

纸坊沟流域近 60 年来土地利用 景观变化的环境效应

温仲明, 焦 峰, 张晓萍, 杨勤科

(中国科学院水利部教育部水土保持研究所 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100)

摘要:以黄土丘陵区纸坊沟流域为研究区,对该流域近 60a 来的土地利用景观变化的环境效应进行了较为系统的分析研究。结果表明,流域环境与土地利用景观变化密切相关。随着由林草植被占优的景观格局演变为由坡耕地占优的景观格局,流域环境状况逐步恶化,并在 1958 年达到最低点。1975 年后,随着流域治理工作的开展,林草植被在景观中的优势度得以逐渐恢复,并经历了 1995 年的较为均衡的过渡阶段后,持续增加并重新恢复了其在景观中的优势地位。流域环境状况逐渐恢复乃至接近 1938 年植被未被破坏时的水平。社会经济环境因素的变化表明,生态环境建设不仅仅是单纯的林草植被恢复与重建的过程,而是一个生态和社会经济环境相互促进并有机发展和提高的过程。

关键词:土地利用;景观;环境效应;黄土丘陵区

Impact of landscape changes on environment due to 60 year's land use in a small catchment in Loess Hilly Region on the Loess Plateau

WEN Zhong-Ming, JIAO Feng, ZHANG Xiao-Ping, YANG Qin-Ke (The Institute of Soil and Water Conservation, CAS and MWR, and Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shannxi 712100, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(9): 1903~1909.

Abstract:Land use can have impacts on landscape patterns thus affecting many ecological processes and functions, such as soil erosion, soil water and nutrients and hydrological process. Understanding the environmental responses to the changes in these ecological processes is crucial to the sustainable land use planning and environmental construction. Using the GIS techniques and AHP method, the landscape changes and its environmental impact in Zhifanggou catchment were analyzed and evaluated using the data from aerial photos and field data in the past 60 years. Social and economic factors were also taken into the evaluation since the land use is a kind of social and economic activities and changes with social and economic environment. The results showed that the environmental changes were closely related to the landscape changes. In 1938, the landscape had the biggest vegetation cover. The soil erosion was slight and soil condition was kept in natural state, and the land had higher productivity due to the rotation farming system. The environment was in the best state according to the evaluation. However, when the landscape changed from one dominated by the trees and grasses uses to another dominated by the slope farmland, the landscape diversity and evenness decreased, and the landscape became simple. With these changes, the soil erosion increased, the soil functions degraded and the soil productivity decreased. The environment degraded gradually and reached to the worst point in 1958. This situation changed little until 1975 when the watershed management activities initiated. After 1975, the trees and grass restored gradually and reached to a balance with farmland in 1995. The landscape became complicated with the

基金项目:中国科学院“西部之光”人才培养计划资助项目;中国科学院知识创新工程重要方向资助项目(KZCX3-SW-421);国家自然科学基金资助项目(40301029)

收稿日期:2003-07-21;**修订日期:**2004-04-05

作者简介:温仲明(1969~),男,博士,助研,主要从事土地利用与环境及植被恢复重建研究。E-mail:zmwen@ms.iswc.ac.cn

Foundation item:The talent cultivation program “Western Light” of CAS; Knowledge innovation program of CAS (No. KZCX3-SW-421)and National Natural Science Foundation of China(No. 40301029)

Received date:2003-07-21;**Accepted date:**2004-04-05

Biography:WEN Zhong-ming, Ph.D., Assistant professor, mainly engaged in land use and ecological restoration. E-mail: zmwen@ms.iswc.ac.cn

highest landscape shape index and edge density during the period from 1990 to 1997. The soil properties improved; soil erosion decreased; land productivity increased. These changes improved environment to a new stage. After 1997, great land use changes taken place due to the “Converting Slope Farmland to Trees and Grasses Policy”. More slope farmland has been converted to trees and grasses. With this change, the landscape diversity decreased and dominated by trees and grasses again although the vegetation cover did not restored the level in 1938. The environment reached the best point since 1938 but not restored to the level in 1938. The changes in social and economic factors showed that the eco-environmental restoration is not just the ecological restoration, but a process involved the ecological restoration and social and economic sustainable development.

