

区域土地利用变化环境效应研究综述

李 锐, 杨勤科, 温仲明, 刘文兆

赵世伟, 张成娥, 郭胜利, 徐学选

(中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 以黄土高原为重点, 对植被变化及其引起的土地利用变化的环境影响的有关研究进行了比较系统的阐述。对植被研究态势, 土地利用变化对水文生态过程、土壤环境及生物多样性影响做了简要的述评, 对该领域的目前存在的问题进行了分析, 并提出了有关进一步研究的建议。

关键词: 土地利用变化; 植被建设; 环境效应

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2002)02-0065-06

中图分类号: S181; X820.3

Review of Research on Regional Land Use Change and Its environmental Impacts

LI Rui, YANG Qin-ke, WEN Zhong-ming, LIU Wen-zhao, ZHAO Shi-wei

ZHANG Cheng-er, GUO Sheng-li, XU Xue-xuan

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and
Ministry of Water Resources, Yangling 712100, Shaanxi Province, China)

Abstract The past research on land use change and its environmental impacts, especially those researches on the loess plateau are systematically analyzed. The emphasis is laid on vegetation/land cover change and its impacts on hydrology, soil and biodiversity. The main problems facing in the present research are also discussed, and some suggestions for the future research are proposed.

Keywords land use change; re-vegetation; environmental impacts

1 前 言

土地作为一种生态系统,人类对土地的利用,必然会在不同方面对其产生影响,进而对依附于土地的生物生态系统及其环境产生作用。随着全球变化研究的深入开展,土地利用/土地覆盖变化成为目前全球环境的热点和前沿问题。作为全球变化的主要原因之一,土地利用/土地覆盖变化及其环境影响引起了国际有关研究机构的广泛关注,并提出了一系列的研究计划^[1-2]。但由于土地利用变化研究的复杂性,全球土地利用变化研究一般以区域案例为基础进行^[3]。因此,对区域土地利用变化及其环境影响进行研究,不仅有助于阐明区域土地利用变化过程及其对环境产生的影响,也为区域土地持续利用和生态环境改善提供了有价值的科学依据,而且对更大尺度或全球环境变化研究提供基础。

在黄土高原地区,由于历史上不合理的土地利用,特别是林草植被的过度开垦,引起了强烈的人为

加速侵蚀,严重危害着该区农业生产和黄河中下游及京津地区的生态安全,成为该区乃至全国社会经济持续稳定发展的主要限制因素之一。建国以来,中央与地方政府十分重视黄土高原的水土保持工作(郭廷辅,1992)。20世纪50年代水利部等部门组织了黄河中游水土保持科学考察,并以此为基础开展了水土保持与土地合理利用(中国科学院黄河中游水土保持综合科学考察队,1957;巨仁,宋桂琴,李锐,1996)^[4,5]。1997年江泽民主席发出了“建设山川秀美大西北”的伟大号召以后,黄土高原水土保持与生态环境建设进入了一个大规模、快速度和集中连片治理的新阶段。这将会引起该区土地利用/土地覆盖的剧烈变动,并对生态环境产生重要影响。系统分析已有的研究成果,总结研究经验,并在此基础上开展区域植被环境重建的环境影响研究,将对黄土高原地区土地持续利用和生态环境建设具有重要的实践意义,并将为更大尺度或全国范围内的土地利用变化及其环境影响研究提供基础。

收稿日期: 2001-02-01

资助项目: 中国科学院知识创新工程重大项目“区域生态环境建设规划与效益评价”(KZCX1-06-01)

作者简介: 李锐(1946-),男(汉族),河北省邯郸人,研究员,博士生导师,主要从事水土保持规划、土地资源调查、水土流失动态遥感监测等研究工作,发表论文60余篇,主编或参编论著5部。电话(029)7012061, E-mail lirui@ms.iswc.ac.cn

