚类是土地利用功能区划分的核心工作, 利用模糊 C 均值算法 (FCM, Fuzzy C-Means) 进行计算, 具有精度高、适用性广和操作简便的优点, 可作为功能区划分的算法。具体计算步骤如下:

(1) 建立目标函数。用  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  表示需要进行聚类的分区单元的集合, 通过极差法对数据进行标准化处理, 采用误差平方和函数作为聚类目标函数, 即:

$$J(W, Z) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^c W_{ij} d_{ij}^2(x_i, z_j) \quad Z \in (z_1, z_2, z_3 \dots z_c) \tag{1}$$

式中,  $z_j$  表示第  $j$  ( $j=1, 2, \dots, c$ ) 类单元的聚类中心;  $w_{ij}$  为各单元相对于第  $i$  个聚类中心  $z_j$  的隶属度;  $d_{ij}(x_i, z_j) = \|x_i - z_j\|$  表示单元  $x_i$  到聚类中心  $z_j$  的欧氏距离, 目标函数表示各单元到聚类中心的加权距离平方和, 即通过不断计算求出最佳的  $W$  与  $Z$ , 使目标函数值最小。

- (2) 确定参数  $c, n$ , 设  $b=0$ ;
- (3) 任意置定初始聚类中心  $Z(b) = (z_1, z_2, \dots, z_c)$ ;
- (4) 按如下方式更新  $W(b)$  为  $W(b+1)$ ,  $i, j. i (i=1, 2, \dots, n), j (j=1, 2, \dots, c)$ ;

$$\begin{cases} W_{ij} = 1 / \sum_{k=1}^c [d_{ij}/d_{ik}]^{2/(m+1)} & \text{if } d_{ij} \neq 0 \\ W_{ij} = 1 & \text{if } d_{ij} = 0 \\ W_{ij} = 0 & \text{if } d_{ij} = 0, k \neq j \end{cases} \tag{2}$$

$$Z_i^{b+1}, Z_j = \sum_{i=1}^n W_{ij} X_i / \sum_{i=1}^n W_{ij}$$

- (5) 根据  $W(b+1)$  和下式计算  $c$  个均值矢量;
- (6) 以一种合适的矩阵范数比较  $Zb$  和  $Z(b+1)$ , 若  $\|Zb - Z(b+1)\| < \epsilon$  ( $\epsilon$  为

允许误差) 则停止; 否则设置  $b=b+1$ , 回到 (4)。

上述算法得出隶属矩阵  $W$  为聚类分析的结果, 它表示每一个单元的聚类类型, 基于 GIS 技术, 将两次计算的隶属矩阵的值分别赋予各单元, 可得到两类指标模糊聚类结果。以模糊聚类结果为主要依据, 同时考虑土地利用功能分区的相似相容性、主导因素、生态功能完整性、自然属性与社会属性协调等, 自上而下与自下而上相结合, 对细碎斑块按照主体功能组分的特征进行融合, 考虑行政管理需求, 划分出功能区。

## 4 土地利用功能区及利用模式

利用研究区数字地形图 (DEM, 栅格单元为  $30 \times 30\text{m}$ )、2009 年的遥感影像图, 提取得到高程、坡度、NDVI、水面面积比重等指标数据; 其它指标数据来源于行政村统计报表以及水土保持规划、土地利用功能规划等专题成果。采用本文提出的土地利用功能区方法, 最终将研究区划分为分水岭、沟坡和沟道三种土地利用功能区 (图 2)。

### 4.1 分水岭区开发利用

分水岭区分布在沟缘线以上, 主要由梁坡和峁坡构成, 面积约  $8.23\text{km}^2$ 。平缓的夷平面或侵蚀面坡度在  $10^\circ$  以下, 土壤侵蚀微弱, 水土流失强度不大<sup>[9]</sup>。土地退化形式多表现为粗骨质化和石漠化。存在的主要问题一是人多地少、耕地紧张; 二是灌溉水源不足。稍做工程改造即可用作农牧生产, 实现生态恢复并取得一定经济效益。对于水源问题, 除一般水利工程外, 还可以采用相对投入较低的非常规集水和用水措施<sup>[10]</sup>。如以聚乙烯人工障碍物截取“浓湿雾”技术、集雨水窖、作物等高垅作以及喷灌、滴灌等。通过上述措施, 结合耕作方法改进、栽培技术提高, 该区可成为粮食、三料 (肥料、饲料、燃料) 和林产品生产区。

### 4.2 沟道区开发利用

沟道区集中分布在河流两岸, 包括河床、河漫滩、阶地及坡麓下部平缓地带, 面积约  $7.34\text{km}^2$ 。总体特征是地表物质多由砂、砂质粘土、粘土等组成, 结构良好, 用水较为方便。但由于长期开发, 特别是工矿业发展和集镇、村庄用地扩展, 一方面大量良田被占, 另一方面普遍存在土地过度利用问题<sup>[11]</sup>。依据河道比降和沟道宽窄变化情况, 沟道区又可分为上、中、下游三个亚类区。

