

地表覆被格局优化对流域土壤侵蚀影响的模拟试验*

陈云浩 李晓兵** 史培军 宫阿都 窦 闻

北京师范大学资源学院, 教育部环境演变与自然灾害重点实验室, 北京 100875

摘要 在已有的通用土壤侵蚀模型的基础上, 提出了基于信息栅格的利用地表覆被格局进行区域土壤侵蚀调控的模型, 并分析了覆被格局对区域生态安全可能影响. 通过对区域内的覆被格局进行林地、灌丛、草地、耕地等情景设定, 对可能的区域土壤侵蚀进行情景分析. 以减少区域土壤侵蚀量为目标, 从地表覆被格局的总量调控和空间优化两个方面, 进行了地表覆被格局优化. 试验表明, 通过对地表覆被格局调控和空间布局优化, 可以有效地减轻土壤侵蚀强度, 是确保区域生态安全的有效途径.

关键词 土壤侵蚀 覆被格局 模拟试验 遥感

地表植被的破坏, 如森林的砍伐, 草原的过牧和人为的过度开垦是导致区域生态环境恶化的一个主要原因^[1, 2]. 为了改善生存和生产条件, 人类正在积极调整自身的活动, 以期缓解人为的生态压力. 实施退耕还林(草)作为我国西部生态环境建设一项长期的政策, 已引起人们的广泛关注.

把过去无序的人类活动改为有序, 即根据当地的气候、水文和土壤等自然条件合理安排土地利用格局, 是实现生态环境长期可持续发展的基本原则^[3]. 研究表明: 地表覆被格局一方面是人类活动与自然环境长期相互作用的结果, 另一方面与其他相关因素(降水, 地形, 土壤等)一起共同决定区域的生态环境^[4, 5]. 地表植被类型、覆盖密度、位置和空间关系所构成的地表覆被景观格局, 对维护与控制区域尺度地球物理化学循环与生态过程有重要意义^[6, 7]. 在利用已有研究成果的基础上, 选择能代表区域生态安全的关键指标, 讨论地表覆被格局与其关系, 对维护区域生态安全具有重要现实意义. 如能进一步建立模型模拟分析地表覆被对流域土壤侵蚀的调控能力, 将切实有助于指导人们进行退耕还林(草)的实践活动, 即可以回答以下问题:

在什么地方实施退耕? 退耕后是还林还是还草? 还多少林与草? 退还后的效果如何?

黄土高原是世界上最典型的土壤侵蚀区和生态脆弱带之一, 其强烈土壤侵蚀的程度, 在整个世界都属罕见. 由于长期的土壤侵蚀带来大量泥沙输入黄河, 使流域中下游的生态环境受到严重威胁, 土壤侵蚀已成为决定该区域生态安全的最关键因素. 对于黄土高原地区而言, 维护其生态安全的关键在于: 如何将地表植被调整到最适合当地自然条件, 从而最大程度地减少区域土壤侵蚀. 本文将着重讨论地表覆被格局对区域土壤侵蚀可能的影响, 并试图通过一系列模拟试验来考察, 通过植被格局的优化能否产生明显的生态环境效应. 从而为科学地组织人类有序活动, 减轻流域土壤侵蚀提供科学决策依据.

1 模型与方法

本文的研究区选择在黄河皇甫川流域五分地沟小流域, 其总体上能较好地代表流域的自然条件和土壤侵蚀特征. 皇甫川是黄河中游的一级支流, 发源于鄂尔多斯高原与黄土高原的过渡地带, 全长

2004-01-30 收稿, 2004-04-14 收修稿稿

* 国家重点基础研究发展规划(G2000018604)、教育部霍英东基金(91019)和国家高技术研究发展计划(2002AA133060, 2002AA130020)资助项目

** 通讯作者, E-mail: xbli@irs.bnu.edu.cn

120 km, 流域面积 3240 km². 该流域水土流失严重, 年均向黄河输送 5×10^7 t 泥沙. 加之属于农牧交错地带, 生态条件十分脆弱, 严重水土流失广泛而深刻地影响着流域的生态环境和农业生产^[8].