2 植被恢复和土地利用变化研究概况

将植被重建作为改善环境的有效措施来进行研究,始于 20 世纪 40 年代(黄河水利委员会,1993)^[6]。20 世纪 50 年代提出的小流域水土保持规划(中国科学院黄河中游水土保持综合科学考察队,1957)^[4],将植被重建或恢复作为保持水土的重要途径。20 世纪 80 年代,以小流域综合治理研究(杨文治、余存祖,1991)为基础^[7],对植被及其水土保持环境效应进行了系统深入的研究。根据资料,目前的研究主要集中在植被重建的可能性(张信宝,1994;贺秀斌,唐克丽,1999)、植被建设分区和技术体系(杨文治,1994;吴钦孝,1998;梁一民,1999;梁一民等,1999)^[7]、植被的水土保持效益等(侯喜禄等,1987;侯喜禄等,1990;侯喜禄等,1991;侯喜禄等,1996;余新晓,毕华兴等,1997)等方面。但对黄土高原地区的植被重建类型的争议较大。如张信宝等认为厚层黄土区的土壤水分条件不能满足森林植被的需求,因此厚层黄土区无森林植被分布。但贺秀斌等依据黄土剖面中古土壤发生学特征、孢粉组合及理化、矿物特性,认为黄土区具有森林植被发育的地质水文条件。但对植被的保土持水效益,小流域定点观测的结论基本有一致的认识,即植被能够有效改善土壤结构,改变降雨、入渗、径流形成等,有效保持水土,防止环境恶化。但 20 世纪 80 年代末期以来,植被建设规模逐渐扩大(如三北地区防护林体系建设),植被建设在取得显著成绩的同时,也出现了一些较大的问题。林地土壤干燥化,林分生长不良,小老头林大量出现。20 世纪 70 年代或以前的人工林及飞播林草地出现了衰败或死亡等(侯庆春等,1999)现象^[8],植被的生态效益难以发挥。植被破坏和重建产生的环境效应开始引起了人们的重视(李锐,1994;刘国彬等,2000; U. S. Environmental Protection Agency, 1999)^[5,9-10]。

植被建设直接的影响是引起了土地利用、土地覆盖的变化。现在研究认为,土地利用、土地覆盖的变化可以影响到几乎所有组织水平——从基因到全球(Turner 等,1995)^[3]。20 世纪 90 年代以来,土地利用、土地覆盖变化研究逐渐成为全球变化研究的前沿和热点。目前研究的重要方向包括土地利用的变化机制、土地覆盖的变化机制、区域和全球模型(李秀彬,1996;杨立民,朱智良,1999;王绍强,陈育峰,1998)^[1-2,11]。我国从 20 世纪 80 年代末以来,也相继开展了土地利用及其变化的研究,其中包括全国尺度上的土地利用、土地覆盖变化研究(陈佑启等,2000;顾朝林,1999;史培军等,1999;高志强,刘纪远等,

1999;陈百明,1997;王秀兰,1999;陈佑启等,2000;葛全胜,2000;史培军,2000)^[1-2,11-12]。虽然上述研究计划以土地利用、覆盖变化为轴心,但实际上植被覆盖变化是其主要组成部分。土地利用变化之所以引起人们的重视,也是因为植被覆盖的剧烈变化对环境造成影响引起的。土地利用、覆盖变化的环境影响,是研究的目的和关键内容(李秀彬,1996)^[2]。目前在区域尺度上,主要研究土地利用变化对区域水热循环、气候、能量交换、土壤侵蚀与土壤养分的迁移、生物多样性等的影响(周广胜,1999;符淙斌,1996;郭旭东,陈利顶等,1999)^[13]。

黄土高原地区土地利用历史悠久,研究者从历史地理学(史念海,1987;朱士光,1999)、第四纪地质学(安芷生,2000)、遥感(Li Rui, 1989; Qinke Yang et al, 2001)^[14-16]等方面进行了大量的研究^[11,12,19]。20 世纪 80 年代以来,中国科学院水土保持研究所开展了小流域水土保持和土地利用动态的监测和分析工作,提出了关于建立多层遥感监测系统的设想(李锐,杨勤科等,1995)^[5],利用遥感技术方法进行了区域土地利用、土地覆盖信息的提取与分析,开发了以图像空间分析为主要内容的地形复杂地区的图像处理技术(Li Rui 等,1986; Li Rui 等, 1989; Li Rui et al, 1990; 李锐等,1991)^[14-15]。与此同时,开展了“数字黄土高原”的建设和研究。数字黄土高原集成了多种时相(1950s, 1980s, 1990s, 2000)、多种空间尺度和比例尺(小流域 1: 1 万, 县域 1: 5 万, 中尺度流域 1: 10 万, 全区域 1: 25—1: 100 万)、多种形式(地图、遥感图像、统计报表、文字报告等)的数据,力图为黄土高原问题的研究提供基础信息的支持(杨勤科等,1999;杨勤科等,2000)^[17-18]。