Key words: land use; landscape; environmental impact; loess hill region

文章编号: 1000-0933(2004)09-1903-07 中图分类号: F301.24, Q149, S154.1 文献标识码: A

土地利用变化可以改变地表覆盖状况并影响许多生态过程^[1]及生态系统功能^[2],如土壤侵蚀^[3~7]、土壤养分与水分^[8~11]、水文过程^[12~16]等。在黄土高原地区,随着小流域综合治理模式的不断推广,尤其是随着退耕还林(草)工作的开展,土地利用已经并正在发生较大的变化。随着不同利用类型间的相互转化,土地景观格局也发生相应变化。这会引起不同土地景观单元间能量、物质及营养成分的流动的变化,也会引起上述生态过程及系统功能的变化。虽然目前已开展了较多的研究工作对这些变化过程进行研究,但综合来看,已有研究主要针对特定的土地利用类型^[6,15~22]或特定的土壤要素^[8~11,20~21]进行,而将土地利用变化与不同生态过程进行综合研究的工作较少,将社会经济环境因素纳入土地利用变化环境效应分析的更不多见。本文的目的就在于利用研究区良好的资料积累,从土壤环境、综合生态环境及社会经环境 3 个方面对土地利用景观变化及其环境效应进行研究。以为该区生态环境建设提供有意义的借鉴。

1 研究区概况

研究区域设在安塞县纸坊沟流域(北纬 36°51′30″;东经 109°19′30″),属黄土丘陵沟壑区。流域面积 8.27km²。年日照总时数为 2415h,年辐射总量为 493kJ/cm²,年均气温 8.8℃,≥0℃的积温 3733.5℃,≥10℃的积温 3160.2℃;年均降水量为 549.1mm,降水年际变率大,枯水年只有 300mm 左右,丰水年可达 700mm 以上,且年内分配不均。7~9 月份的降水量全年降水的 61.1%,年蒸发量大于 1463mm。流域人口 480 人。流域先后经历了植被严重破坏期(1938~1958 年)、继续破坏期(1959~1973 年)、不稳定期(1974~1983 年)、稳定恢复改善期(1938~1990 年)和良性生态初步形成期(1991 年至今),土地利用格局发生较大的变化。随着土地利用格局的变化,流域生态环境发生了较大的变化。系统分析该流域土地利用景观格局变化及其环境效应,对于土地优化利用及生态环境治理及可持续发展可提供重要依据。

2 研究方法

2.1 土地利用景观类型划分

参照陕西省土地利用分类系统,结合黄土丘陵区的特点,该流域景观斑块分类采用二级分类系统。

表 1 纸坊沟流域景观分类系统

Table 1 The classification system of landscape in Zhifanggou catchment

一级分类 The first class	二级分类 The second class	包括的土地利用类型 Land use types included
生产性用地 Land for production	果园 Orchard	苹果、枣、核桃等 Apple, Chinese date, walnut etc.
	林地 Forest	乔木林 Mainly refers to trees
	灌木林地 Shrub	天然灌木和人工灌木 Natural and man-planted shrubs
	草地 Grassland	天然草地和人工草地 Natural and man-planted shrubs
	基本农田 Basic farmland	包括水浇地、梯田 Terraces and irrigated farmland
	坡耕地 Slopping farmland	坡耕地 Slopping farmland
非生产性用的 Land for other uses	居民地 Residential area	主要为居民居住生活用地 Residential area for farmers
	水域 Water area	指河流、水库、坑塘 Rivers, reservoir and pond
	未利用地 Unused land	指陡坡、沟坡等 Steep slopes & gullies

