

文章编号: 1000-5692(2007)03-0342-08

水土流失的景观生态分析

宋瑜¹, 江洪^{1,2}, 余树全², 周国模²

(1. 南京大学 国际地球系统科学研究所, 江苏 南京 210093; 2. 浙江林学院 国际空间生态与生态系统生态研究中心, 浙江 临安 311300)

摘要: 水土流失是一个严峻的资源环境和生态问题。了解景观基质和格局与水土流失的关系, 将有助于水土保持措施的定量设计和发展有效的景观恢复技术。文章分析了景观基质与景观格局, 特别是人类活动影响下的景观格局变化对水土流失的影响; 通过对水土流失的景观尺度分析, 以及相关研究方法与手段的比较。最后提出, 在流域和区域尺度上, 利用遥感技术和分布式土壤侵蚀模型技术, 建立干扰压力下景观格局时空变化对水土流失影响的预警系统的构想。参 64

关键词: 农业工程; 水土流失; 景观生态; 景观格局; 景观基质; 景观尺度; 综述
中图分类号: S718.5; S157 **文献标志码:** A

水土流失一直是生态学研究中的一个重要领域, 也是一个严峻的资源环境问题^[1]。水土流失造成了大面积的生态系统退化和环境灾变, 严重地影响了社会经济的可持续发展^[2]。长期以来, 水土流失的相关生态学研究中比较侧重植被退化、土地利用和土地覆盖变化对水土流失的影响^[3,4], 对于水土流失的格局与过程相互作用的研究还不多。因此, 很难从理论上系统地分析恢复措施上采用的不同植被配置的时空变化的水土保持效应, 较难定量设计和发展有效的恢复技术。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^[5]。就影响水土流失的因素来看, 地形地貌、气候、土壤因素在较大的时间尺度上发生变化, 由人类活动造成的景观格局破碎与土地利用方式改变则比较快地在较短的时间(如几十年)内对水土流失过程产生严重影响。文章从景观基质、格局与功能的关系等几个方面分析了景观变化对水土流失的影响, 并探讨了在水土流失防治工作中, 如何实现土地的合理利用和景观格局的优化配置。通过对水土流失的景观尺度分析, 以及相关研究方法与手段的比较, 试图为流域和区域尺度上水土保持研究提供景观生态依据。

1 景观基质对水土流失的影响

基质(matrix)、廊道(corridor)、斑块(patch)是景观生态学的3个核心概念。基质是面积最大、连通性最好的景观要素^[6]。常见的基质有森林、草原、城市和农田等。随着空间尺度的变化, 斑块、廊道和基质互相转化, 在特定的空间尺度下, 景观基质控制着主要生态过程。因此, 有必要深入探讨景

收稿日期: 2006-11-23; 修回日期: 2007-01-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40671132); 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2002CB111504); 浙江林学院森林培育重中之重学科开放基金项目(200608)

作者简介: 宋瑜, 硕士研究生, 从事景观生态和水土流失研究。E-mail: lifeisatreeys@gmail.com. 通信作者: 江洪, 教授, 博士, 从事生态模拟、空间生态学和生态系统进化等研究。E-mail: jianghong@nju.edu.cn

观基质与水土流失的关系。

森林植被对防治土壤侵蚀均有明显作用。乔、灌、草层每年可截留降水量累积可占全年大气降水的16.8%~51.0%。枯落物层有吸水, 削减降水能量, 削减地表径流流速, 提高入渗能力, 增强土壤抗蚀的能力。植被根系同样具有很强的抗剪防蚀作用。通过上述作用, 发育好的森林可减少泥沙量达70%~90%, 甚至完全不产沙^[7]。黄土高原地区森林植被垂直各层减少输入林地或森林流域降水量的大小依次为, 林冠层>枯枝落叶层>灌木草本层, 而削弱降雨动能的大小依次为枯枝落叶层>灌木草本层>林冠层^[8]。枯枝落叶层不仅能直接截留降雨, 减少输入林地的雨量, 更重要的是它能削弱降雨动能, 并将动能转变为渗透势能, 减少了水土流失。在天然植被缩减和人为景观增加的趋势下, 森林在山地、丘陵地区水土保持中扮演着重要的角色。我国许多研究者从景观基质的角度出发, 研究了不同林地类型的保水固土能力。根据区域植被特点, 布设试验小区, 定量观测研究不同林地类型的水土保持效应, 为山区植被的合理配置提供科学方案。总体看来, 在优化林型的基础上, 提高森林覆盖率是防治水土流失的重要途径。