3 土地利用变化和生态环境建设对水文过程的影响

生态环境建设,特别是植被建设的水环境效应研究中,“土壤干层”现象(西北水保所土壤水分组,1975;李玉山等,1983;李玉山,2001)^[19-21]最早引起人们的注意。它是黄土高原植被增加后,随降雨—入渗—径流关系的变化,而出现的土壤的干燥化趋势(李玉山,2001b;杨文治等,1994)^[21-22]。一些多年生人工林草可使深层土壤(1—6 m)含水量接近于凋萎湿度,形成土壤水分的低湿层或利用性干层,甚至出现人工草地的衰败或死亡(侯庆春等,1999;穆兴民等,1999)^[8,23]。土壤干燥化现在被认为是一种普遍存在的现象,是当前黄土高原土地利用结构调整和植被建设中普遍关心的热点问题之一。如何维持不同利用

类型(林、草、农田等)总耗水量与总有效降水的平衡,降低或消除区域性土壤干燥化的不利影响等,有待更深入的研究

土地利用结构变化不仅引起了土壤的干燥化,而且也引起了水文生态过程的变化。以小流域为单元,研究植被建设和土地利用结构调整对水文过程的影响,受到水文研究工作者的广泛重视。英国(Eeles, 1993)^[24]、美国(Arnold, 1996; Goodrich, 2000)^[25-26]、加拿大(Meng, 1995)^[27]、南非(Kelbe, 1991)、澳大利亚(Zhang, 1999)等国家和地区进行了大量研究,其共同点是强调了流域植被类型和土地利用结构与水行为要素间的关系(刘文兆, 2000)^[28]。国内也开展了类似的研究(穆兴民等, 1999; 黄明斌等, 1999)^[23, 29]。其基本结论是流域产水量随植被覆盖的减少而增大(王礼先, 张志强, 1998)^[30]。在黄土高原地区,水土保持工作正在向较大尺度的区域范围扩展(田均良等, 2000),植被建设和土地利用结构调整已经,也将更加对河川径流和区域水循环产生较大的影响。有研究者认为,植被增加、作物高产、梯坝地建设有增强水分小循环,减弱水分大循环的作用(李玉山, 1997),即搞好水土保持只会减少进入黄河的水量(王天铎, 1998)^[31]。但深入的定量化研究尚需进一步开展

关于土地利用变化对区域水文生态过程的影响的定量化研究,必须充分考虑其影响因子的空间变化和分异。为此 GIS 技术得到了广泛应用。例如荷兰学者基于 GIS 开发的流域水文与土壤侵蚀模型 LISEM (De Roo A P J, 1996)可以估算次暴雨过程中流域任意一点的径流量和土壤侵蚀量^[32-33]。与此同时,在众多单点或地块尺度研究的基础上,从点到面(如小流域及更大区域)的尺度转换虽已引起了普遍的关注并在一些方面取得了重要进展(Beven K 等, 1995; Bloschl G 等, 1995; Carol A Wessman, 1992; Poesen, J 等, 1994; Rezaul Mahmood, 1996; Thomas J Hatton, Xsin-I W U, 1995)^[34-38]。但是作为一个世界性的难题,尺度转换问题仍然没有得到很好地解决。黄土高原坡面和小流域治理效益明显,但整个区域山河依旧的问题,仍困扰着研究者和决策者。考虑地块、小流域及区域尺度及不同时间尺度间的关系,对植被重建的区域水文效应的定量化研究是极其重要和必需的。

