

# GIS 支持下的山地景观生态优化途径

张惠远

万 军

(北京大学环境工程研究所, 环境科学中心 北京 100871) (北京大学城市与环境学系 北京 100871)

**摘 要** 以防治水土流失和维护景观整体生态优化为目标, 选择我国西南喀斯特山地为典型案例, 利用遥感资料和地理信息系统(GIS)的空间信息处理技术, 采用适宜性评价与景观整体格局优化相结合的方法, 探讨了山地景观生态优化的实践途径, 在此过程中, 山坡地区普遍存在的贫困落后的社会经济状况得到了充分考虑。

**关键词** 水土流失 山地景观 生态优化

## A Practical Approach of Ecological Optimizing of Mountain Landscape Based on GIS

Zhang Huiyuan

(Center of Environmental Science and Institute of Environmental Engineering, Beijing University Beijing 100871)

Wan Jun

(Department of Urban and Environmental Sciences, Beijing University Beijing 100871)

**Abstract** The two problems of how to combine the prevention of soil erosion with keeping ecological continuity of the whole landscape, and how to bring the poor and undeveloped social-economic state into the ecological planning of mountain areas are emphasized here. Based on this premise, taking the Karst mountain areas of southern-western China as the case, and by means of the image processing techniques of geography information system (GIS), a practical approach of ecological optimizing of mountain landscape is submitted and realized. The manner utilized here is mainly composed of three steps, which is respectively evaluating of suitability of representative landscape, functionally dividing of landscape based on the accessibility surface, building corridors and network being made of these corridors, etc. The remote sensing data of TM image and the contour maps in 1:50,000 scale are the major data source of the study.

**Key words** soil erosion mountain landscape ecological optimizing

景观利用在“垂直”方向不适宜的匹配(如陡坡垦殖)和在“水平”方向不合理的空间布局(如

景观碎裂化),是导致广大山坡地区水土流失和自然生境破坏严重的根源,并从而构成山地景观生态质量整体退化的主要问题。为防治水土流失,不仅需要保护现有的以林地为主的自然植被以涵养水源、调节局地气候,更有必要大面积增加植被,尤其在那些裸石裸土分布和陡坡开垦地带。但为满足人类生存和经济发展的需要,不仅基本的农田需要保护,有些非宜农地和陡坡耕地也迫于人口压力而必须保留。同时,为维护景观整体生态的良性发展,并将其与人类的生存与发展相协调起来,我们所面临的选择也只能是在极有限地调整或增加自然植被面积的条件下,主要通过合理调整景观利用格局和增加自然栖息地间的生态联通程度,使景观维持在一个较高质量的生态水平之上。这就产生了一系列问题,如哪些土地应用来发展自然植被?哪些耕地应立即退耕还林?哪些非宜农地可通过一定工程或生物措施开发利用?如何构建生态廊道,使它能最大限度地避开人类干扰,并起到维持景观的生态连续性和缓解水土流失的双重生态作用?针对这些问题的解决,本文以发展自然植被(这里以林地为主要形式)为手段,利用近年来以景观生态学为基础发展起来的景观生态规划方法<sup>[1][2]</sup>,并借助遥感资料和地理信息系统(GIS)的空间信息处理技术,选择我国西南喀斯特山地为示范区,进行山地景观生态优化的实践探索。

西南喀斯特山地区,地面破碎,土壤瘠薄,土地资源匮乏,是我国由水土流失导致的土地荒漠化极为严重的地区<sup>[3][4]</sup>。由于这里长期处于十分封闭的环境中,经济发展水平低下,科技文化落后,是国家重点扶持的贫困地区之一<sup>[5]</sup>。在这种自然条件恶劣和社会经济落后的双重压力下,“越穷越垦,越垦越穷”的恶性循环越来越难以摆脱。为此,需要针对以喀斯特地为代表的地区所特有的自然与社会经济状况,寻求科学、合理地利用土地资源的实践途径,以维护山地景观的生态安全和土地资源的可持续利用。

## 1 资料处理与研究方法

### 1.1 资料收集

经实地考察与资料分析,我们选择位于贵州省中西部的普定县一个乡级地域(坪上乡)作为研究样区。该样区国土总面积 $107.9\text{ km}^2$ ,地貌类型以低中山山地和低中山丘陵为主,以岩溶丘陵、峰林、峰丛等典型喀斯特地貌为主的山地丘陵约占土地面积的80%以上。人类活动以农业生产为主,形成自然与农业景观共存的景观类型。