农业用地是人类活动干扰下的一种特殊的景观基质。我国人口多和山地多的基本国情, 决定了开发农业用地与保持水土之间的矛盾。水土保持是山区发展的生命线, 因此, 丘陵和山地地区的土地利用与土壤侵蚀之间的关系成为了研究的重点。黄土高原是我国水土流失最严重的地区。沟壑纵横的地貌特点, 降水集中和多暴雨的气候特征, 疏松易蚀的土壤特性是水土流失发生的自然背景, 不合理的土地利用导致了土壤侵蚀过程的加速发展^[9]。自20世纪80年代以来, 我国学者针对黄土高原地区土地利用类型、结构与水土流失的关系, 开展了一系列的坡面试验测定和流域模型模拟^[10]。傅伯杰等^[11]选择黄土丘陵沟壑区的羊圈沟小流域为例, 研究了小流域、坡面和单一土地利用类型3个尺度层次的土地利用变化对土壤侵蚀等方面的影响, 认为坡耕地-草地-林地土地利用结构是黄土丘陵区梁峁坡地上较好的土地利用结构类型。

东北黑土区是我国重要的商品粮基地。黑土区的水土流失与区域自然地理特征以及人类活动干扰密切相关: 该区降水特征与黄土区相似, 都集中且多暴雨; 地形平缓但坡面宽长; 耕作表土疏松易蚀, 底土黏重、透水性差; 历史上大规模的毁林毁草开荒导致了地表植被的破坏严重。近几十年来, 水土流失问题严重地制约了该区的经济发展。黑龙江省水土保持科学研究所第2次和第3次土壤侵蚀遥感调查数据显示, 东北黑土区侵蚀面积为4.47万km², 占总面积的37.9%, 其中以水力侵蚀为主。黑土区坡耕地水土流失面积占水土流失总面积的80.3%。李名贵等^[12]对呼伦贝尔盟黑土区不同土地利用水土流失特征的研究表明, 水土流失量以顺垄坡耕地最大, 荒坡和横垄坡耕地次之, 水平梯田、次生林地和草地基本无水土流失现象。径流量与土壤侵蚀量之间存在正相关关系。

南方红壤丘陵区具有良好的水热条件, 发展农业经济潜力巨大。20世纪50年代后期, 自然的次生林被开垦为茶园; 80~90年代, 茶园和次生林被开垦为各种果园和其他农用地。土地利用方式的改变是该地区水土流失发生的最主要原因。相关研究表明: 地势陡峭的山地丘陵地区, 溪流、沟谷发育, 在缺少植被覆盖的情况易发生严重的水土流失^[13]; 此外, 过程性暴雨对土壤侵蚀影响很大, 增加过程性降雨时期的植被覆盖率对减少水土流失具有显著的效果^[14]。因此, 在考虑降雨和地貌两大因素的基础上, 合理调整土地利用方式(水平梯田、少耕免耕、秸秆覆盖、间作套种和植物篱笆等)可以达到较好的水保效果。

在我国水土流失严重的黄土高原区、东北黑土区和南方红壤区等几大地区, 不合理的土地利用是水土流失的主要因素。对于农业用地这一特殊的景观基质, 应采用科学的土地利用结构, 通过梯田建设、耕作斑块的合理配置和林草带的有效阻隔等, 从而达到生态效益和经济效益的双重目的。

土地利用是人类活动作用于陆地表面的人文景观, 它改变了原有的植被覆盖状况和微地形, 并对引起水土流失的其他因素发生作用。土地利用可以通过改变植被覆盖、土壤性质和径流速率等影响土壤侵蚀的发生和发展^[15]。土壤因素方面: 土地利用方式不同, 土壤水分含量和土壤稳渗率会表现出一定的差异, 从而引起土壤抗蚀能力的差异。袁建平等^[16]通过观测黄土丘陵沟壑区的安寨县纸坊沟小流域土壤入渗速率, 发现刺槐 *Robinia pseudoacacia* 林地土壤入渗速率衰减最慢, 其次为沟垄耕作糜