4 土地利用变化和生态环境建设对土壤环境的影响

土地利用变化对土壤的成土过程如土壤发育、肥力形成、质量演变有重要的作用,长期以来受到国内外土壤、林学、地植物学和生态学家的重视并进行了

大量的研究工作。杉木林植被对土壤理化、生物性质影响的研究结果表明,植被有效地提高了土壤养分含量,增加了土壤微生物数量(盛炜彤等, 1997)。不同植被类型对土壤无机氮库的变化有直接关系,无机氮的含量存在“原始林 > 次生林 > 人工林”的规律(李贵才, 韩兴国, 2001)。不同植被类型通过影响土壤温度、湿度和可矿化氮库从而对土壤氮的矿化和有效性产生作用(Ohrui K, Mitchell M J, 1999; Wendin, Tilman, 1990; Strader et al, 1989)^[39]。东灵山油松纯林和油松—辽东栎混交林土壤氮素矿化、硝化作用研究表明,混交林土壤氮素有效性以及维持土壤中植物可利用氮素的能力都显著高于油松纯林(苏波, 韩兴国, 2001)。华南严重退化地植被恢复土壤容重、孔隙度等物理性质有明显的改善,而且使土壤有机质、速效 N, P, K 含量显著提高(谢宝平, 2000)。红壤条件下植被恢复尤其是豆科—禾本科植物轮作较快地增加了土壤有机碳的储存,并对微团聚体的稳定性同位素组成产生影响(李恋卿, 潘根兴, 2000)。福建南平溪 70 a 生杉木林与杂木林土壤肥力的对比研究表明,杉木林保持较高肥力水平的原因主要是杉木林下植物多样性提高及生物量增加的结果(杨玉盛, 1994)^[40]。广西六营林场 30 a 多的针阔混交林和纯林土壤理化性质的研究表明,针阔混交林与针叶纯林比较,土壤总空隙度增加 2% ~ 19%,水分含量提高 6% ~ 31%, CEC 提高 25% ~ 30%(邓仕坚等, 1994)。福建省平洋林场 29 a 的杉木林植被,具有降低土壤容重的作用,而灌木的这种作用最明显(陈建宇, 2000)。

随着植被群落类型的变化,土壤微生物群落组成也发生相应的变化。土壤微生物的多样性与植被群落的生产力和多样性呈正相关,并随着植被群落存在的年限而增加(夏北成, James M T, 1997; 夏北成, James M T, 1998)^[41]。在黄土高原子午岭地区的研究表明,林地和林地开垦后土壤微生物生物量和土壤肥力发生显著变化,开垦后二者都呈下降趋势(张成娥, 1998)^[42]。有关人工林地地力衰退也有报道(黄鹤羽, 1994; 盛炜彤, 1995)。而对黄土高原地区的研究,主要集中在土壤侵蚀、水土保持功能和土壤物理、水分及水环境方面(朱显谟, 1960; 贾恒义, 1990; 沈慧, 2000; 郑粉莉, 张成娥, 1999; 史衍玺, 唐克丽, 1998)^[43-47]。

近年来,土壤质量的研究成为土壤学研究的重要内容^[39]。目前国内对土壤质量评价的系统研究主要在三江平原和红壤地区进行(孙波, 赵其国, 1997a, 1997b, 1999; 赵其国, 1998; 胡金明, 1999; 张桃林等, 1999; 俞慎等, 1999)^[48-49],并提出了土壤物理、化学及生物质量指标和以多变量指标克立格法、土壤质量

动力学法和相对土壤质量指数法对农业土壤质量进行了评价。国外在土壤质量评价模型方面提出了“压力—状态—响应”(PSP)模型,并得到了FAO的认可(Pieri C et al, 1995)^[50]。GIS技术也在我国、加拿大、俄罗斯等国应用于土壤质量评价(王效举, 龚子同等, 1997)。这些研究为土地利用变化对土壤环境影响的研究和评价提供了较为坚实的理论基础。