考虑到当地土地普查资料的短缺,本研究以TM影像数据作为基本资料来源,收集了景观样区90年代中期(1997年9月)1:5万TM影像数据。数据来源为中国科学院卫星遥感地面站。通过实验分析,选取TM 4、3、2三波段假彩色合成影像为基本数据源。

为辅助图像的景观单元分类分析并弥补遥感影像中所存在的“同物异谱”和“同谱异物”等问题,本研究还收集了研究区1:1万地形图和研究区1:5万地形图;研究区1992年1:5万土地利用图及其它土地普查资料。数据来源分别是贵州省测绘局和贵州省普定县统计局。

### 1.2 数字高程模型(DEM)和影像地理配准

将景观样区1:5万地形图放大,按1:2.5万精度以50m为间隔数字化输入计算机,经表面内插生成景观样区的数字高程模型(DEM)。采用最近相邻法将TM图像与DEM图像进行地理配准,结果误差在1.5个像元(相当于地面45m)以下,并用随DEM生成的景观样区边界对配准后的TM图像进行切割得到景观样区的TM图像。

### 1.3 景观单元的图像分类

利用遥感影像对地表植被较为敏感的特点,主要依据地表植被盖度并结合地面调查对研究

区进行图像分类。为充分反映人类活动的程度和空间分布,从土地利用角度划分出旱地、水田和建设用地等主要由人类活动所直接形成的地表覆盖类型。形成分类系统见表 1。

表 1 景观单元的分类系统

类 别	特 征
林地	指有林地,包括用材林、经济林地和长势较好的灌木林地
灌丛	指以灌木为主的灌丛地、灌草地
水体	指水库及河流
草地	以草本植物为主的灌草地、草地
荒草地	以草本植物为主,覆盖密度较草地少
旱地	无灌溉设施,主要靠天然降水生长作物的耕地,包括坡旱地、梯旱地、茶园等
水田	有灌溉设施和水源保证的耕地,包括水田和望天田
建设用地	包括居住、交通和工矿用地等
裸石、裸土地	基本无植被覆盖的土地

分类处理采用非监督分类和目视判别相结合的方法。通过初步非监督分类,将图像分为若干小簇,再结合航片和地形图进行目视判别。这是由于喀斯特山地地形破碎、起伏变化大,造成影像阴影较多,地表植被类型丰富且空间变异大,致使研究区“同物异谱”和“同谱异物”现象的广泛存在,不利于采用监督分类的方法。

分类结果的检验主要通过实地踏勘和与地方土地利用普查结果对比的途径进行。经过野外和室内的多次检核,上述图像分类的结果基本反映了研究区土地覆盖的实际状况。以上工作以及图像的分类和分析处理均基于微机版 ARC/INFO、DRISI 和 CITYSTAR 完成。

1.4 研究方法

综合已有各种景观生态规划理论与实践<sup>[8][9][10][4]</sup>,采用适宜性评价和格局优化相结合的综合规划方法进行喀斯特山地退化景观生态优化的实践探索。其中,适宜性评价主要考虑景观利用的“垂向”匹配,通过多个限制因子量化图层的空间叠加,实现景观资源的“适地适用”;格局优化主要关注景观单元在空间分配上的生态合理性,本文将借助 GIS 的空间信息处理技术,依据运筹学中的最小耗费原理,通过景观功能分区和生态廊道的构建来实现。另外如何在上述景观优化方法中合理考虑山区贫困落后的社会经济状况也是本文主要关注的问题之一。

2 景观适宜性评价

在喀斯特山地区,地形和地表覆盖类型是影响景观分异和变化的两个基本因素,它们不仅控制着土壤发育、水文状况的分异,以及直接影响水土流失的发生发展,还决定着土地利用的空间分异。如从山地到沟谷盆地常形成缓坡旱耕地-低丘、岗台园地-山地有林地这样的随地势呈带型层叠分布的土地利用配置。为识别发展林地的关键地段,本文以高程、坡度和覆盖类型为指标对景观样区进行发展林地的适宜性评价。

景观样区的海拔高程主要集中在 1 100 m 到 1 700 m 之间。其中沟谷洼地主要分布在海拔 1 200 m 以下,主要集镇基本位于海拔 1 400 m 以下的高程范围,耕地也集中在 1 200~ 1 400 m 之间。以此为依据并考虑地貌组合的完整性,这里按高程将景观分为三级:

一级> 1 600 m; 二级 1 400~ 1 600 m; 三级< 1 400 m。

根据地方的坡度分级标准,将坡度分为:

$$S_1: < 10^{\circ}; S_2: 10^{\circ} \sim 15^{\circ}; S_3: 15^{\circ} \sim 25^{\circ}; S_4: 25^{\circ} \sim 35^{\circ}; S_5: > 35^{\circ};$$

覆盖类型以前述景观分类为基础, 将其中荒草地与裸石裸土地合并为荒地, 参加评价的共有如下 8 个类型:

T<sub>1</sub>: 灌丛; T<sub>2</sub>: 林地; T<sub>3</sub>: 水体; T<sub>4</sub>: 草地; T<sub>5</sub>: 荒地; T<sub>6</sub>: 旱地; T<sub>7</sub>: 水田; T<sub>8</sub>: 建设用地。  
评价采用如下模型:

$$Y_i = H_i \cdot (S_i + T_i), (i = 1, 2, 3 \dots n)$$

式中: *i*——第 *i* 个评价单元; *n*——评价单元的个数; *Y<sub>i</sub>*——第 *i* 个评价单元的适宜性等级分数, 即阻力参数; *H<sub>i</sub>*——第 *i* 个评价单元的高程限制因子。 *S<sub>i</sub>* 和 *T<sub>i</sub>* 分别为第 *i* 个评价单元的所在坡度等级和覆盖类型。

评价原则主要考虑如下 4 条:

高海拔的山地较低海拔地区及沟谷地带具有较高发展林地的优先级(即较高的适宜性或较低的阻力); 随坡度的增大, 发展林地的优先级增加; 现有林地和陡坡荒地作为主要的保护对象应作为发展林地的优先地段; 缓坡耕地, 尤其是低海拔地区的缓坡耕地, 应作为基本农田加以保护。

表 2 基于坡度与覆盖类型的景观单元优先级排序

优先级	坡度+ 覆盖类型	优先级	坡度+ 覆盖类型
1	T <sub>1</sub> + S <sub>5</sub> ; T <sub>2</sub> + S <sub>1~5</sub> ; T <sub>3</sub> + S <sub>5</sub> ; T <sub>4</sub> + S <sub>1~5</sub> ; T <sub>5</sub> + S <sub>5</sub> ; T <sub>6</sub> + S <sub>5</sub> ; T <sub>7</sub> + S <sub>5</sub> ; T <sub>8</sub> + S <sub>5</sub>	9	T <sub>5</sub> + S <sub>1</sub> ; T <sub>5</sub> + S <sub>2</sub>
2	T <sub>6</sub> + S <sub>5</sub>	10	T <sub>6</sub> + S <sub>2</sub>
3	T <sub>1</sub> + S <sub>4</sub>	11	T <sub>7</sub> + S <sub>4</sub> ; T <sub>8</sub> + S <sub>4</sub>
4	T <sub>5</sub> + S <sub>4</sub>	12	T <sub>6</sub> + S <sub>1</sub>
5	T <sub>1</sub> + S <sub>3</sub>	13	T <sub>7</sub> + S <sub>2</sub> ; T <sub>7</sub> + S <sub>3</sub> ; T <sub>8</sub> + S <sub>1</sub> ; T <sub>8</sub> + S <sub>2</sub> ; T <sub>8</sub> + S <sub>3</sub>
6	T <sub>5</sub> + S <sub>3</sub>	14	T <sub>7</sub> + S <sub>1</sub>
7	T <sub>6</sub> + S <sub>3</sub>	15	T <sub>3</sub> + S <sub>1</sub> ; T <sub>3</sub> + S <sub>2</sub> ; T <sub>3</sub> + S <sub>3</sub> ; T <sub>3</sub> + S <sub>4</sub>
8	T <sub>1</sub> + S <sub>1</sub> ; T <sub>1</sub> + S <sub>2</sub>		

评价过程如下: 首先依据前述评价因子和分级标准, 基于景观样区的数字高程模型(DEM), 分别生成景观高程分级图和坡度分级图; 坡度分级图与景观分类图进行叠加, 生成 40 种以坡度和类型两项指标标识的空间单元; 基于前述原则, 按发展林地的优先程度分别对这 40 种单元进行判别分析和类型归并、排序, 得到按优先级排序的 15 种空间单元(优先级越低, 其发展林地的阻力越小)(参见表 2); 将合并后的图层与高程分级图以乘积的形式进行叠加, 便得到以发展林地的相对优先级为属性的空间单元, 以此优先级系数作为各评价单元的阻力参数, 形成以栅格方式(栅格大小为 30m × 30m)存储的景观阻力表面(图略)。

