

景观生态学原理在土壤侵蚀学中的应用与实例分析

游 珍¹, 李占斌^{1,2}, 袁 琼³

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨陵 712100;
2. 西安理工大学, 西安 710000; 3. 普定县国土局, 贵州 普定 562100)

摘要: 景观生态学是一门交叉学科, 它日渐成熟的理论已被广泛运用于各个学科。就等级理论与尺度效应、渗透理论和源汇系统理论、格局过程关系理论以及景观安全格局理论在土壤侵蚀学中的应用进行了探讨, 证实了景观生态学原理在土壤侵蚀学中的应用的可行性。然后以黄土高原黄家二岔流域为例, 从土壤侵蚀角度出发, 分析了阴坡和阳坡的景观格局, 提出并计算斑块大小、斑块形状和斑块排列顺序三个指标, 然后判断它们对土壤侵蚀的影响, 认为阴坡的景观格局受人为干扰大, 耕地比重大, 且地块形状规则, 分布在坡下部位置, 利于土壤侵蚀的发生; 而阳坡人工草地比重大, 灌木林和林地的等高连通度大, 且分布在耕地之下, 有利于水土保持。最后, 认为应用景观生态学原理分析和评判流域土壤侵蚀是可行的, 并且具有较大的发展潜力。

关键词: 景观生态学; 土壤侵蚀; 景观格局

中图分类号: S 157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005)03-0141-04

The Application of Landscape Ecology Principles in Soil Erosion and a Case Analysis

YOU Zhen¹, LI Zhan-bin^{1,2}, YUAN Qiong³

(1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Xi'an University of Technology, Xi'an 710000, China;

3. The Bureau of Land Resource of Puding County, Puding, Guizhou 562100, China)

Abstract: Landscape ecology is a new intersection science. With its development, its principles are applied in different subjects widely. The application of some of them in soil erosion science is discussed, including hierarchy theory and scale effect, percolation theory and source and pool system theory, pattern process system and landscape security patterns theory. Then, taking Huangjia'ercha catchments as an example, the landscape pattern in sunny slope and shady slope are analyzed, as well as three landscape pattern factors: patch's area, patch's shape and patch's turn in slope. By them, the authors judge the effect of landscape pattern on soil erosion. The landscape pattern in sunny slope is better than that in shady slope. The landscape pattern in shady slope is easy to conserve erode because of its large proportion of tith, serious human disturbance and regular figure plot. But the landscape pattern in sunny slope is easy to conserve soil and water because of its large proportion of grassland, high connection along contour, and the distribution under tith. In the end, it's feasible to apply landscape ecology theory to assess and judge soil erosion of catchments.

Key words: landscape ecology; soil erosion; landscape pattern

景观生态学是 20 世纪 80 年代迅速崛起的一门交叉学科, 它已被广泛运用于多个学科领域。随着景观生态学的不断发展和完善, 景观生态学原理也日渐成熟, 成为其他学科借鉴的重要内容。土壤侵蚀学就是这样的学科之一。目前对

土壤侵蚀的研究多集中在坡面尺度, 但是土壤侵蚀在小尺度上的研究只可以摸清其机制, 而在大尺度的研究中才可以找出治理的对策^[1]。而且水土流失不能仅从单因子方面入手, 而应该从景观水平上综合考虑, 从中找出主要的生态因子, 讨

¹ 收稿日期: 2004-12-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(40371075); 黄河水利委员会“十五”重大治黄科技项目(2002S Z08); “十五”国家科技攻关(2001BA606A-04)联合资助