子地,最后为陡坡撂荒地。王军等^[17]提出,调整土地利用结构和布局,发展农果间作和培育深根性植物是黄土丘陵区水保和提高土壤水分利用率的有效途径。降水因素方面:一般来说,降水量、降水强度和降水历时等降水时空分布特性主要由大气环流和地形等因素控制,土地利用对降水特性方面影响甚微。但是,不同土地利用对削弱降水对土壤侵蚀的影响上存在差异。黄志霖等^[18]研究发现,坡耕地水土流失量受少数强降水控制,草地的水土流失量受降水变化的影响较弱。邱扬等^[19]研究表明,土壤侵蚀强度随着雨强加剧和雨量增大呈线性增大趋势,合理的土地利用方式可以有效地削弱降水对土壤侵蚀强度与降水参数的这种正相关。

由此可见,土地利用通过改变下垫面性质,直接和间接地影响着土壤侵蚀过程。针对不同的自然条件(如降水、蒸发、能量平衡等)的差异,在不同区域调控景观基质的组成和比例,会对水土流失的防治产生非常重要的影响。今后需要加强对不同区域和流域在景观基质组成和比例上的优化配置及机制方面的研究。

2 景观格局对水土流失的影响

从广义上来说,景观格局包括景观组成单元的类型、数目以及空间分布与配置^[20]。景观空间格局(林地、草地、农田、裸露地等的不同配置)对径流、侵蚀和化学元素的迁移影响也不同^[21,22]。从土壤侵蚀的角度出发,景观包括地貌、植被和土地利用等。在土地利用格局对水土流失的影响研究中,景观格局往往表征为各土地利用类型、面积及其变化,还包括各类型之间的组合配置。

不同土地利用类型在坡面的有效排列组合建设了不同的景观格局,可以通过树冠截留、地表滞留、植物根系固定土层,以及改变坡度坡长的途径减少水土流失。梯田具有降低坡度、缩短坡长的作用;位于耕地的下坡位置的林草带能够起到有效阻滞土壤流失的作用。王军等^[17]研究表明,“撂荒地-灌木地-间作地(梯田)-林地”格局中,径流产生区与非产流区镶嵌分布,提高了径流过程的不连续性,减少了整个坡面产流的可能性与侵蚀。“撂荒地-灌木地-农地(梯田)-果园地”格局中,农果间作的梯田减小了坡度的同时,还可起到对降水的立体阻滞。刘世良等^[23]在四川卧龙湿润高山地区,选取了灌丛、撂荒地、坡耕地和人工林等4种典型的土地利用类型和上坡、中坡、下坡和坡脚等4个坡面位置,通过样带采样,利用主成分分析法(PCA)和多元统计方法定量化比较不同土地利用和坡位下的土壤质量。结果表明,灌丛在坡面上有着“肥岛效应”,能有效形成水土流失的阻隔带,最后得出坡面土壤质量的变化是土地利用方式变化与景观位置分异综合作用的结果。研究者在我国黄土丘陵沟壑区许多小流域均有相关研究。由于坡面尺度比较小,研究多选择若干试验样地,通过径流量、泥沙量以及土壤物理性能等的观测,比较不同景观格局的优劣,指导当地生产实践。

景观中廊道的基本作用有5个方面:生境、过滤及阻滞、传输通道、源和汇^[24]。在景观中,廊道常常相互交叉形成网络,使廊道与缀块和基底的相互作用复杂化^[20]。基于廊道对生态流具有的过滤和阻滞这一作用,国内外学者开展了植物活篱笆与水土流失过程之间关系的相关研究。蔡国强等^[25]研究表明,在暴雨情况下,25°陡坡耕地上,1年生植物活篱笆可以使径流量减少22%~43%,侵蚀产沙量减少94%~98%。其投资仅是石坎水平梯田的10%~20%,是三峡库区改良利用陡坡地,防治土壤流失的有效方法。Angima等^[26]对肯尼亚中部高地的淋溶土上3种生物绿篱对土壤侵蚀的防治效果进行研究,结果表明:植物活篱具有有效降低坡度的作用;树绿篱、树草绿篱、草绿篱和对照(无绿篱)各试验区累计平均土壤侵蚀量分别为516,714,1112和1019 t·hm⁻²。

植物活篱笆可起到改善耕层土壤物理状况,提高土壤入渗率,减缓地表径流,防止土壤随水溅蚀和径流挟带而流失的作用。在我国南方红壤区、紫色土地区的湿润半湿润山区,选用当地灌草植物作为坡地水土流失阻滞廊道,既可以有效防治土壤侵蚀,而且也易于被民众接受和推广。