在分析和理解研究区地表覆被变化特征和驱动机制的基础上, 认为对该区域进行地表覆被格局优

化的重点在于, 把握覆被类型的总量调控和空间格局优化两方面. 基于供求平衡原理, 以用地总量最佳和位置最优为原则, 采用自上而下的系统动力学和自下而上的空间模型方法相结合, 进而提出面向流域土壤侵蚀的地表覆被格局模拟与优化模型 (图 1).

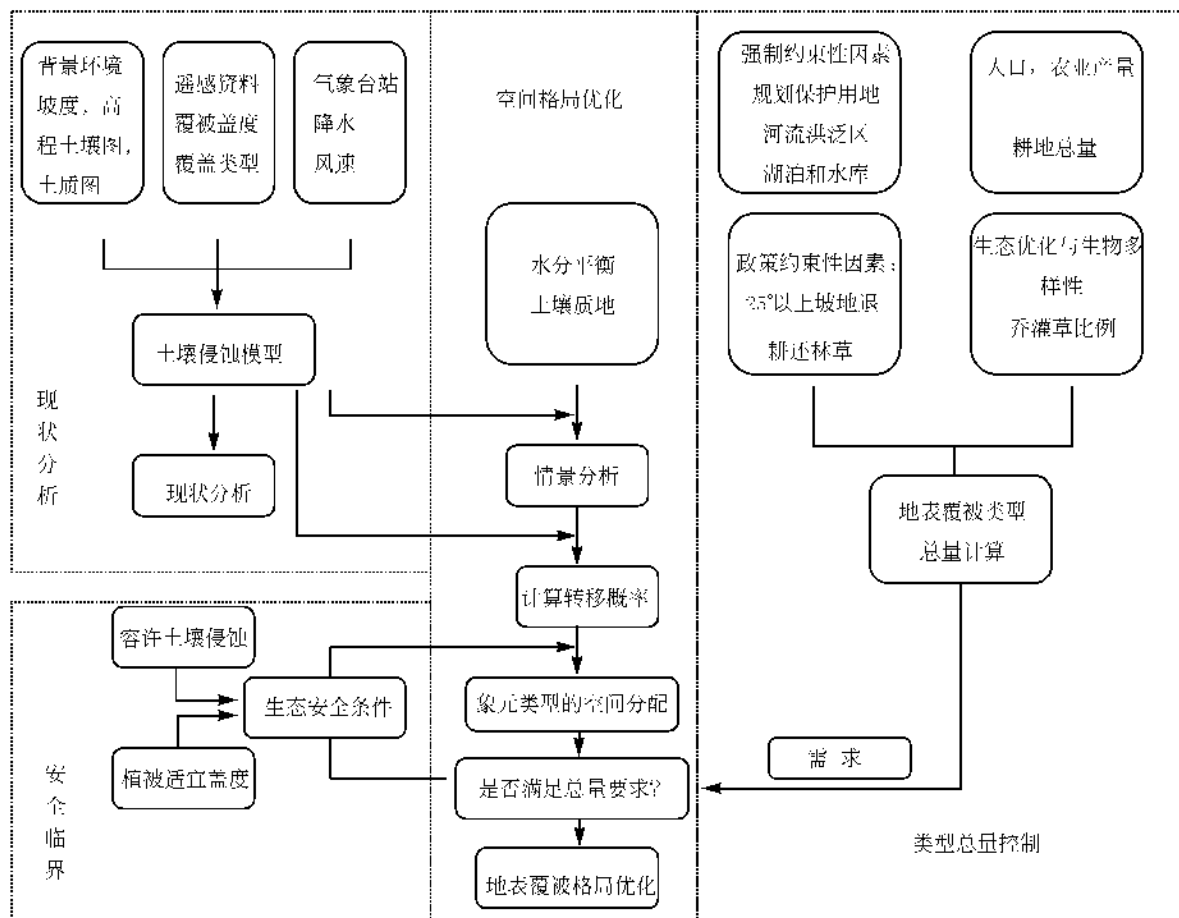


图 1 地表覆被格局模拟与优化模型框图

模型共分为 4 个部分: 背景(现状)信息提取, 安全条件设定, 类型总量控制和空间格局优化. 模型中涉及的参数分别用以下方法获取:

(1) 覆被类型现状图. 在对卫星遥感影像预处理的基础上, 利用最大似然监督分类获取;

(2) 植被覆盖度现状图. 根据基于遥感亚象元模型进行计算^[9,10];

(3) 土壤侵蚀现状图. 研究证明: 皇甫川流域

水蚀是主要的侵蚀类型, 风蚀等作用较弱, 故本文仅对土壤水蚀进行计算^[7]. 水蚀模型采用 universal soil loss equation, USLE 侵蚀方程^[11];

(4) 根据植物的水分需求, 确定单株植物的营养面积, 最终计算出适宜植被盖度^[12].