近年来,随着全球变化研究的开展,土壤碳的变化引起了人们的关注。Jenkinson等(1991)预测,至2050年全球由于土壤有机碳储量减少对全球大气CO₂含量升高的贡献率为20%。黄土高原地区耕地(占土地面积30%以上)土壤有机碳含量平均仅为5.4 g/kg(杨文治等, 1992),为我国土壤有机碳低储量地区之一。退耕还林还草,必将大幅度提高黄土区土壤有机碳储量,使之成为我国对全球CO₂浓度变化具有重要影响的关键区域。对土壤有机碳含量及其平衡转化的研究,对客观评价黄土高原地区生态环境建设对该区和全球的环境变化具有重要意义。

5 土地利用变化和生态环境建设对生物多样性的影响

1992年联合国环境与发展大会上签署《生物多样性公约》后,生物多样性的保护及持续利用问题,引起各国政府及各界人士的高度重视,将其作为一门学科全面系统地进行研究。国际生物学联盟(IUBS)1992年制订了以“生物多样性的生态系统功能”的研究计划,内容包括生物多样性的起源、组成、功能、保持和保护。1995年,该研究计划进一步扩大(国际科学联盟委员会和国际地圈生物圈计划全球变化和陆地生态系统2个国际组织加入),研究内容则增加了5个主题,主要加入了人类的影响范围、土壤和沉积物的生物多样性、海洋生物多样性、微生物多样性等内容(陈灵芝, 1997;章家恩, 1999)^[40]。但“生物多样性对生态系统功能的作用”始终是研究的核心。

正由于生物多样性对生态系统功能的重要性,物种多样性的变化被作为在植被群落和生态恢复研究的一项重要内容,常常用来指示一个生态系统的演替过程,并被视作是植被和生态系统恢复过程最重要的特征之一。我国作为《生物多样性公约》的缔约国,对生物多样性的研究也开展了一定的工作(郝占庆, 1994;高贤明, 1997;刘灿然, 1997;叶万辉, 1998;马克平, 1997, 1998;陈灵芝, 1997),并对土地利用变化或植被恢复对生物多样性变化的影响开展了相关的工作,如大明山中山(广西)植被恢复过程植物物种多样性的变化的研究(温光远等, 1998)^[41];荒山封禁

后植被变化的研究(张金香等, 1996)。在黄土区的研究较多地注意了植被的演替变化(朱志诚, 1981;邹厚远, 刘国彬, 2002)^[42-43]和植被恢复后物种多样性的变化(侯喜禄提供, 2001),而对于区域性群落和生态系统水平的变化研究不够,不能对区域的植被重建和土地利用结构调整提供强有力的支持。

6 目前面临的主要问题

根据上述内容,目前虽然以植被建设为中心的土地利用变化对环境产生了一定的影响,但由于研究的主体、角度、方法、目的等的差异,目前系统地评价土地利用变化及其环境影响尚存在一定的问题:(1)土地利用变化研究较多监测和对比分析,对于区域土地利用变化的机制研究有待深入。(2)较多采用静态方式,考虑了不同类型、不同建设阶段植被对环境要素的影响,在区域土地利用动态变化对区域生态环境的影响方面研究比较薄弱。同时由于众多研究之间缺乏严密的时空可比性,所以截至目前还不能形成土地利用变化对区域环境影响的完整清晰认识。(3)在对环境要素的影响方面,较多注意了土壤水分、侵蚀产沙和养分的分析研究,对于区域性侵蚀土壤的抗侵蚀性变化、植物多样性等方面的影响却缺乏系统的分析研究。所以不能形成植被建设和土地利用结构调整对环境影响的全面认识。(4)对环境的影响,较多注意了短期、正面影响(水土保持效益)的分析评价,中长期和负面影响基本尚未涉及。所以对植被建设和土地利用结构调整对环境影响的全面、客观评价还有待进一步加强。(5)研究的尺度较多地集中于径流小区、自然坡面和小流域等,同时由于众多点状研究中普遍没有得到空间连续数据(如土地利用图、遥感影像等)的支持,致使研究结论不能适于较大尺度的区域。总之,植被建设和土地利用结构调整的区域环境效应评价,理论和方法均未完善,现有评价研究不能满足生态环境建设决策与规划的要求。