小流域、流域尺度上的景观格局相对于坡面上土地利用格局来说,景观要素(地貌类型、植被类型等)更加复杂。关于大中尺度上水土流失问题的研究,目前不同的学者多进行方法上的探讨,同时由于水文资料的缺乏和大尺度模拟的局限性,研究结果多只能进行定性的评价和分析。

景观格局分析作为景观生态的基本内容之一,通过定量方法研究景观组成斑块的空间特征,是进

一步研究景观功能和动态的基础^[27]。最初相关研究往往忽视了景观指数的生态学意义, 而只注重景观要素几何特征的分析 and 描述^[29, 30]。目前, 在运用景观指数研究水土流失过程时, 研究者开始结合研究区的地貌、土壤和植被等自然地理特征, 有所选取地使用景观指数, 以期更好地分析解释水土流失过程的发生。游珍等^[28]选用斑块大小、斑块破碎度、等高连通度、顺坡连通度和斑块相对位置指数等 5 个指标, 对黄家二岔河流域的景观格局进行分析, 并结合具有不同植被覆盖特征的阴坡和阳坡计算景观格局与土壤侵蚀之间的关系。

分布式水文模型的使用, 综合考虑了气象要素、地形地貌以及下垫面分布特征, 实现了对水土流失结果的模拟。傅伯杰等^[31]等在土壤侵蚀模型(LISEM)校正的基础上, 模拟了陕北黄土丘陵沟壑区大南沟小流域 5 种土地利用结构的水土流失效应。结果表明, 不同土地利用格局对流域出口的洪峰流速、径流总量和侵蚀总量产生影响。Oost 等^[32]应用 WATENM 模拟比利时壤土区的 3 个小流域不同时期土地利用格局变化下的土壤侵蚀状况, 发现土地利用类型、地块边界等的综合作用引起了该地区水土流失程度的差异。

我国学者还通过其他分析方法将水土流失过程与景观格局联系起来。倪晋仁等^[33]引入层次分析法确定不同土地利用类型在影响水土流失方面的权重, 并采用相关区域的土地利用结构特征指标定量反映针对区域水土流失的土地利用结构的综合影响。在此基础上, 类比快速生物评价方法的基本思想实现区域水土流失的动态评估。索安宁等^[34]利用景观指数与除趋势典范对应分析(DCCA)排序相结合的方法, 对黄土高原腹地泾河流域 12 个子流域的景观格局与水土流失关系进行分析, 较好地解释黄土高原典型地区水土流失特征沿景观梯度的变化规律。赵文武等^[35]采用双曲线法来界定土地利用格局基本没有变化的时间段, 用 C 值(通用土壤流失方程中的作物覆盖与管理因子)在坡度、距河流距离上的分布来表征土地利用格局, 用不同时期降水量/径流量、降水侵蚀力/输沙率相对增加的比例来表征水土流失效应, 定性分析了景观格局变化条件下的水土流失效应。

景观格局与水土流失过程关系的研究仍然是难点所在。今后的工作中, 要加强地理信息系统(GIS)与分布式土壤侵蚀模型的耦合, 利用遥感手段将景观格局分析与水土流失过程结合起来, 从而获得及时准确的土壤侵蚀动态信息, 制定相应的景观机制调控措施。

3 水土流失研究中的景观尺度问题

尺度即某一现象或过程在空间和时间上所涉及到的范围和发生的频率^[20]。不同尺度的景观格局形成的主导因素不一, 气候特征及变化在大尺度范围内主导景观格局的发生及发展动态, 中小尺度上则更多地受地形地貌和土壤特性以及生物作用的影响。

目前, 相关研究者多将水土流失过程的时间尺度定义在 10~30 a, 将空间尺度定义在坡面、小流域上^[36-38], 对水土流失特征和过程的研究多集中在降水、坡度、土地利用变化对径流量和产沙量的影响上^[39-41]。土壤侵蚀发生的机制随尺度的推绎发生明显的变化^[42], 而利用试验小区观测土壤侵蚀的研究具有一定的局限性。在坡面布设试验小区可以获得不同种植方式下的土壤侵蚀状况, 但是这种物理试验结论无法尺度上推。不同尺度上的径流发生机制没有直接的联系, 地形地貌特征、土地覆被状况及区域小气候等因素使大中尺度上的径流发生机制更加复杂^[43, 44]。Martz 等^[45]研究发现, 地形的平面弯曲、剖面弯曲以及小流域面积比坡长、坡度在地理景观中的作用更重要。Pennock 等^[46]研究发现, 集水区面积与土壤再分布的相关性要优于坡长-坡度, 而且由试验小区观测或模拟试验得出的模型不适合景观尺度上的水土流失预测。