上游以次生森林景观为主, 具有涵养水源、保持水土等生态功能。森林资源的合理采伐利用、林种的空间优化配置、森林的抚育以及天然次生林的保护是主要发展方向<sup>[12~14]</sup>。该类区不具有农作物生产的功能, 在进行景观优化的过程中, 除对沼泽地、苇地等天然湿地加以保护外, 还应将原有的部分耕地恢复为自然湿地, 将另一部分耕地用以发展经济林果。

中游光、热、水资源较为丰富, 是农业景观和自然景观交错分布的区域, 园地和坡耕地在占较大的比例。沟道纵面落差大, 生态问题以水土流失、植被覆盖减少等退化过程为主。坡耕地的农产品单位面积的产量很低, 继续耕作不但不会大幅度提高粮食总产量, 反而会加剧小流域的水土流失, 可退耕还林 (草), 在立地条件较好处, 以植树造林为主, 较差处则要先封坡种草, 为造林做准备。

下游平坝区生产条件优越, 景观以农田为主。发展方向为生态农业和高效农业, 控制农村居民点用地的扩张, 完善渠道、道路建设改善景观之间的空间联系。沟渠设计和田间道路设计主要是要采用天然工料设计, 为动植物的繁衍和迁徙创造条件。河流尽可能保持



图 1 研究区位置和土地利用现状

Fig 1 Location of Niujaiohe catchment and land use

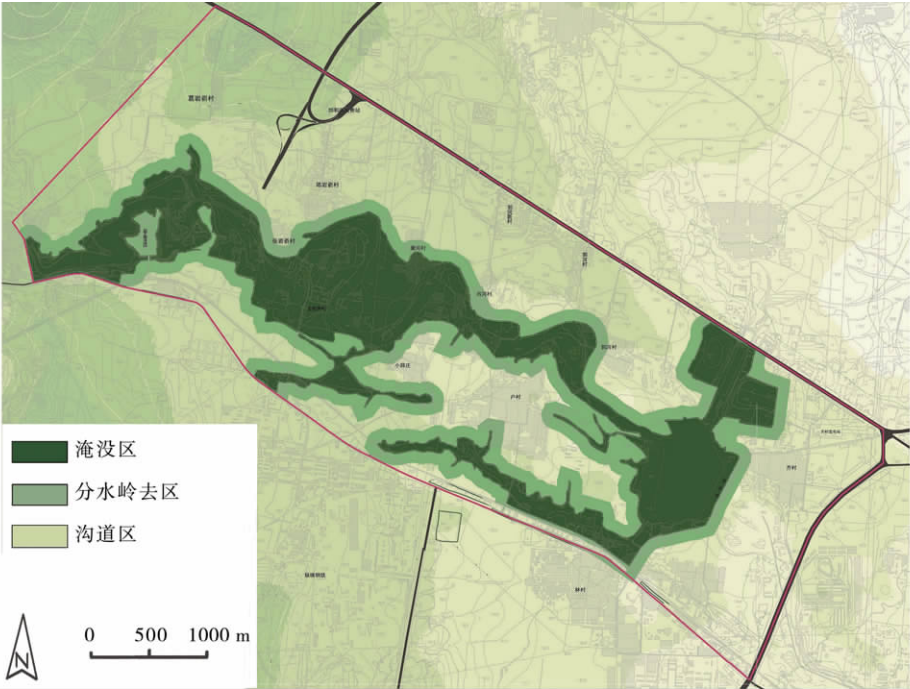


图 2 牛叫河小流域土地利用功能分区

Fig 2 The map of land use-functional regionalization in Niujaiohe catchment

原有的自然风貌,不要进行大规模的人工改造,尤其是大范围的裁弯取直,保留一定池塘和低洼地,为野生动植物留下合适的栖息场所和生存环境。依照农田景观培植的原则,农业景观功能区内的河流、道路两侧种植枫杨、刺槐、桑树等树,以乔木、灌木搭配的方式栽种农田防护林,配合石料水泥修砌护岸工事,防止河岸被冲跨。

#### 4.3 沟坡区保护利用

沟坡区位于沟缘线以下,地形坡度较大,多在 $25^{\circ}$ 以上,是水土流失易发区。堆积物类型以坡积为主,土层厚度偏中,土壤多维轻壤和沙壤。土壤面蚀、沟蚀和重力侵蚀都很强烈,是需进行重点保护的地段<sup>[15~18]</sup>。主要问题是在保护的前提下如何合理利用,提高坡地持续生产力,使坡地保护性利用成为农民有利可图的事。沟坡区未来应以保护为主,一是通过封禁、退耕还林等措施恢复生态,控制水土流失,消除水土流失对河道和水库的淤积危害;二是将部分坡度较缓的耕地进行梯田化改造<sup>[19, 20]</sup>,栽培适生果树,发展经济林果业。