7 建议

综上所述,要系统认识土地利用变化及其环境影响,还面临很多的问题。随着大规模的植被恢复重建工作的开展,黄土高原土地利用和土地覆盖将发生比较大的变化,并对生态环境产生重大影响。对黄土高原土地利用、土地覆盖变化及其环境影响的系统分析、定量评价和科学预测,将为黄土高原地区生态环境建设和可持续发展提供重要科学依据,同时也将促进区域资源环境及其相关学科研究的深入和发展。因此,建议就以下几个方面开展相关的工作。

(1) 黄土高原地区土地利用变化的时空演变及其监测与预测 主要包括近 50a 或 100a 来黄土高原地区土地利用变化和植被变迁的时序分析, 土地利用变化的驱动因子分析与提取, 土地利用变化机制及其区域模型, 区域土地利用变化的预测等, 为土地利用结构调整的区域环境效应评价提供基础

(2) 黄土高原地区土地利用变化 植被演变及其环境影响 主要包括近 50a 或 100a 来, 土地利用变化和植被变迁对区域生态环境产生的影响, 土地利用变化对区域生态环境的作用机制和过程, 区域土地利用变化环境影响评价指标体系与方法, 区域土地利用变化环境影响评价模型。

(3) 区域土地利用变化环境效应的监测与预测。主要包括土地利用变化对水、土、气、生等环境要素的质量和数量的遥感监测与定量模型, 未来 20a, 50a 或 100a 土地利用变化环境影响预测, 区域可持续发展与生态改良的土地利用结构预测等。

致谢: 李玉山先生给予指导, 穆兴民、焦菊英、王占礼、郑粉莉、王飞等参加了讨论, 特此致谢。同时, 限于篇幅, 文献 62—99 略去, 对此深表歉意

[参 考 文 献]

- [1] 史培军, 宫鹏, 等. 土地利用 覆盖变化研究的方法与实践 [M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [2] 李秀彬. 全球环境变化的核心领域——土地利用 土地覆被变化的国际研究动向 [J]. 地理学报, 1996, 51(6): 553—557.
- [3] Turner II B L, Skole D, Sanderson S, et al. Land use and land-cover change Science/Research plan [R]. IGBP Report NO. 35 and HDP Report NO. 7. Stockholm IGBP, 1995.
- [4] 中国科学院黄河中游水土保持综合科学考察队 [M]. 山西西部水土保持调查报告. 北京: 科学出版社, 1957.
- [5] 李锐, 等. 空间信息技术在水土保持规划中的应用 [J]. 水土保持通报, 1996, 16(1): 1—5.
- [6] 黄河水利委员会. 黄河中游管理局. 黄河水土保持志 [Z]. 郑州: 河南人民出版社, 1993.
- [7] 杨文治, 余存祖. 黄土高原区域治理与评价 [M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [8] 侯庆春, 韩蕊莲, 韩仕峰. 黄土高原人工林草地“土壤干层”问题初探 [J]. 中国水土保持, 1999(5): 11—14.
- [9] 李锐, 杨勤科. 区域水土流失快速调查与管理信息系统研究 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2000.
- [10] 刘国彬, 等. 对黄土高原区域水土保持与生态环境建设重大问题的认识 [J]. 水土保持通报, 2000, 20(7): 1—3.
- [11] 杨立民, 朱智良. 全球及区域土地覆盖土地利用遥感研究的现状和展望 [J]. 自然资源学报, 1999, 14(4): 340—344.
- [12] 陈佑启, Peter H. 等. 中国土地利用变化的多尺度空间分布特征分析 [J]. 地理科学, 2000, 20(3): 197—202.
- [13] 郭旭东, 陈利顶. 土地利用 土地覆被变化对区域生态环境的影响 [J]. 环境科学进展, 1999, 7(6): 66—75.