然而, 流域、区域尺度上水土流失过程的研究对于解决地区性的生态环境问题具有现实意义。我国水土保持工作一直是以重点区域为原则展开的。这些重点区域包括七大江河流域, 尤其是黄河中游和长江上游流域, 历来是水土保持建设的重中之重。这些地区水土保持工作的好坏, 直接关系到全国生态环境的安全。此外, 一些大区域如黄土高原等大的地貌单元也是水土保持工作的重点区域^[47]。在研究中, 坡面尺度的试验观测结果应作为小流域、流域和区域水土流失研究的基础; 流域、区域尺度景观格局与相应的水土流失效应应作为研究的重点。在坡面、小流域的试验数据和治理经验的基础

上,寻找解决流域、区域水土流失问题的对策。

4 景观生态分析的相关方法和技术的应用

运用景观生态相关方法与原理进行水土流失研究过程中,遥感技术是获取大范围、多尺度信息的主要手段,并为景观结构、景观功能和景观动态的研究提供必需的数据形式;GIS在采集、管理、处理、分析、建模和显示这些容量庞大的空间数据时成为极为有效的计算机工具;全球定位系统(GPS)对于景观中组分或过程的具体地理位置的精确测量提供帮助^[48,49]。国内外多采用试验观测、3S(GPS, GIS, RS)技术与土壤侵蚀模型相结合以及示踪法等研究方法分析景观变化对水土流失的影响^[30-32]。试验观测从最初研究水土流失开始一直沿用至今,通过对坡面、试验小区径流量、泥沙量的观测,结合降水、地形等数据,分析研究区内不同土地利用类型土壤侵蚀量差异。随着遥感、GIS技术的发展,研究的尺度扩展到流域和区域水平上,土壤侵蚀模型也由经验、半经验发展到空间分布式土壤侵蚀模型,大的景观尺度上的水土流失现象的分析和预测逐渐成为可能。

遥感影像是流域尺度土地利用/土地覆盖信息的主要信息源,GIS为不同土地利用背景下土壤侵蚀空间分布规律和不同土壤侵蚀背景下土地利用的时空演变提供了技术支持^[4]。遥感技术和景观格局分析方法结合起来,有利于促进景观尺度上水土流失定量分析的发展。高光谱遥感已在植被理化信息的提取中体现出优势,使得植被自动识别、植被长势及其水土保持效应空间分布的定量化表达成为可能^[53]。航空遥感由于其地面分辨率高,飞行时间灵活,比较适用于景观中研究不同森林类型的冠层结构和群落结构动态^[54]。微波遥感具有全天候工作的能力,也已被应用于景观中对冠层结构、植被分类和生物量估算等方面^[55]。随着遥感技术的发展及光学、热红外和微波等大量不同卫星传感器对地观测的应用,获取的同一地区的多种遥感影像数据(多时相、多光谱、多平台和多分辨率)越来越多。通过多源遥感影像数据的融合,景观要素的组成、特征和动态变化等信息的获取更加便捷和精确。因此,遥感技术成为景观尺度上研究水土流失的非常重要的技术手段。

土壤侵蚀模型是水土流失定量化研究的有效手段^[56,57]。从1877年德国土壤学家Ewald 定量化研究土壤侵蚀开始,到20世纪60年代美国通用土壤侵蚀流失方程(universal soil loss equation, USLE)的建立,模型基本是经验性的^[58]。USLE模型建立在土壤侵蚀理论及大量实地观测的数据统计分析的基础上,不但可以计算不同土地利用方式的土壤侵蚀量,而且可以根据允许土壤流失量来选择合理的土地利用方式^[59]。我国学者应用该模型分析了黄土丘陵流失区以及低丘红壤区等地区的土地利用方式与土壤侵蚀量的关系^[60,61],但该模型地域性太强,对不同土地利用方式需要做大量的试验研究,对模型的算法和各因子的取值都应做出相应的改进^[62]。20世纪60年代后,一些半经验的土壤侵蚀模型发展起来,将整个流域作为一个整体进行研究。20世纪90年代以来,随着GIS和遥感(RS)的发展,土壤侵蚀模型与GIS集成已成为趋势^[63]。水文学家早就认识到下垫面因子空间分布不均匀对流域径流形成的重要性,但采用的统计方法不能给出下垫面因子真实的空间分布,集总式水文模型只能用于模拟气候和下垫面因子空间分布均匀的虚拟状态。分布式水文模型使水土流失的定量研究从坡面和试验小流域向区域景观尺度推进。分布式水文模型虽然不能描述下垫面因子在空间上的连续变化,但其采用的空间离散化技术将整个流域或计算区域按一定原则和方法分成若干子流域和子区域,并以离散数据分布形式给出下垫面因子的空间分布^[64],因而能客观地反映气候和下垫面因子的空间分布对流域降雨径流形成的影响,是模拟景观基质、格局和网络对水土流失影响的非常重要的工具。