本文利用上述模型, 重点讨论适宜植被盖度条件下的土壤侵蚀情景分析及面向生态安全的地表覆被景观格局优化的问题.

1.1 情景分析

皇甫川流域的植被适宜盖度主要取决于该区的水分动态平衡, 水分是影响植被适宜盖度和土壤侵蚀的主导制约因子. 为了定量分析不同的植被覆盖类型与土壤侵蚀的关系, 将该区域地表覆被可能的情景简化为: 林地、灌丛、草地、耕地等 4 种单一覆被类型, 分别模拟所对应的土壤侵蚀状况. 主要步骤包括:

(1) 首先从研究区现有的植被覆盖度与植被类型出发, 推算出该区的水分供给条件, 以此作为进行地表覆被优化布局的关键约束因子之一;

(2) 根据其现有水分条件和植被的实际蒸腾量,

分别推算象元作为林地、灌丛、草地和耕地时各自适宜覆盖度;

(3) 根据植被适宜盖度的计算结果, 利用 ULSE 侵蚀模型分别计算出不同地表覆被情景下, 所对应的土壤侵蚀模数.

1.2 格局优化

我们认为地表覆被格局受到环境因素、政策因素、随机干扰因素和自身生态安全要求等 4 种因素影响. 在进行地表覆被格局的设计时, 必须设定自然、社会、生态等多种约束条件, 以确保有效讨论地表覆被格局与流域土壤侵蚀的关系(图 2). 优化模型包括两部分: 类型总量控制和空间格局优化.

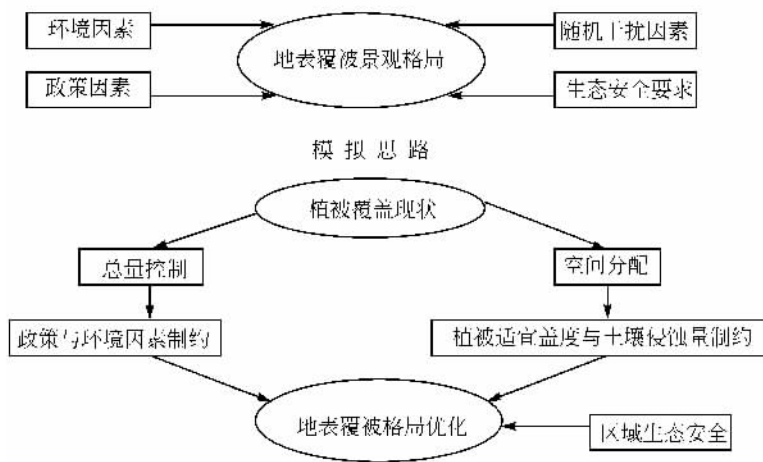


图 2 面向生态安全的地表覆被景观格局优化示意图

(1) 类型总量控制

目的在于确定地表覆被类型的总量, 主要考虑包括以下 4 个方面约束条件:

(i) 满足粮食安全和生存条件要求, 即确保较为稳定的耕地面积;

(ii) 满足生态优化和生物多样性要求, 即考虑林、灌、草的适宜比例;

(iii) 满足强制性边界条件要求, 如湿地、森林公园、地质公园等自然保护区(本文不存在)以及湖泊和水库等不允许或不能进行覆被调整的地区;

(iv) 满足政策性约束因素要求, 如坡度 $> 25^\circ$ 的陡坡耕地, 实施退耕还林还草及城镇扩展等规划建设用地需求.