- [14] Li Rui, Harrison B, Jupp D D. Using Remote Sensing to Map Landform and Cover in Loess Plateau, China [C]. The 10th ACRS, Malaysia, 1989. 11.
- [15] Li Rui, et al. The Application of Multi-level Remotely Sensed Data to monitoring of Soil Conservation on the Loess Plateau, China [C]. Proceedings of ISLPR, 1991. Beijing.
- [16] Yang Qinke, Wen Zhongming, Shan Lun, Zhang Xi-aoping. Study on the land use changes on Loess Hiy area——take Yan he River Basin as an example [C]. Proceedings of International conference on Land use / cover change dynamics. August 2001, Beijing, China.
- [17] 杨勤科, 李锐. 论数字黄土高原建设的若干问题 [J]. 水土保持通报, 2000, 20(4): 33—35.
- [18] 杨勤科, 等. 矢量数字图形叠加的应用研究 [M]. 区域水土流失快速调查与管理信息系统研究. 郑州: 黄河水利出版社, 2000. 6.
- [19] 西北水保所土壤水分组. 陕西省东旱塬农田墒情调查 [J]. 土壤, 1975(6): 279—285.
- [20] 李玉山. 黄土区土壤水分循环特征及其对陆地水分循环的影响 [J]. 生态学报, 1983, 3(2): 91—101.
- [21] 李玉山. 黄土高原森林植被对陆地水循环影响的研究 [J]. 自然资源学报, 2001a, 16(5): 427—432.
- [22] 杨文治, 等. 黄土高原地区造林土壤水分生态分区研究 [J]. 水土保持学报, 1994, 8(1): 1—9.
- [23] 穆兴民, 王文龙, 等. 黄土高原沟壑区小流域水土保持对地表径流的影响 [J]. 水利学报, 1999(2): 71—75.
- [24] Eles C W O, Blackie J R. Land-use changes in the Balquhider catchments simulated by a daily stream flow model [J]. Journal of hydrology, 1993, 145(3—4): 315—336.
- [25] Arnold J G, P M Allen. Estimating hydrologic budgets for three illinois watersheds [J]. Journal of hydrology, 1996, 176(1—4): 57—77.
- [26] Goodrich D C, Lane L J, Shillito R M et al. Linearity of basin response as a function of scale in a semiarid watershed [J]. Water Resources Research, 1996, 33(12): 2951—2965.
- [27] Meng F R, Bourque C P A, Jewett K, et al. The Nashuaak Experimental watershed project: analyzing effects of clear cutting on soil temperature, soil moisture, snow pack, snowmelt and stream flow. Boreal forests and global change [J]. Water, Air and Soil