遥感技术和分布式土壤侵蚀模型,为景观时空格局变化、水土流失产生过程以及格局与过程之间关系研究提供了有力的技术支撑。在此基础上,应当开展格局、过程、尺度一体化的研究,从而实现在流域和区域等景观尺度上建立水土流失动态监测和预警机制的目标。

参考文献:

- [1] 中国科学院南方山区科学考察队. 中国亚热带东部丘陵山区水土流失与防治[M]. 北京: 科学出版社, 1989: 13-15.

- [2] SHOWERS B K. Soil erosion in the Kingdom of Lesotho and development of historical environmental impact assessment [J]. *Ecol Appl*, 1996, 6 (2): 653—664.
- [3] SANCHEZ L A, ATAROFF M, LOPEZ R. Soil erosion under different vegetation cover in the Venezuelan Andes [J]. *The Environmentalist*, 2002, 22: 161—172.
- [4] 吴秀芹, 傅伯杰. 土地利用/土地覆盖变化与土壤侵蚀关系研究进展 [J]. 地理科学进展, 2003, 22 (6): 576—584.
- [5] 肖笃宁, 李秀珍, 高峻. 景观生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [6] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 景观生态学原理及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [7] 蒋定生. 黄土高原水土流失与治理模式 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.
- [8] 吴钦孝, 汪有科, 韩冰, 等. 黄土高原水土流失区的林草资源和植被建设 [J]. 水土保持研究, 1994, 1 (3): 2—7.
- [9] 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区土壤侵蚀区域特征及其治理途径 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1990.
- [10] 朱显谟, 祝一志. 试论中国黄土高原土壤与环境 [J]. 土壤学报, 1992, 29 (4): 351—357.
- [11] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明. 黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响——以延安市羊圈沟小流域为例 [J]. 地理学报, 1999, 54 (3): 242—246.
- [12] 李名贵, 李明品. 呼盟黑土丘陵区不同土地利用水土流失特征研究 [J]. 中国水土保持, 2000 (10): 23—25.
- [13] 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: 农业与生命科学版, 2002, 28 (1): 78—82.
- [14] 杨武德, 王兆骞, 睦国平, 等. 红壤坡耕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.
- [15] FU B J, ZHAO W W, CHEN L D, *et al.* Multiscale soil loss evaluation index [J]. *Chinese Sci Bull*, 2006, 51 (4): 448—456.
- [16] 袁建平, 张素丽, 张春燕, 等. 黄土丘陵小流域土壤稳定入渗速率空间变异 [J]. 土壤学报, 2001, 38 (4): 579—583.
- [17] 王军, 傅伯杰. 黄土丘陵小流域土地利用结构对土壤水分时空分布的影响 [J]. 地理学报, 2000, 55 (1): 84—91.
- [18] 黄志霖, 傅伯杰, 陈利顶. 黄土丘陵区不同坡度、土地利用类型与降水变化的水土流失分异 [J]. 中国水土保持科学, 2005, 3 (4): 11—18.
- [19] 邱扬, 傅伯杰, 王军, 等. 黄土丘陵小流域土壤侵蚀的时空变异及其影响因子 [J]. 生态学报, 2004, 24 (9): 1 871—1 877.
- [20] 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, 2000.
- [21] 傅伯杰, 陈利顶. 景观多样性的类型及其意义 [J]. 地理学报, 1996, 51 (5): 454—462.
- [22] 蒋文伟, 刘彤, 丁丽霞, 等. 景观生态空间异质性的研究进展 [J]. 浙江林学院学报, 2003, 20 (3): 311—314.
- [23] 刘世良, 傅伯杰, 吕一河, 等. 坡面土地利用方式与景观位置对土壤质量的影响 [J]. 生态学报, 2003, 23 (3): 415—420.
- [24] FORMAN R T T. *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- [25] 蔡国强, 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—9.
- [26] ANGIMA S D, O'NEILL M K. Use of tree/grass hedges for soil erosion control in Central Kenyan highlands [J]. *J Soil Water Conserv*, 2000, 55 (4): 478—482.
- [27] FORMAN R T T, GODRON M G. *Landscape Ecology* [M]. New York: John Wiley and Sons, 1986: 234—256.
- [28] 游珍, 李占斌. 黄土高原小流域景观格局对土壤侵蚀的影响——以黄家二岔流域为例 [J]. 中国科学院研究生院学报, 2005, 22 (4): 447—453.
- [29] O'NEILL R V, KREUMMER J R, GARDNER R H, *et al.* Indices of landscape pattern [J]. *Lands Ecol*, 1988, 3: 153—162.
- [30] LI H B, WU J G. Use and misuse of landscape indices [J]. *Lands Ecol*, 2004, 19: 389—399.
- [31] 傅伯杰, 邱扬, 王军, 等. 黄土丘陵小流域土地利用变化对水土流失的影响 [J]. 地理学报, 2002, 57 (6): 719—722.
- [32] OOST K V, COVERS G, DESMET P. Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage [J]. *Lands Ecol*, 2000, 15: 577—589.
- [33] 倪晋仁, 李英奎. 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 (6): 611—621.
- [34] 索安宁, 洪军, 林勇, 等. 黄土高原景观格局与水土流失关系研究 [J]. 应用生态学报, 2005, 16 (9): 1 719—