(2) 空间格局优化

目的在于确定各种地表覆被类型的空间分布. 空间格局优化主要依据图像中各个象元对不同的覆被类型的归属概率而进行. 归属概率是指某一象元, 从有利于生态安全(本文在主要考察减少流域土壤侵蚀)的角度出发, 转化为不同植被类型的可能性. 计算方法如下:

$$P_{ij \cdot k} = \left(1 - \frac{S_k}{\sum_{k=1}^5 S_k} \right) \left(W_N \times R_N \right) \prod_{r=1}^n C_r \times 100\% ,$$

式中, $P_{ij \cdot k}$ 是象元 (i, j) 为行列号)转化为 k 种覆被类型时的归属概率(%); k 表示可能的植被覆盖类

型($k = 1, \dots, 5$, 分别对应于林地(阔叶林、针叶林)、灌丛、草地和耕地); S_k 表示象元为 k 种类型时对应的可能的土壤侵蚀模数; R_N 代表对于约束条件 N 的标准化值, W_N 是该因素的权重($N = 1, \dots, 4$); $\prod_{r=1}^n C_r$ 是一系列二值变量的乘积, 表示对地表覆被类型改变的各种强制性约束因素, 如果 $C_r = 0$, 则该单元可能是河流、湖或其他被保护土地, 假定它们在模型中不发生变化。

(3) 地表覆被格局的优化步骤

(i) 首先从研究区现有的植被覆盖度与植被类型出发, 推算出该区的水分供给条件;

(ii) 对于 25° 以上的坡地, 根据其现有水分条件和植被的实际蒸腾量, 分别推算象元替换为林地(阔叶林、针叶林)、灌丛、草地时各自的覆盖度, 并且确保其盖度不超过各自类型的适宜盖度。从减少土壤侵蚀模数的角度, 分别计算象元被赋予上述植被的归属概率;

(iii) 同理, 对于 25° 以下的坡地, 推算象元为林地(阔叶林、针叶林)、灌丛、草地、耕地时各自覆盖度, 并分别计算象元被赋予上述植被的归属概率;

(iv) 将(ii)或(iii)中计算出的归属概率, 分别对不同覆被类型独立地分配到各个象元上。按不同的覆被类型先从最高归属概率的象元开始进行赋值, 然后是次高的概率, 直到被赋值的象元数目满足了该覆被类型在总量上的要求为止。当该类型的象元满足总量后, 再分配其他的覆被类型, 直到所有象元被赋值。各覆被类型按照耕地、草地、灌丛、林地(阔叶林、针叶林)的顺序进行分配。可同时适应两种类型的象元, 尽可能保持原先类型;

(v) 考察优化后的覆被格局所对应的土壤侵蚀模数和植被盖度, 是否满足土壤侵蚀安全条件。如不满足则退回(iv)重新调整覆被类型。

2 结果分析

下面给出利用上述模型, 对皇甫川五分地沟地表覆被格局模拟的一些主要结果。图版 I(A)给出了 4 种可能地表覆被情景下(耕地、草地、灌丛、林地)的土壤侵蚀模拟结果; 图版 I(B)给出了覆被格局优化前后植被类型及其对应的土壤侵蚀模拟结

果。

将优化前后及 4 种可能情景条件下的土壤侵蚀模拟结果进行对比(见表 1)。可以看出, 优化后所对应的土壤侵蚀模数最小, 其次为灌丛格局、林地格局、草地格局, 年侵蚀模数均小于 10000 t/km^2 。耕地格局和现状所对应的侵蚀模数均大于 10000 t/km^2 , 区域侵蚀模数的现状表明了水土流失严重性, 急需进行土地利用结构的调整。和优化后的格局相比较可发现: 单一的林地、草地、灌丛等覆被模式在防止土壤侵蚀方面有很大的缺陷, 必须构建多层次、复合型的土地利用系统, 增强生态系统的稳定性和自调控能力。

表 1 研究区不同覆被格局对应的土壤侵蚀模数

覆被格局类型	对应的土壤侵蚀模数/($\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)
现状覆被格局	18713.166
灌丛覆被格局	6463.906
林地覆被格局	7182.117
草地覆被格局	8281.573
耕地覆被格局	20174.015
优化覆被格局	5653.249