2.2 数据获取与处理

(1)土地利用景观变化数据及其处理 土地利用景观数据主要根据土地利用系列图得到。其中 1958、1975、1978、1987、1990 年 5 期土地利用数据根据航空遥感影像(1:10000),采用目视解译,结合地面调查和农户访问获得;1991 年后的土地利用数据,根据地面逐年实际监测制图获得。成图比例尺为 1:10000。为保证成图的一致性,在 ARC/INFO 环境下进行投影变换和控

制。在获取上述数据后,选择斑块优势度(Do)、平均斑块面积(MPS)、景观形状指数(LSI)、景观边界密度(ED)、景观多样性(H)、景观优势度(D)、景观均匀度指数(E)参与评价。各指数计算方法参见文献^[23]。

(2) 环境效应因子数据及其分析方法 对土地利用景观变化引起的环境效应,主要利用目前使用最多也是较为成熟的层次综合评价法进行评价。景观变化对环境的影响包括不同的方面,鉴于研究区环境问题的特殊性,本研究选择的环境因子主要有综合生态环境因子、土壤生态环境因子及社会经济环境因子 3 个方面(见表 2)。

表中,土壤侵蚀指数采用土壤侵蚀模数的倒数。土壤侵蚀模数根据实测值,通过建立模型获得各年的土壤侵蚀模数数据^[24];坡耕地比重、植被优势度、景观多样性、耕地结构质量指数等通过数字化的土地利用系列图,利用 ARCVIEW 相关统计功能获得,其中坡耕地比重参与评价时,为使其与其它因子对环境的影响相一致,采用其倒数参与运算;土壤生态因子通过实地测定获得,并以不同的土地利用类型为基础,转换为体现流域尺度的总体指数,从而可以根据景观类型的变化获得不同年份的土壤生态因子值;社会经济环境因子数据来自多年的研究试区的社会经济调查资料。

表 2 环境效应评价指标构成体系

Table 2 The structure of indexes for the evaluation of environmental impact		
准则 Sub-objectives		指标 Indexes
环境效应总体评价 The overall evaluation of environmental impact	综合生态环境效应 Integrative ecological environmental impact	土壤侵蚀指数($t/(km^2 \cdot a)$) Soil erosion index
		坡耕地比重 the ratio of the slopping farmland
		植被优势度 the dominance index of vegetation
		景观多样性 Landscape diversity
	土壤生态环境效应 Soil environmental impact	土壤稳定入渗率(mm/min) Steady soil infiltration rate
		有机质含量(%) Organic matter content
		水稳性团聚体平均直径(mm) Average diameter of aggregate
		土壤抗冲性 ($l \cdot min/g$) Soil anti-scourability
	社会经济环境效应 Social and economic environmental impact	耕地结构质量指数 Index of quality of farmland structure
		人均基本农田实现率(%)Realization rate of basic farmland per person
		耕地生产潜力实现率(%)Realization rate of farmland productive potential
		人均粮食自给率(%) Self-support ratio of food per person

(3)评价指标重要性判断及其一致性检验 层次分析法的核心是评价指标重要值的判断。本文在采用传统的专家评判的基础上,引入农户参与对一些综合的评价指标和社会指标进行评判。因为农户对自身对周围环境的认识,在某些方面也是较为深刻的。虽然这种认识主要是基于经验的,但也是一种历史知识的延续。将其作为一个重要的评判依据,有助于将历史性的经验性的知识与基于科学研究的专家知识的结合。二者结合(采用平均值),获得各指标对不同评价层次的权值(表 3)。

根据上述评判方法进行一致性比例计算, $CR=0.0694<0.10$,表明总排序符合一致性要求,其各因素所得权值分配符合评价要求。

在经过对各参数数据进行标准化处理后,即可根据参评因素对环境效应的权值分配,将各参评因素的指数值加权求和,对不同时期的土地利用状况下的环境状况进行评判,具体评价模型为:

$$\sum Q = \sum_{i=1}^m w_i P_i \quad m = 12$$

式中, $\sum Q$ 为土地利用变化环境综合评价指数; P_i 为评价各元素的无量纲指数值。 w_i 为第 i 个元素的在总排序中的权值; i 和 m 为各元素的编号注记及元素总数目。