1 723.

- [35] 赵文武, 傅伯杰, 陈利顶, 等. 黄土丘陵沟壑区集水区尺度土地利用格局变化的水土流失效应[J]. 生态学报, 2004, 27 (7): 1 358—1 364.
- [36] 傅伯杰, 马克明, 周华峰, 等. 黄土丘陵区土地利用结构对土壤养分分布的影响[J]. 科学通报, 1998, 42 (22): 2 444—2 448.
- [37] 喻权刚. 遥感信息研究黄土丘陵区土地利用与水土流失——以红塔沟流域为例[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2 (2): 24—31.
- [38] CHIRINO E, BONET A, BELLOT J, *et al.* Effects of 30-year-old Aleppo pine plantations on runoff, soil erosion, and plant diversity in a semi-arid landscape in south eastern Spain [J]. *Catena*, 2006, 65: 19—29.
- [39] 孟庆华, 傅伯杰, 邱扬. 黄土丘陵沟壑区不同土地利用方式的径流及磷流失研究[J]. 自然科学进展, 2002, 12 (4): 393—397.
- [40] 朱连奇, 许叔明, 陈沛云. 山区土地利用/土地覆盖变化对土壤侵蚀的影响[J]. 地理研究, 2003, 22 (4): 432—438.
- [41] VACCA A, LODDO S, OLLESCH G, *et al.* Measurement of runoff and soil erosion in three areas under different land use in Sardinia (Italy) [J]. *Catena*, 2000, 40: 69—92.
- [42] PENNOCK D J, DE J E. Spatial pattern of soil redistribution in Boroll landscapes, Southern Saskatchewan [J]. *Canada Soil Sci*, 1990, 150 (6): 867—873.
- [43] MENG Q H, FU B J. Landscape pattern and soil nutrient flux [J]. *J Soil Water Conserv*, 2000, 14 (3): 116—121.
- [44] LAWRENCE D S. *Physical Hydrology* [M]. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993.
- [45] MARIZ L W, JOHN D E. Using cesium-137 to assess the variability of net soil erosion and its association with topography in a Canadian prairie landscape [J]. *Catena*, 1987, 14: 439—451.
- [46] PENNOCK D J, JOHN D E. Spatial pattern of soil redistribution in Boroll landscapes, Southern Saskatchewan, Canada [J]. *Soil Sci*, 1990, 150 (6): 867—873.
- [47] 史培军, 江源, 王静爱, 等. 土地利用/覆盖变化与生态安全响应机制[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [48] HOSTERT P, RODER A, HILL J. Coupling spectral unmixing and trend analysis for monitoring of long-term vegetation dynamics in Mediterranean rangelands [J]. *Remote Sensing of Environ*, 2003, 87: 183—197.
- [49] ROGAN J, FRANKLIN J, ROBERTS D A. A comparison of methods for monitoring multitemporal vegetation change using Thematic Mapper imagery [J]. *Remote Sensing of Environ*, 2002, 80: 143—156.
- [50] KARVONEN T, KOIVUSATO H, JAUHAINEN M, *et al.* A hydrological model for predicting runoff from different land use areas [J]. *J Hydrol*, 1999, 217: 253—265.
- [51] 邹亚荣, 张增祥, 周全斌, 等. 基于GIS的土壤侵蚀与土地利用关系分析[J]. 水土保持研究, 2002, 9 (1): 67—69.
- [52] 吴永红, 寇权. 陇东黄土高原沟壑区土壤侵蚀的¹³⁷Cs法研究[J]. 水土保持通报, 1997, 17 (5): 7—10.
- [53] 赵德华, 李建龙, 宋子健. 高光谱技术提取植被生化参数机理与方法研究进展[J]. 地球科学进展, 2003, 18 (1): 94—99.
- [54] 李加洪. 航空遥感技术系统在某些灾害监测中的应用[J]. 遥感技术与应用, 1996, 11 (2): 32—39.
- [55] 张钟军, 孙国清, 朱启疆. 植被层对被动微波遥感土壤水分反演影响的研究[J]. 遥感学报, 2004, 8 (3): 207—212.
- [56] SVORIN J. A test of three soil erosion models incorporated into a geographical information system [J]. *Hydrol Processes*, 2003, 17: 967—977.
- [57] TAKKEN I, GOVERS G, JETTEN V, *et al.* The influence of both process descriptions and runoff patterns on predictions from a spatially distributed soil erosion model [J]. *Earth Surf Processes Landf*, 2005, 30: 213—229.
- [58] 刘光. 土壤侵蚀模型研究进展[J]. 水土保持研究, 2003, 10 (3): 73—76.
- [59] 柳长顺, 齐实, 史明昌. 土地利用变化与土壤侵蚀关系的研究进展[J]. 水土保持学报, 2001, 15 (5): 10—13.
- [60] 于东升, 史学正, 吕喜玺. 低丘红壤区不同土地利用方式的C值及可持续性评价[J]. 水土保持学报, 1998, 4 (1): 71—76.
- [61] 孙立达, 孙保平, 陈禹, 等. 西吉县黄土丘陵沟壑区小流域土壤侵蚀量预报[J]. 自然资源学报, 1988, 3 (20): 141