作者简介: 游珍(1977-), 女, 博士研究生, 主要研究方向为土壤侵蚀与环境变化。

论影响水土流失的众多因素^[2]。本文希望通过借鉴景观生态学原理,从整体出发,考虑各种生态因子,完善土壤侵蚀学在宏观尺度上研究的不足。

1 研究综述

目前许多学者对景观生态学在土壤侵蚀学中的应用已经做了一定的研究。如蒋学纬等从景观生态学原理入手,论述了尺度、景观格局、景观异质性和景观连接度等理论在流域规划中的应用,其中尤其考虑了土壤侵蚀问题^[3]。孟庆华等从景观格局的角度讨论了土壤养分运动与水土流失^[4]。傅伯杰等从土地利用结构与土壤水分、养分、水土流失等生态过程之间的关系研究了景观格局与生态过程的关系^[5]。由于对景观的理解可以根据观察者的感受和研究者的目的而定^[6],因此,从土壤侵蚀的角度可以将景观理解为地貌、植被、土地利用和人类居住地格局的特别结构^[6]。目前从土地利用格局对土壤侵蚀的研究占了这类研究的绝大多数。如倪晋仁等研究了安塞纸坊沟土地利用结构动态变化与区域水土流失动态变化特征之间的关系,认为两者之间变化较为吻合^[7]。杨武德等应用定位土芯示踪方法研究了红壤坡地不同土地利用方式下土壤侵蚀的时空分布,认为相同坡度和坡长条件下,对于土壤侵蚀速率来说幼龄板栗园>雷竹园>稀疏马尾松林地>茶园^[8]。此外还有蔡强国、符素华、黄进勇等许多学者分别对不同地区的土地利用与土壤侵蚀的关系做了大量研究^[9~13]。尽管目前关于景观格局、土地利用与土壤侵蚀关系的研究越来越多,但系统的,有针对性的将景观生态学原理应用于土壤侵蚀,以及具体的,实例的讨论景观格局与土壤侵蚀生态过程之间的关系研究并不多见,因此本文将系统地吧景观生态学原理应用于土壤侵蚀学,并以实例论证。

2 景观生态学原理及其在土壤侵蚀学中的应用

2.1 等级理论和尺度效应

等级理论是由一些系统理论学家和哲学家创立的。Overton 将该理论引入生态学^[14],O'Neill 等进一步阐述了生态系统结构和功能的双重等级性质,并强调时间和空间尺度以及系统约束对于生态系统研究的重要性^[15]。等级是一个由若干单元构成的有序系统,每一级组成单元相对于低层次表现出整体特性,而对于高层次表现出从属性或受制约性。根据等级理论,复杂系统可以看作是由具有离散性等级层次组成的等级系统^[6]。尺度这一术语通常用于观察或研究的物体或过程的空间分辨率和时间尺度。高等级层次上的生态学过程往往是大尺度、低频率、慢速度;而低等级层次的过程常表现为小尺度、高频率、快速率的^[16]。

对于土壤侵蚀研究来说,坡面尺度、流域尺度、区域尺度是研究的三个主要等级。目前大部分成果集中于坡面尺度,但是流域管理、区域规划等实际工作需要从流域尺度,甚至区域尺度应用土壤侵蚀的研究成果,因此尺度转换成为目前土壤侵蚀学研究的重要难题。在坡面尺度上,对土壤侵蚀的研究主要集中在降雨因子、土壤可蚀性因子、坡度坡长因子、作物经营管理因子和土壤侵蚀控制措施因子。而在流域尺

度,主要的研究集中在植被覆盖度因子和土地利用因子,但是大多是统计和规律分析,对于它们的影响机制涉及的比较少。从流域角度看,土地利用是一个很好的研究对象。因为它包含坡面尺度上作物经营管理和土壤侵蚀控制措施因子,而且它由于受人造因素影响严重,因此给土壤侵蚀赋予了人类影响的因素,符合目前人为加剧侵蚀的现状。但是对土地利用的研究应加强以下两个方面,一是加强对机制的研究,用模型或较为通用的方法加强定量研究。二是加强区域间的对比研究。目前的土地利用与土壤侵蚀的研究在时间尺度上比较活跃,但空间尺度上的区域对比研究比较薄弱。区域间的土地利用与土壤侵蚀关系的对比研究除了要考虑土地利用格局的差异,还要考虑降雨、土壤、地貌等综合因素。尽管这样的研究存在一定的难度,但具有较高的研究价值。