- pollution, 1995, 82(1-2): 363-374
- [28] 刘文兆. 小流域水分行为、生态效应及其优化调控研究方面的若干问题 [J]. 地球科学进展, 2000, 15(5): 541-544.
- [29] 黄明斌, 康绍忠, 李玉山. 黄土高原沟壑区森林和草地小流域水文行为的比较研究 [J]. 自然资源学报, 1999, 14(3): 226-231.
- [30] 王礼先, 张志强. 森林植被变化的水文生态效应研究进展 [J]. 世界林业研究, 1998(6): 14-23.
- [31] 王天铎. 黄河断流需要多专业协同研究 [N]. 中国科技报, 1998-02-11(4).
- [32] De Roo A P J C G, Wesseling, Ritseman C J. LISEM: A Single-Event Physically Based Hydrological and Soil Erosion Model for Drainage Basins. I Theory. Input and Output. Hydrological Processes, 1996a, 10 1107-1118.
- [33] De Roo A P J, Offermans R J E, Cremers N H D T. LISEM: A single-event physically based hydrological and soil erosion model for drainage basins II Sensitivity analysis, validation and application [J]. Hydro. Processes, 1996, 10 1107-1117.
- [34] Bloschl G Sivapalan M. Scale Issues in Hydrological modeling [M]. In J D. Kalma and M. Sivapalan. Scale Issues in Hydrological Modeling a review. In John Wiley & Sons, Chichester. New York, Brisbane, Toronto, Singapore, 1995. 9-48.
- [35] Carol A Wessman. Spatial Scales and Global Change Bridging the Gap from Plots to GCM Grid Cells [J]. Annu. Rev. Ecol. Syst. 1992, 23 175-200.
- [36] Beven K. Linking Parameters Across Scales: Subgrid Parameterizations and Scale Dependent Hydrological Models [M]. In J D. Kalma and M. Sivapalan. Scale Issues in Hydrological Modeling John Wiley & Sons, Chichester. New York, Brisbane, Toronto, Singapore, 1995. 263-280.
- [37] Rezaul Mahmood. Scale issues in soil moisture modeling: problems and prospects [J]. Progress in Physical Geography. 1996, 20(3): 273-291.
- [38] Thomas J. Hatton, Xin-I WU. Scaling theory to extrapolate individual tree water use to stand water use. Hydrological Processes, 1995, 9 527-540.
- [39] Strader, et al. Nitrogen mineralization in high elevation forests of the Appalachians. I. Regional patterns in southern spruce-fir forests [J]. Biogeochemistry. 1989, 7 131-145.
- [40] 杨玉盛, 李振问, 等. 南平溪后杉木林取代杂木林后土壤肥力变化的研究 [J]. 植物生态学报, 1994(3): 236-242.
- [41] 夏北成 James Tiedje M. 植被对土壤微生物群落结构的影响 [J]. 应用生态学报, 1998(3): 296-300.
- [42] 张成娥, 郑粉莉. 子午岭区不同环境土壤微生物量与肥力关系的研究 [J]. 生态学报, 1998(2): 218-222.
- [43] 史衍玺, 唐克丽. 人为加速侵蚀下土壤质量的生物学特性变化 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998(1): 28-33.
- [44] 朱显谟. 黄土地区植被因素对于水土流失的影响 [J]. 土壤学报, 1960(2): 110-121.
- [45] 沈慧, 姜凤岐等. 水土保持林土壤改良效益评价研究 [J]. 生态学报, 2000(5): 753-758.
- [46] 郑粉莉. 子午岭林区植被破坏与恢复对土壤演变的影响 [J]. 水土保持通报. 1996, 16(5): 41-44.
- [47] 贾恒义. 黄土区森林土壤理化特性的初步研究 [J]. 林业科学, 1990(1): 74-78.
- [48] 孙波, 赵其国. 红壤退化中的土壤质量评价指标及评价方法 [J]. 地理科学进展, 1999(2): 118-128.
- [49] 赵其国. 土壤与环境问题国际研究概况及其发展趋势 [J]. 土壤, 1998(6): 281-310.
- [50] Pieri Christian, Dumanski Julian, et al. World discussion papers No. 315: Land quality Indicators [Z]. The World Bank. Washington DC, USA. December 1995. 55.
- [51] 陈灵芝, 等. 生物多样性科学前沿 [J]. 生态学报, 1997, 17(6): 565-572.
- [52] 温光远, 等. 大明山中山植被恢复过程植物物种多样性的变化 [J]. 植物生态学报, 1998, 22(1): 33-40.
- [53] 朱志诚. 秦岭以北黄土区植被的演替 [J]. 西北大学学报, 1981(3): 58-65.
- [54] 邹厚远, 刘国彬, 王晗生. 子午岭林区北部近 50 年植被的变化发展 [J]. 西北植物学报, 2002, 22(1): 1-8
- [55] 李锐, 等. 神府-东胜矿区一、二期工程环境效应考察 [J]. 水土保持研究, 1994, 1(4): 5-17, 53.
- [56] 李锐, 杨勤科, 等. 土壤侵蚀动态监测与管理信息系统 [M]. 见: 中国科学院水利部西北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. 土壤侵蚀环境调控与农业持续发展. 1995. 103-108.
- [57] 李锐, 等. 注重生态建设. 理智开发西部 [J]. 科学对社会的影响, 2000(2): 45-47.
- [58] 孙阁. 森林植被对河流泥沙和水质影响综述 [J]. 水土保持学报, 1988, 2(3): 83-89.
- [59] 胡金明, 刘兴士. 三江平原土壤质量变化评价与分析 [J]. 地理科学, 1999(5): 417-421.
- [60] 张桃林, 潘剑君, 等. 土壤质量研究进展与方向 [J]. 土壤, 1999(1): 1-7.
- [61] 葛全胜, 赵名茶, 等. 20 世纪中国土地利用变化研究 [J]. 地理学报, 2000, 55(6): 698-706.