- [62] KINNELL P I A. Why the universal soil loss equation and the revised version of it do not predict event erosion well [J]. *Hydrological Processes*, 2005, 19: 851—854.
- [63] 王书功, 康尔泗, 李新. 分布式水文模型的进展及展望[J]. 冰川冻土, 2004, 26 (1): 61—65.
- [64] 芮孝芳, 黄国茹. 分布式水文模型现状与未来 [J]. 水利水电科技进展, 2004, 24 (2): 55—58.

Landscape ecological analysis of soil erosion

SONG Yu¹, JIANG Hong^{1,2}, YU Shu-quan², ZHOU Guo-mo²

(1. International Institute for Earth System Science, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China; 2. International Center of Spatial Ecology and Ecosystem Ecology, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: Soil erosion is a serious resource and environmental problem. It had caused ecosystem degradation and regional environmental disasters, and seriously affected the sustainable development of society and economy in large areas. So, it is necessary to establish water and soil protection methodology and technology. Understanding the influence of landscape matrix and pattern on the soil erosion is useful to set up the protective measures. The impacts of landscape matrix and landscape pattern on soil erosion, especially the impact of those changes under human activities were analyzed. By analyzing the landscape scale of soil erosion and comparing related research methods, a technical framework was suggested, which comes from the remote sensing application and distributed hydrological and soil erosion models. [Ch, 64 ref.]

Key words: agriculture engineering; soil erosion; landscape ecology; landscape pattern; landscape matrix; landscape scale; review

荷兰 ASTEC Global 执行总裁来浙江林学院访问

2007 年 3 月 6 日, 国际种子测量协会主席、荷兰 ASTEC Global 执行总裁 Johan Van Asbrouck 先生来浙江林学院进行合作洽谈。学校党委书记陈敬佑、副书记汤勇会见了来宾。双方在此前签订合作意向书的基础上, 就共建种子技术研究中心, 举办学术研讨会, 双方互访等具体事宜进行了商讨。科技处、国际合作与交流处、农学院(筹)等部门和学院负责人参加了会谈。

(穆易)