2.2 渗透理论和源汇系统理论

渗透理论最突出的要点就是当达到某一临界密度时,渗透物能够突然从媒介材料的一端到达另一端^[17]。它是一种从量变到质变的过程。景观连通度对渗透过程往往起着临界的作用,它对种群动态,水土流失和干扰蔓延等都有重要意义。源汇系统理论则是表征由于密度、重力等差异而导致的物质流动及其流动方向。

土壤侵蚀是一种水流和土流的运动过程,这种运动往往会因为地面物质而改变,或加剧或减缓。由于土壤侵蚀是一种重力运动,因此相对高差在决定运动速度和方向上起着绝对作用。土地利用是人类活动改变地表微地貌的一种表现。因此土地利用格局可以在一定程度上改变土壤侵蚀的程度,尤其是在等高方向和顺坡方向的格局特征,对于判断土地利用格局对土壤侵蚀的作用有重要意义。例如蔡强国等认为在紫色土陡坡地区,等高植物篱技术可以减少径流量 22%~43%,水平梯田可以减少径流量 62%~67%^[19]。土地利用格局中的一些带状斑块对土壤侵蚀起着“渗透膜”的作用,当这些斑块的阻碍作用达到一定程度后,就能阻止土壤侵蚀,从而在这类斑块前形成“汇”。淤地坝就是应用了这一原理,使坝前地不断淤积,最终形成良田。

2.3 格局过程关系理论

景观格局一般是指其空间格局,即大小和形状各异的景观要素在空间上的排列和组合,包括景观组成单元的类型、数目及空间分布与配置。它是景观异质性的具体表现,又是各种生态过程在不同尺度上作用的结果^[6]。景观格局与生态过程的相互关系是景观生态学理论研究的核心部分,但是格局-过程关系常常是很复杂的,从格局到过程的推绎是景观生态学面临的一大挑战^[17]。

景观格局与土壤侵蚀过程的研究往往体现在土地利用格局对土壤侵蚀的影响上。土地利用格局对土壤侵蚀的影响往往表现在三个方面。一是不同斑块大小,包括不同类型斑块面积所占比例和每类斑块破碎度;二是斑块的形状,由于不同斑块对于土壤侵蚀的功能不同,因此不同斑块的不同形状对于土壤侵蚀都有不同的意义。比如沿等高方向的林地带状斑块对土壤侵蚀有阻碍作用,而顺坡方向的耕地斑块对土壤侵蚀则有加剧作用;三是斑块的排列顺序,尤其是在沿坡

面方向土地利用类型的排列顺序不同,对土壤侵蚀的影响也不同。傅伯杰等在陕北黄土高原羊圈沟的研究表明沿坡面从上到下林地-草地-耕地是一种较好的景观结构,利于保持水土和土壤养分^[18]。对于景观格局的数量表示方法目前有很多种,但专门针对土壤侵蚀的还比较缺乏。针对土壤侵蚀的景观格局指数的确立要依据土壤侵蚀发生的机制和影响因素。

2.4 景观安全格局

任何一个景观其内部均存在某种潜在的空间格局,对控制景观内的水平生态过程起着关键作用的战略点及其空间联系构成了景观安全格局^[19,20]。景观安全格局认为,生态过程对经济发展、认为干扰所带来的冲击的忍受能力是有阈值的,但没有最终边界的存在。实施景观安全格局是一个地区调节经济发展、资源环境与生态过程间矛盾的有利手段^[21]。

景观安全格局对于小流域水土保持规划有及其重要的意义。小流域水土保持规划的意义在于减少流域土壤侵蚀,同时满足该区经济和社会的发展需求,实现流域可持续发展。但是生态和经济在目前情况下多为矛盾状态,因此水土保持规划要求寻找一个阈值,使得规划后的土地利用格局最大程度满足生态、经济和社会的需要。景观安全格局就是生态阈值的一个体现,水土保持规划应当在景观安全格局的基础上对土地利用及水保措施进行调整。同时景观安全格局的评判尺度是流域尺度,符合水土保持规划的要求。目前对景观安全格局的应用多集中于自然保护区,物种迁移等,但是景观安全格局在水土保持规划中的应用潜力不容忽视。