3 研究结果

3.1 纸坊沟流域近 60a 来土地利用景观变化

不同的土地利用地块,在景观生态学种称之为斑块(patch),它是构成景观的基本单元。不同类型和大小的斑块在时间上的变化所引起的景观变化,对流域或区域生态过程将产生重要影响^[23],从而引起生态环境的较大变化。根据表 4,纸坊沟流域不同斑块类型在景观中的变化明显。在 1938 年,林地在景观中优势度最大,并且具有较大的平均斑块面积。草地、灌木次之。而作为主要生产用地的坡耕地和基本农田在景观中优势度较小,分别为 12.65%和 2.87%。随着随林开荒,到 1958 年,流域景观发生了急剧的变化,原在景观中占据优势的林灌植被其优势度和平均斑块面积几乎为零,坡耕地成为景观中最占优势的斑块类型。坡耕地主要两个平均面积为 145.81hm² 的连续斑块和平均斑块面积为 2.17hm² 的较为分散的小块坡耕地组成。景观基质(matrix)由林草植被变为坡耕地。从 1958~1975 年,流域景观仍以坡耕地占据优势,除基本农田的优势度有所提高和少量林地

的恢复外,景观格局没有发生大的变化。之后,随着流域治理工作的逐步深入,不同斑块类型在景观中的优势度发生较大的变化,坡耕地呈下降趋势,而林灌植被则持续增长。至 1995 年,坡耕地在流域景观中的优势地位被打破,其与草地一起,形成景观中占优势的斑块类型。至 1997 年,坡耕地在景观中的优势地位完全丧失,草地和林地斑块类型取而代之,并至 2000 年达到最大。

表 3 各评价指标对不同评价层次的权值分配

Table 3 The weighting value of different indexes to higher hierarchies				
层次 U highest hierarchy U	U ₁	U ₂	U ₃	M 层总排序 Order of lowest hierarchy
	0. 43	0. 31	0. 26	
土壤侵蚀指数(M1)Soil erosion index	0. 24			0. 103
坡耕地比重(M2)The ratio of the slopping farmland	0. 23			0. 099
植被优势度(M3)The dominance index of vegetation	0. 45			0. 194
景观多样性(M4)Landscape diversity	0. 08			0. 034
土壤入渗率(M5)Steady soil infiltration rate		0. 12		0. 037
有机质含量(M6)Organic matter content		0. 42		0. 130
水稳性团聚体直径(M7)Average diameter of aggregate		0. 25		0. 078
土壤抗冲性(M8)Soil anti-scourability		0. 21		0. 065
耕地结构质量指数(M9)Index of quality of farmland structure			0. 13	0. 034
人均基本农田实现率(M10)Realization rate of basic farmland per person			0. 29	0. 075
耕地生产潜力实现(M11)Realization rate of farmland productive potential			0. 12	0. 031
人均粮食自给率(M12)Self-support ratio of food per person			0. 46	0. 120