3 景观功能分区及生态廊道构建

3.1 景观“耗费”表面

为合理规划景观的保护与开发利用, 本文首先以海拔高程为主要参考指标, 同时考虑地貌组合等其它因素, 在以山地为主、相对海拔较高且远离集镇和农耕地集中分布的地带, 选择了一些具较大面积的现存林地斑块作为景观生态保护的“核心区”。这里从景观生态学的角度将其称为“源地”。这些“核心区”或“源地”由于多位于高海拔地带, 常常是周围地区地表地下水系的发源地, 可为景观中涵养水源和防止水土流失的“核心”。而且, 由于受人为干扰的影响较小, 它们既拥有丰富的本地物种和稀有物种, 也具备进一步拓展的空间条件, 可作为景观中物种流动的“源”和

“汇”。对这些“源地”的保护将会对景观整体的水循环和其它物质(如野生动植物)流动产生关键作用。

其次,基于上述通过适宜性评价得到的景观阻力表面,借助 DRISI 软件,采用(2)式<sup>[4]</sup>计算景观中从“源地”到每一个景观单元的最小耗费值,形成景观耗费表面如图 1 所示。

$$C_l = \min (D_k \times R_k) \quad (l = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m) \tag{2}$$

式中:  $C_l$ ——第  $l$  个单元到源地的最小耗费;  $n$ ——景观基本单元的总个数;  $m$ ——源地到第  $l$  个单元所经过单元的个数;  $D_k$ ——第  $k$  个单元与源地的距离,  $R_k$ ——第  $k$  个单元的阻力值。

这里的“耗费”意义有三: 一是指从保护区核心(低值区)到人类活动的集中区(高值区), 为发展自然植被所需付出的“代价”(即宜农地和现有耕地的损失); 二指从生物扩散的“源地”到人类干扰的高值区, 发展自然栖息地所需克服的景观“阻力”; 三是指防治水土流失的有效性由耗费表面的低值区向高值区逐渐减小。

图 1 显示, 自各保护“源地”向外, 发展自然植被(林地)的“耗费”逐渐增大, 并围绕源地形成不同耗费水平的缓冲区。当耗费值在耕地和居民地集中的地带达到最高值时, 意味着若在这些地带重建自然植被, 需要以失去高产农田甚至居住地为代价。

3.2 景观功能分区

统计上述景观耗费表面中各耗费水平的格点频率如图 2, 可见其变化序列分别在  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $a_4$ 、 $a_5$  发生明显转折, 我们将这些点称为拐点。以这些拐点处的耗费为临界值, 将景观进行功能分区(参见图 3)。其中, I 区对应图 2 中拐点  $a_1$  之前各耗费水平栅格总数所对应的景观区域; II 区对应  $a_1$  与  $a_2$  间的景观区域; III 区为  $a_2$  与  $a_3$  间的区域; IV 区为  $a_3$  与  $a_4$  间的区域; V 区为  $a_4$  与  $a_5$  间的区域; VI 区则对应  $a_5$  以后的景观区域。

图 2 中, 在拐点  $a_1$  之前, 即图 2 中的源地和 I 区, 随耗费水平的增加, 可扩展林地面积迅速增大, 意味着较小的耗费即可获得很大的面积, 是发展林地的最有效地带, 应作为景观中的主要生态保护区; 在拐点  $a_2$  之前, 即 II 区, 随耗费水平的增加, 可扩展林地面积却急剧减少, 是发展林地的低效地带。反之, 随耗费水平的降低, 即随人类对非宜农区的开发, 又将造成可发展林地的大面积丧失。可见, 这一地带无论对开发还是保护均很敏感, 既不易作为保护区, 也不应开发为农耕地。但由图 3 可见, 它对于维护景观的连通性却具有关键性作用, 因而可作为缓冲地带;  $a_2$  之后, 即 III 区, 虽然序列的趋势未