3 应用实例

为了具体说明景观生态学原理在土壤侵蚀中的应用,我们选取了黄土高原西吉区黄家二岔流域作为研究对象,从景观格局的角度讨论了景观格局与土壤侵蚀过程之间的作用关系。

黄家二岔流域位于宁夏西吉县西部,东经 105 29 00 ~ 105 31 40,北纬 35 57 18 ~ 35 58 40,海拔 1 860 ~ 2 135 m,流域面积为 5.7 km²,是葫芦河支流滥泥河的源头,地貌属黄土丘陵区,南北坡地形差异明显,北坡较陡,坡面破碎,南坡较缓,坡面完整。黄家二岔流域地处半干旱地区,年平均降水 402.2 mm,降雨主要集中在 7~9 月,占全年降水总量的 58.6%。流域内土壤主要是在黄土母质上形成的,分布面积最大的是细黄土,其次为黑垆土和白盐土,土壤颗粒以粗粉沙为主,质地为中壤和轻壤,结构疏松,抗蚀性差。根据以 1987 年和 1990 年两次专门为监测试区综合治理而拍摄的彩红外航片为基本数据源所编制的西吉区 1990 年土地利用图、地形图、土地类型图、坡度分级图,经扫描后,在 ARCVIEW 3.2 平台上进行数字化处理和属性数据的分类输入,将土地利用图与坡度分级图进行叠加操作后,分别生成不同坡度级别的土地利用图,把它们作为单独的图层输出,进行坡度与土地利用类型的分析。由于本区的阴坡和阳坡具有显著的差异,因此本文分别对阴坡和阳坡进行景观格局分析,提取该区的景观格局特点,分析它们对土壤侵蚀的影响,本研究选取了斑块大小、形状和排列顺序三类指标表征景观指标,计算方法如下:

表 1 景观格局指数选取及其计算方法

| 景观格局指数 | 二级指标 | 计算公式 | 公式各量的物理意义 |
|--------|-----------------------------|--|--|
| 斑块大小 | 斑块面积 | $A_1 = S_i / S$ | A_1 为斑块的面积比例; S_i 为第 i 类斑块的总面积; S 为小流域总面积 |
| | 斑块破碎度 | $A_2 = \frac{S_i}{\bar{S}_i}$ | A_2 为斑块破碎度指数; \bar{S}_i 为第 i 类斑块的平均面积; S_i 为该类型斑块的总面积 |
| 斑块形状 | 等高连通度(对斑块覆盖沿等高方向的平行线段) | $B_{1i} = \frac{\sum_{j=1}^n L_{ij}}{n}$ | B_{1i} 为第 i 类斑块的等高连通度; L_{ij} 为第 j 条等高平行线通过第 i 类斑块长度; L_{ic} 为该等高平行线通过该区的长度; n 为通过该区的等高平行线的总条数 |
| | 顺坡连通度(对斑块覆盖顺坡方向的平行线段) | $B_{2i} = \frac{\sum_{j=1}^m L_{ij}}{n}$ | B_{2i} 为第 i 类斑块的顺坡连通度; L_{ij} 为第 j 条顺坡平行线通过第 i 类斑块长度; L_{ic} 为该顺坡平行线通过该区的长度; m 为通过该区的顺坡网格线的总条数 |
| 排列顺序 | 斑块相对位置(对斑块覆盖沿等高方向和顺坡方向的网格线) | $C = \frac{\sum_{h=1}^k X_{ih}}{k}$ | C 为斑块相对位置; X_{ih} 为第 i 类斑块中第 h 个斑块的平均顺坡网格线序号; k 为第 i 类斑块的在该区的总个数 |

黄家二岔流域土地利用如图 1 所示,结论如下:

(1) 阴阳坡由于主要的斑块类型不同,主要侵蚀类型也有明显差异。阳坡以人工草地为主,耕地比重较小,人为干扰弱。阴坡则耕地比重大,尽管耕地多为梯田,但大部分梯田仅修筑田埂,使坡面坡度减小,而且由于土筑田埂易被损毁,保持水土的作用并不明显,反而由于人为干扰强烈,加剧土壤侵蚀。因此阴坡以陡坡农地强度面蚀为主,阳坡以梁峁坡草地轻度鳞片状侵蚀和梁峁坡草地中度鳞片状侵蚀为主。

(2) 阴坡景观格局利于土壤侵蚀,阳坡景观格局利于保

持水土。耕地在阴坡破碎度小,连通度大。根据土壤侵蚀的规律,加剧土壤侵蚀的土地利用类型越集中连片,顺坡方向连通度越大,则它加剧土壤侵蚀的程度就越强。阴坡的耕地占绝对优势,顺坡连通度达到 0.563,而且据斑块相对位置指数,耕地分布在靠近坡底的位置,其下仅有少量人工草地的斑块存在,因此阴坡的土壤侵蚀比较严重。而对于阳坡,人工草地占绝对优势,耕地仅占 22.83%,就分布位置来看,耕地以下有林地和灌草地,均为保持水土较有利的土地利用类型,在坡顶,又有等高连通度极高的人工草地存在,因此就景观格局来看,阳坡的景观格局比较有利于水土保持。

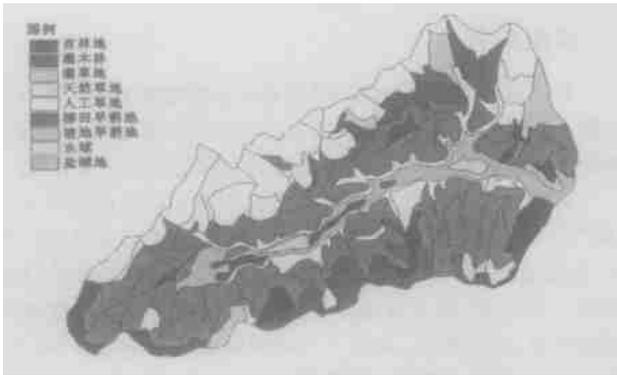


图 1 黄家二岔流域土地利用图

根据以上公式, 我们分别计算了黄家二岔流域的阳坡和阴坡的景观格局指数, 结果如下:

表 2 黄家二岔流域阳坡景观指数

| | 耕地 | 林地 | 灌木林 | 灌草地 | 天然草地 | 人工草地 |
|--------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|
| 斑块面积 | 21.83% | 3.96% | 11.51% | 8.03% | 0.78% | 55.81% |
| 斑块破碎度 | 0.23 | 0.33 | 0.41 | 0.5 | 1 | 0.92 |
| 等高连通度 | 0.369 | 0.031 | 0.061 | 0.087 | 0.004 | 0.447 |
| 顺坡连通度 | 0.312 | 0.022 | 0.069 | 0.036 | 0.006 | 0.553 |
| 斑块位置指数 | 8.77 | 9.43 | 7.38 | 10.38 | 4.5 | 3.65 |

(3) 阴坡地块规则, 林地、灌木林等高连通度大, 但均分布于耕地之上。由于阴、阳坡水热条件的差异, 除了耕地与人工草地两类主要土地利用类型外, 阳坡以灌木林与灌草地为

参考文献:

[1] 刘世梁, 傅伯杰. 景观生态学原理在土壤学中的应用[J]. 水土保持学报, 2001, 15(3): 102- 106.

[2] 黄炎和, 林敬业, 蔡志发. 影响福建省水土流失因子研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(2): 36- 54.

[3] 蒋学纬, 周正立, 李凯荣. 景观生态学原理在流域规划中的应用[J]. 西北林学院院报, 2003, 18(2): 112- 115.

[4] 孟庆华, 傅伯杰. 景观格局与土壤养分流动[J]. 水土保持学报, 2000, 14(3): 116- 121.

[5] 傅伯杰, 陈利顶, 王军. 土地利用结构与生态过程[J]. 第四纪研究, 2003, 23(3): 247- 255.