优化后的覆被结构较优化前也有了明显的改善(表 2)。主要表现在: 对区域土壤侵蚀起重要屏障作用的林地面积显著增加, 占区域土地总面积的百分比达 25.43% (优化前为 15.58%), 同时林地内部组合结构也有了改善。另外, 灌木面积由占主导地位的 39.02% 降为 24.07%, 草地由 20.13% 上升为 25.66%, 各覆盖类型趋于均衡, 反映了生态系统结构的多样性和稳定程度增加, 意味着系统的自调控、自平衡能力增强; 与之相对应, 经过优化后的针叶林面积显著减少, 耕地面积也有所下降, 水体保持不变。

表 2 研究区覆被格局优化前后的地表覆被类型比较

覆被类型	现状		优化	
	面积/ hm^2	所占比例/%	面积/ hm^2	所占比例/%
裸地	41.66	5.73	37.10	5.10
水体	24.75	3.40	24.75	3.40
阔叶林	41.94	5.76	184.86	25.40
针叶林	71.46	9.82	25.27	3.48
灌丛	283.96	39.02	174.96	24.04
耕地	117.451	6.14	94.32	12.96
草地	146.52	20.13	186.48	25.62
合计	727.74	100.00	727.74	100.00

3 结论与讨论

基于流域土壤侵蚀的考虑,本文有针对性地提出了适合研究区特点的地表覆被格局优化模型.运用该模型进行了林地、灌丛、草地、耕地等情景模拟及最终的格局优化调控,取得了较好的效果.结果表明:土壤侵蚀与地表覆被格局有密切的联系,植被类型、植被盖度与土壤侵蚀三者在水分调控下呈较为复杂对应关系.通过对地表覆被格局调控,可以有效的改善流域土壤侵蚀条件.本文提出的地表覆被格局优化模型与方法,对指导实施退耕还林(草),通过因地制宜的地表植被格局的优化来实现区域生态环境的改善,具有现实意义.

土壤侵蚀条件下的覆被格局模拟所涉及的内容十分复杂,本文尝试对其进行初步分析.虽然所提出的模型在流域土壤侵蚀模拟方面已显示出广阔的应用前景,但也存在以下不足,有待今后工作中不断改进:

(1) 本文假设水分是皇甫川小流域植被生长的主要驱动因子,对光照条件、热量条件及地形、土壤等因素的影响,有待进一步考虑;

(2) 影响流域土壤侵蚀的因素很多,可根据不同研究区实际情况进一步考虑其他因素对流域土壤侵蚀的影响;

(3) 本文主要考虑自然条件对覆被格局的影响,

而对地表覆被景观格局受人为影响部分,有待进一步在模型中完善.

参 考 文 献

- 1 Wei H L, et al. Study of the sensitivity of a regional model in response to land cover Northern China. *Hydrological Processes*, 1998, 12: 2249
- 2 Lean J, et al. Amazon deforestation and regional climate change. *Journal of Climate*, 1991, 4: 957
- 3 符淙斌,等.恢复自然植被对东亚夏季气候和环境的影响的一个虚拟试验. *科学通报*. 2001, 46(8): 691
- 4 刘宝元,等.土壤侵蚀预报模型.北京:中国科学技术出版社, 2001
- 5 Nearing M A, et al. Measurements and models of soil Loss rates. *Science*, 2000, 290: 1300
- 6 Yu K J. Security patterns and surface model in landscape planning. *Landscape and Urban Plann*, 1996, 36(5): 1
- 7 Rogers K S. Ecological security and multinational corporation. <http://www.ecsp.si.edu/ecsp/lib.nsf>
- 8 金争平,等.黄河皇甫川流域土壤侵蚀系统模型和治理模式.北京:海洋出版社, 1992
- 9 陈 晋,等.基于土地覆盖分类的植被覆盖率估算亚象元模型与应用. *遥感学报*, 2001(6): 416
- 10 Wittich K P, et al. Area-averaged vegetative cover fraction estimated from satellite data. *International Journal of Biometereology*, 1995, 38(3): 209
- 11 Wischmeier W H, et al. A soil erodibility nomograph farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1971, 26: 189
- 12 廖汝棠,等.毛乌素流动沙地适宜植被覆盖率研究 1. 沙生植物水分关系与适宜种植规模.毛乌素沙地开发整治研究中心研究文集(第一集).呼和浩特:内蒙古大学出版社, 1992