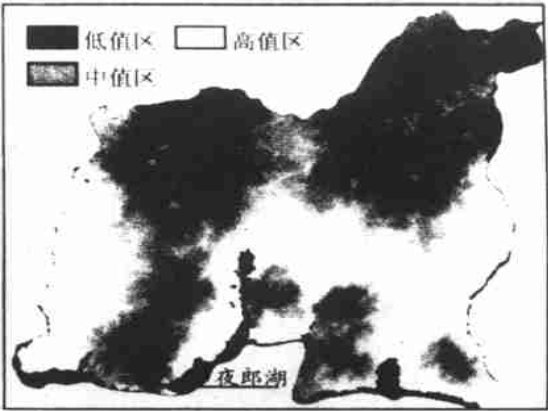


图 1 景观耗费表面

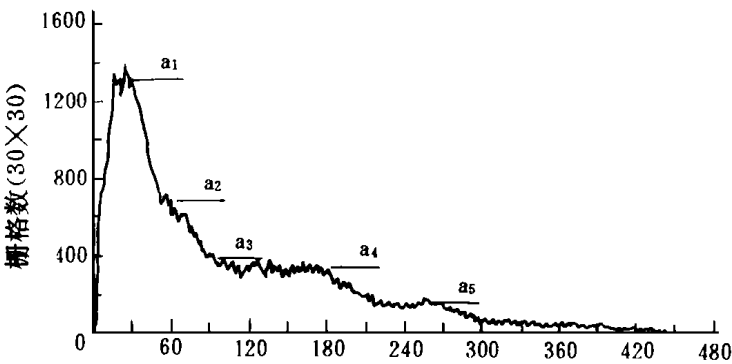


图 2 景观耗费表面的格点频率序列及拐点  
(将耗费表面分为 480 个水平级)

续

变,却已明显趋于缓和,表明对开发的敏感性有所降低。但由于耗费水平较高,已不宜于发展自然植被,也应作为过渡地带; $a_3$ 之后,即IV区,序列变化平和,由于处于高耗费水平,且对人类干扰的敏感性较低,可主要服务于人类的开发和利用; $a_4$ 之后,即V区,随耗费水平的继续提高,发展林地的效率更趋减小,至 $a_5$ 之后,即VI区,发展自然植被的效率趋于零增长,可用于居住和生活的主要用地。

上述分区基本体现了Fom an所倡导的景观总体布局原则<sup>[9]</sup>,即景观单元分别按功能所属集中展布,在保护区内,较高生态价值的景观单元,如林地、灌丛等应受到保护,而在生产区内,经济价值较高的单元类型,如耕地、建设用地等则要占据主导。

### 3.3 生态廊道构建

增强源地之间的连通度,是维护景观整体生态功能的有效途径<sup>[9][11]</sup>,而廊道的构建则是实现这一目的的重要手段。在景观样区中,为充分构建生态廊道以维护景观的生态连续性和起到有效防治水土流失的作用,同时,又能以最小的人类利益损失为代价,应选择耗费表面中两“源地”间的最小耗费通道建立廊道。对于廊道的宽度,仍以前述保护“源地”缓冲区的临界值(30)为限定,并以廊道为“源”,在耗费表面上进行扩散,所达到的最大距离即可作为廊道的缓冲带宽度。这些工作可借助相应的GIS(DRISI 2.0)工具完成,结果参见图3。