表 4 纸坊沟流域斑块类型优势度和平均斑块面积

Table 4 The dominance index of landscape patch type and average area of Zhifanggou catchment								
年 份 Year	果园 Orchard	林地 Forestland	灌木 Shrubland	草地 Grassland	基本农田 Basic farmland	坡耕地 Slope farmland	未利用地 Unused land	居民地 Residential area
1938	A	#	40. 40	15. 54	26. 88	12. 65	#	0. 66
	B	#	7. 10	1. 32	3. 82	1. 89	#	1. 86
1958	A	0. 80	#	0. 44	28. 29	56. 05	6. 51	2. 19
	B	0. 41	#	1. 09	8. 07	5. 90	30. 04	1. 05
1975	A	1. 86	1. 88	2. 71	28. 77	49. 62	5. 70	1. 59
	B	0. 99	1. 07	1. 48	5. 85	3. 73	91. 41	1. 15
1978	A	2. 88	3. 42	1. 93	27. 31	48. 67	5. 29	1. 58
	B	1. 24	1. 60	1. 27	5. 82	3. 95	84. 53	1. 15
1987	A	6. 63	13. 22	5. 95	24. 84	34. 01	4. 39	1. 33
	B	1. 56	1. 74	2. 30	4. 37	2. 69	5. 58	1. 03
1990	A	6. 37	16. 55	6. 37	25. 73	29. 72	3. 70	1. 25
	B	1. 64	1. 62	2. 62	3. 88	2. 11	7. 88	1. 03
1995	A	7. 27	17. 02	6. 23	27. 21	27. 74	1. 90	1. 26
	B	1. 59	1. 92	2. 50	4. 54	1. 87	3. 88	1. 03
1998	A	8. 74	16. 72	8. 81	31. 23	16. 21	3. 98	1. 47
	B	1. 64	2. 64	2. 60	5. 94	2. 58	2. 06	1. 03
2000	A	8. 76	23. 76	10. 40	30. 50	9. 62	3. 65	1. 48
	B	1. 64	2. 85	3. 36	5. 29	1. 65	3. 70	1. 03

* A 不同斑块类型在某一年的优势度 Dominance index of different patch type in one year; B 不同斑块类型在某一年的平均面积
Average area of different patch type in one year

3. 2 土地利用景观变化的总体特征

土地利用景观的变化,不仅体现在不同斑块类型间的相互转化方面,同时也表现出不同于具体斑块的总体特征。根据表 5,各景观指数与林灌植被或坡耕地在景观中的变化密切相关。随坡耕地在流域景观中优势地位的确立(1958 年),由单一景观支配的土地利用格局使得流域具有较高的景观优势度指数,此时景观均匀性和多样性较低,景观形状简单(形状指数和边界密度

较低)。而在 1990~1995 年,由于坡耕地在景观格局中优势地位的降低乃至丧失,逐渐形成由林、灌、草、农田等不同斑块类型构成的较为均衡的土地利用格局,此时景观优势度最低,而景观形状趋于复杂,景观呈现多样化特征。此阶段也是流域景观格局变化的过渡期。此后,随着治理工作的进一步深入,尤其是退耕还林(草)工作的开展,坡耕地向林草植被的转移增加,景观优势度指数增加。反映出林草植被对景观的支配程度的增强。相对应,景观均匀度和多样性略有降低,景观形状简单化。这种景观格局的转变,尤其是对景观起支配作用的斑块类型的转变,将对流域环境产生重要的影响。

3.3 土地利用景观变化的环境效应

土地利用景观格局变化所引起的流域主要生态过程的变化,对整个流域的环境变化具有重要影响。根据表 6 和图 1,可以看出,随土地利用景观的变化,纸坊沟流域环境状况这种变化的响应过程主要表现为:(1)1938 年以前,林草植被在景观中占据绝对优势,此时流域环境状况处于历史最好水平;1938 年以后,随人口的增加,大量的植被破坏,环境急剧恶化,综合评价指数为从最高的 0.87 降至 1958 年的最低值 0.42;(2)从 1958 年,环境状况开始缓慢改善,但至 20 世纪 70 年代末 80 年代初,由于坡耕地在景观中仍占有相当的优势,因此,流域环境状况仍处于较低的水平;(3)在 1978 年后,尤其是 80 年代初期以后,随着流域以造林种草为核心的土地利用结构的调整,流域环境状况得到较大改善,至 1990 年达到一个比较稳定的阶段,此阶段一直持续到 1997 年;(4)1998 年后,随退耕还林(草)工作的开展,坡耕地迅速减少,植被增加,流域综合环境状况得到进一步提高,到 2000 年,环境状况接近 1938 年的历史最好状态。