### 5 结论

本文基于GIS空间分析和数据提取技术,建立由恒定和波动两类指标构成的土地利用功能分区指标体系,运用以模糊聚类为主体的土地利用功能分区方法,构建了牛叫河小流域可持续指标体系与土地可持续利用模式。在小流域治理中因地制宜地采取相应的对策和措施,将牛叫河小流域的土地利用功能划分为三种类型区,其模式分别为:分水岭区地形平缓,通过改良土壤,可开展农作物种植,统筹安排农林牧业生产;沟坡区地形坡度较大、土地贫瘠,水土流失严重,宜以林为主,并需采取综合保持性措施;沟道区土地平坦,应突破单纯的种植业模式,以获得更高的经济和社会效益。

通过在牛叫河小流域的实证应用,表明本文所建指标体系和提出的分区方法是可行和实用的,可以被推广应用到其他小流域的开发治理研究中。

#### 参考文献:

- [1] 查轩,唐克丽.水蚀风蚀交错带小流域生态环境综合治理模式研究.自然资源学报,2000,15(1):97~100.
- [2] 周建平.城郊型小流域综合治理模式探索.中国水土保持,2001,(10):39~40.
- [3] 刘正斌.贫困山丘区小流域综合治理模式探微.四川水利,2002,(2):26~28.
- [4] 柴春山.半干旱黄土丘陵沟壑区小流域水土流失治理模式筛选.防护林科技,2006,(5):38~40.
- [5] 顾卫明,刘金涛.山丘区小流域地形空间分析及数字信息提取.水文,2009,29(4):34~37.
- [6] 李玉林,毛春芳,王得刚,等.应用模糊数学原理对小流域生态经济系统评价.水土保持科技情报,2002,(1):43.
- [7] 杨慧忠.小流域综合治理规划思路及模式.山西水土保持科技,2005,(1):31~32.
- [8] 肖平.试论地理工程——以红壤山区小流域开发治理的新模式设计为例,1995,14(4):98~102.
- [9] 雷阿林,唐克丽.坡沟系统土壤侵蚀回顾与展望.水土保持通报,1997,17(3):37~43.
- [10] 刘欣,葛京凤,冯现辉.河北太行山区土地资源生态安全研究.干旱区资源与环境,2007,21(5):68~74.
- [11] 徐勇,Roy C Sidle.黄土丘陵区燕沟流域土地利用变化与优化调控.地理学报,2001,56(6):657~666.
- [12] 许中旗,李文华,郑均宝等.太行山区不同土地利用方式保水防蚀能力研究.水土保持学报,2004,18(4):101~104.
- [13] 刘高焕,朱会义,蔡强国,等.小流域综合管理信息系统集成研究.地理研究,2002,21(1):25~36.
- [14] 李妍彬.北京山区小流域经济开发与管理探讨.北京:首都师范大学“学位论文”,2008.
- [15] 黄秉维,郑度,赵名茶,等.现代自然地理.北京:科学出版社,1999.195~210.
- [16] 李秀彬.全球环境变化研究核心领域——土地利用/土地覆被变化的国际研究动向.地理学报,1996,51(6):553

~557.

- [17] 聂瑞林. 晋中太行山区生态修复模式及其相关指标研究. 中国水土保持, 2007, (10): 50~51.
- [18] 蔡为民, 唐华俊等. 土地利用系统健康评价的框架与指标选择. 中国人口、资源与环境, 2004, 14(1): 31~35.
- [19] 韩玉, 顾时贵, 陈源泉, 等. 河北太行山区农业系统协调度分析. 中国农学通报, 2007, 23(10): 204~208.
- [20] Arrell K E, Fisher P F, Tate N J, *et al.* A fuzzy c-means classification of elevation derivatives to extract themorphic classification of landforms in Snowdonia, Wales. Computers and Geosciences, 2007, 33(10): 1366~1381.

## Study on development and utilization of a microscale basin: A case study in the Niujiaohe River of Taihang Mountains

LIU Han, LU Bin

(College of Urban and Environment Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

**Abstract:** Development and utilization of micro-scale basins was regarded as an important issue for agricultural development and environmental restoration at a regional scale. In order to understand the comprehensive development of micro-scale basins in the Taihang Mountains, this paper takes Niujiaohe River as the study area. We have developed a procedure and established an index system of eco-functional regionalization including stability indices and fluctuation indices. Then we presented a method of eco-functional regionalization based on fuzzy clustering, which has significant advantages over other methods in practice. Based on the slope runoff and the degrees of the soil erosion, the whole basin in the study area can be divided into three zones;

1) inundation zone (Zone I) which is a catchment; 2) steep slope zone with serious water loss and soil erosion (Zone II), which is characterized by gully erosion; 3) gully bottom zone (Zone III), which mainly acts as a mobilization-sedimentation area. Zone I is located in the gentle water division ridge, where a base for grain can be built and activities related to farming, forestry and animal husbandry may be arranged. Zone II, featured by the steepest sloping lands, bare bed of rocks and barren soil, should take forestry as the major sector. Zone III, the flat area, can be used for more economic and social benefits as well as a farming base.

**Key words:** development and utilization of micro-scale basin; function zonation; land use model, Niujiaohe basin; Taihang Mountains