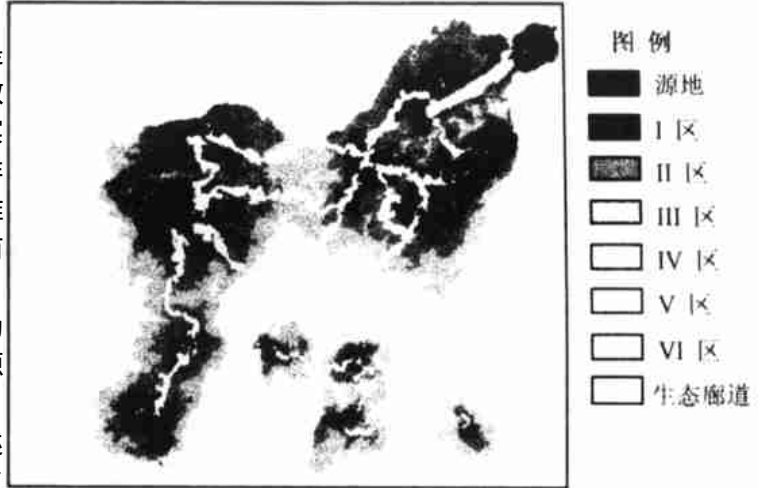


图3 景观功能分区及生态廊道

## 4 讨论与建议

上述过程探索了将防治水土流失与景观格局优化,以及山区社会经济条件相结合的实践途径。在方案的实施中,应针对具体地段采取合理的技术和措施进行设计与维护。如作为防治土壤侵蚀、涵养水源的核心区,由于多位于景观中的难利用地带,维护应以自然恢复为主,对于其中退化较严重地带,可采用一定的工程手段加快恢复;对于缓冲地带,由于用来生产的效率相对较低,可进行以用材林、薪炭林、经济林为主的林业生产,在不影响景观连续性的地段,也可用于经营园地和发展畜牧业,以及局部性农业生产活动;廊道主要服务于维护景观的生态连续性,同时也兼顾涵养水土,其设计不仅要考虑持久性、稳定性,也要注意保持相当的宽度,对于那些难以通过自然恢复或新建成林的廊道地段,可通过保留或新建一些“散置”的小型自然植被斑块以替代廊道的功能,而在经过高密度耕作区的廊道地段,可借助树篱或林带网以保持廊道的连通性。

由于反映土地资源状况和景观利用的生态影响所涉及的因素及表征指标很多,一些景观空间特征(如多样性)和适宜性评价指标(如土壤质地、土层厚度等)未能给予考虑,而对于格局与功能的关系认识(如景观连通性与生物多样性的关系)也需要进一步的验证。本研究仅是基于现有资料和目前认识的尝试性探索。随着资料的完备和有关研究理论的深入,会有更精确的结果。本文得出的基本认识和方法,可作为进一步研究的基础和参考。

(下转封四)

(上接第 74 页)

参考文献

1 Haber,W. . U sing Landscape Ecology in Planning and Management In: Zonneveld, I S and Foman,R. T. T. (eds ). Changing Landscapes: An Ecological Perspective Springer-Verlag, New York, 1990, 217~ 231

2 Naveh, Z and Lieberman,A. S. . Landscape Ecology: Theory and Application Springer, New York, 1994

3 张建平 西南石灰岩山地区土地资源、土地利用的特点、问题及对策 见: 周性和等, 中国西南部石灰岩山区资源开发研究 成都: 四川科学技术出版社, 1990 50~ 57

4 赵名茶 脆弱生境与贫困——桂西北喀斯特山区研究 见: 赵桂久等, 生态环境综合整治和恢复技术研究 北京: 北京科学技术出版社, 1995: 118~ 134

5 蔡运龙 中国西南喀斯特石山贫困地区的生态重建 地球科学进展, 1996, 11(6): 602~ 606

6 Yu Kongjian. Security Patterns and Surface Model in Landscape Ecological Planning Landscape and Urban Planning, 1996, 36: 1~ 17

7 Foman R. T. T. . Land Mosaics: The Ecology of Landscape and Regions Cambridge University Press, 1995

8 McHarg I L. . Design with Nature Doubleday, Garden City, NY, 1969

9 陈利顶, 傅伯杰 景观连接度的生态学意义及其应用 生态学杂志, 1996, 15(4): 37~ 42

水土保持研究(季 刊)  
地球表面地质动力作用过程  
与水土流失研究专辑

第 6 卷第 4 期(总第 27 期)1999 年 12 月  
(1985 年创刊, 1994 年更名, 卷终)

RESEARCH OF SOIL AND  
WATER CONSERVATION

(Quarterly)  
Vol. 6 No. 4(Total No. 27)Dec , 1999

主 办 中国科学院 水利部水土 保持研究所	Sponsored by ISWC, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources
编 辑 《水土保持研究》编辑部	Edited by Editorial Department of the Research of Soil and Water Conservation
主 编 李 锐	Chief Editor Li Rui
出 版 陕西科学技术出版社 (西安市北大街 131 号)	Published by Shaanxi Scientific and Technological Press (No. 131, Northern Street, Xi'an)
印 刷 杨陵科技印刷厂	Printed by Yangling Scientific and Technical Printing House
国外总发行 中国国际图书贸易总 公司(北京 399 信箱)	Foreign China International Book Trading Corporation. (P. O. Box: 399, Beijing, China) 4491Q
国外发行代号 4491Q	
发 行 杨陵邮电局 (陕西省咸阳市杨陵区· 712100)	D istributed by The Press Publish Office of Yangling Yangling, Xianyang ,M unicipality, ShaaXi Province, China, 712100
邮发代号 52—211	Add
编辑部电话 029—7012705	