[6] 肖笃宁, 李秀珍, 高峻. 景观生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2003. 1- 10.

[7] 倪晋仁, 李奎莹. 基于土地利用结构变化的水土流失动态评估[J]. 地理学报, 2001, 56(5): 611- 621.

[8] 杨武德, 王兆骞, 陆国平. 红壤坡地不同土地利用方式土壤侵蚀的时空分布规律研究[J]. 应用生态学报, 1998, 9(2): 155- 158.

[9] 蔡强国, 吴淑安. 紫色土陡坡地不同土地利用对水土流失过程的影响[J]. 水土保持通报, 1998, 18(2): 1- 8.

[10] 符素华, 段淑怀, 李永贵. 北京山区土地利用对土壤侵蚀的影响[J]. 北京师范大学学报, 2002, 12(1): 108- 112.

[11] 黄进勇, 严力蛟, 王兆骞. 红壤小流域不同土地利用方式下的水土流失特征[J]. 浙江大学学报, 2002, 28(1): 78- 82.

[12] 马力, 杨新民, 吴照柏. 不同土地利用模式下土壤侵蚀空间演化模拟[J]. 水土保持通报, 2003, 23(1): 49- 51.

[13] 陈松林. 基于 GIS 的土壤侵蚀与土地利用关系研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2000, 16(1): 106- 109.

[14] Overton W S. Toward a general model structure for forest ecosystem[A]. In: Franklin J E. ed. Proceedings of the Symposium on Coniferous Forest Ecosystems[M]. Poreland, Oregon: Northwest Forest Range Station, U. S. A, 1972.

[15] O'Neill R V, et al. Indices of landscape pattern[J]. Landscape Ecology, 1988, 1: 153- 162.

[16] O'Neill R V, Deangelis D L, Waide J B, et al. A hierarchical concept of ecosystems[M]. Princeton: Princeton University Press, 1986.

[17] 邬建国. 景观生态学——格局, 过程, 尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002. 56- 57.

[18] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明. 黄土高原羊圈沟流域土地利用变化对生态环境的影响[J]. 地理学报, 1999, 54(3): 241- 246.

[19] Yu K J. Security patterns in landscape planning: with a case in south China[D]. London: Harvard University, 1995.

[20] Yu K J. Security patterns and surface model in landscape planning[J]. Landscape and Urban Planning, 1995, 36(5): 1- 17.

[21] 赵羿, 李月辉. 应用景观生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 261- 266.

主, 而阴坡以林地和灌木林为主。阴坡受人为影响强烈, 地块较规则, 因此林地和灌木林的等高连通度较大, 利于保持水土, 但由于它们的相对位置都在耕地之下, 对于耕地所流失的水土, 无法起到保护作用。

表 3 黄家二岔流域阴坡景观指数

| | 耕地 | 林地 | 灌木林 | 天然草地 | 人工草地 |
|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| 斑块面积 | 57.74% | 17.00% | 10.55% | 1.92% | 12.78% |
| 斑块破碎度 | 0.72 | 0.1 | 0.52 | 1 | 0.24 |
| 等高连通度 | 0.506 | 0.279 | 0.092 | 0.013 | 0.115 |
| 顺坡连通度 | 0.563 | 0.21 | 0.095 | 0.02 | 0.1 |
| 斑块位置指数 | 6.37 | 2.99 | 3.75 | 1.65 | 8.23 |

4 结 论

运用景观生态学原理分析土壤侵蚀弥补了坡面研究的不足, 从格局的几何形态特征表征土壤侵蚀的影响因素, 拓宽了土壤侵蚀研究的视角, 对土壤侵蚀的发展有着一定的意义。本文仅仅对景观格局对土壤侵蚀的影响做了初步的实例探讨, 认为景观格局可以成为评判区域水土保持的重要因素。景观格局具有可调控性, 可规划性, 因此对景观格局的研究可以成为土地利用格局规划的重要内容。当然, 对于景观安全格局、渗透理论等方面仍有探讨的必要和可能, 它们在土壤侵蚀学中的应用具有较大的潜力, 值得进一步探讨。