表 6 纸坊沟流域土地利用景观变化环境效应评价指数

评价指标 Indexes	年份 Year								
	1938	1958	1975	1978	1987	1990	1995	1998	2000
M1	0.662	0.12	0.132	0.13	0.155	0.174	0.189	0.292	0.493
M2	0.184	0.042	0.036	0.036	0.05	0.062	0.071	0.115	0.254
M3	1.226	0.425	0.494	0.484	0.652	0.72	0.747	0.84	0.903
M4	0.615	0.611	0.737	0.752	0.92	0.985	0.992	0.927	0.969
M5	0.958	0.6	0.707	0.707	0.807	0.832	0.882	0.925	0.917
M6	1.102	0.539	0.639	0.645	0.758	0.801	0.864	0.909	0.978
M7	1.002	0.598	0.686	0.692	0.8	0.813	0.873	0.93	0.946
M8	1.244	0.188	0.243	0.241	0.507	0.577	0.626	0.726	0.905
M9	0.161	0.047	0.09	0.094	0.155	0.254	0.3	0.402	0.592
M10	0.789	0.381	0.509	0.526	0.603	0.821	0.784	0.758	0.846
M11	0.135	0.039	0.052	0.041	0.063	0.097	0.183	0.305	0.254
M12	1.00	1.00	1.00	0.998	1.00	1.00	1.00	1.00	0.944
综合指数 Overall index	0.87	0.42	0.48	0.48	0.57	0.63	0.65	0.71	0.78

* M1 Soil Erosion Index;M2 the ratio of the slopping farmland;M3 the Dominance Index of Vegetation; M4 Landscape Diversity; M5 Steady Soil Infiltration Rate ;M6 Organic Matter Content;M7 Average Diameter of Aggregate;M8 Soil Anti-scourability;M9 Index of Quality of Farmland structure; M10 Realization rate of basic farmland per person;M11 Realization rate of Farmland Productive Potential; M12 Self-Support Ratio of Food Per Person

4 结论与讨论

对纸坊沟流域近 60a 来的土地利用景观变化及其环境效应进行较为系统的论述,结果表明,流域环境变化与景观格局的变化密切相关。由于林草植被在控制水土流失方面的特殊作用^[6,18,19,21,22,25],林草斑块类型在景观中消长变化,是导致流域生态环境发生变化的重要原因。因为植被破坏会导致土壤的严重退化和土地生产力的降低^[6,21]。1958 年林草植被彻底破坏,导致流域生态环境极度恶化,图 1 的数据清楚的表明了这一点。因此,恢复重建植被是改善生态环境重要途径。但另一方面,林草植被的恢复也是一项社会经济活动,涉及整个土地利用格局的变化,并对流域粮食生产产生和其它社会经济活动产生影响影

表 5 纸坊沟流域景观综合指数变化

Table 5 Changes of landscape indexes of Zhifanggou catchment					
年 份 Year	景观形 状指数 Landscape shape index	边界密 度 Edge density (km/km ²)	多样性香 农指数 Shanon diversity index	景观优势 度指数 Dominance index	景观均匀 度指数 Evenness
1938	24.67	34.07	1.61	0.79	0.67
1958	23.13	31.96	1.60	1.04	0.60
1975	25.55	35.31	1.93	1.07	0.64
1978	26.13	36.11	1.97	1.07	0.65
1987	29.06	40.15	2.41	0.76	0.76
1990	30.29	41.86	2.58	0.56	0.82
1995	29.92	41.35	2.60	0.57	0.82
1998	26.90	37.17	2.43	0.75	0.76
2000	27.31	37.73	2.54	0.68	0.79

响。在将农耕地转为林草用地的过程中,如何满足人口不断增加所引起的粮食需求就成为一个关键问题。正是基于这样的考虑,本文将景观格局变化中的社会经济环境因素也考虑在内,如土地生产潜力、人均基本农田实现率、耕地结构质量等,目的在于评判流域环境改善是否具有可持续性和稳定性。从研究结果看,正是土地生产潜力、人均基本农田实现率、耕地结构质量等的提高,才为该流域生态环境建设提供了较大的生态用地空间,并使该流域在进行生态环境建设的同时,保证了生产的可持续性,也保证了环境改善的持续性和稳定性。可见,生态环境建设不仅仅是单纯的林草植被恢复与重建的过程,也是一个社会经济环境逐渐发展和提高的过程。

References:

- [1] Turne II BL, Skole D, Sanderson S, *et al.* Land use and land-cover change Science/Research plan. IGBP Report No. 35 and HDP Report No. 7. Stockholm: IGBP, 1995.
- [2] PARUELO J M, BURKE I C and LAUENROTH W K. land Use Impact on ecosystem functioning in eastern Colorado, USA. *Global Change Biology*, 2001, **7**: 631~639.
- [3] Cai Q G, Wu S A. Effect of Different Land Use On Soil and Water Loss Processes On Purple Steep Slopeland. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1998, **18**(2): 1~9.
- [4] Huang J Y, Yan L J and Wang Z Q. Characteristics of Soil and water loss of different land utilizations in small catchments of red soil region. *Journal of Zhejiang University (Agric. & Life Sci.)*, 2002, **28**(1): 78~82.
- [5] Li M G, Li M P and Deng Y Q. Observations and analysis on the soil erosion by different land uses in erodible regions in Hulunbeier League. *Journal of Sediment Research*, 2001, **6**: 67~70.
- [6] Cha X, Hang S Y. Effects of vegetation Destruction on accelerated Erosion and Soil Dedradation Processes on Loess Plateau. *Journal of Mountain Science*, 2001, **19**(2): 109~114.
- [7] Liu C S, Qi S and Shi C M. Process of study on relationship between land use change and soil erosion. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, **15**(5): 10~14.
- [8] Fu B J, Ma K M, Zhou H F, *et al.* The Impact of Land Use Structure on the Distribution of Soil Nutrients in the Loess Hilly Region. *Bulletin of Science*, 1998, **43**(22): 92~95.
- [9] Fu B J, Guo X D, Chen L D, *et al.* Land use changes and soil nutrient changes; a case study in ZunHua County, Hebei Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, **21**(6): 926~931.
- [10] Meng Q H, Yang L Z. Nutrient losses in different land use types in Three Gorge Reservoir Area (TGRA), *Acta Ecologica Sinica*, 2000, **20**(6): 1028~1033.
- [11] Fu B J, Wang J and Ma K M. Effect of land use on soil water in loess hill area. *Science Foundation of China*, 1999, **4**: 225~227.
- [12] Gao J F and Wen Y H. Impact of land use change on runoff in Taihu basin. *Acta Geographica Sinica*, 2002, **57**(2): 194~200.
- [13] Yuan Y, Shi P J. Effect of land use on rainfall-runoff relationship in a basin——SCS model applied in Shenzhen City. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2001, **37**(1): 131~136.
- [14] Roland E Schulze. Modeling Hydrological Responses to Land Use and Climatic Change: A Southern Africa Perspective. *Ambio*, 2000, **29**(1): 12~22.
- [15] Li Y S. Effects of forest on water circle on the Loess Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2001, **16**(5): 427~432.
- [16] Huang M B and Liu X Z. Regulation effect of forest vegetation on watershed runoff in the Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, **13**(9): 1057~1060.
- [17] Luo W X, *et al.* Runoff and sediment under forest and grass land with different coverage. *The Journal of Soil and Water Conservation*, 1990, **4**(1): 30~35.
- [18] Hou X L, Liang Y M and Cao Q Y. The benefit of forest types and grassland in conserving soil and water in the loess hilly and gully areas. *Collected papers of the northwest institute of soil and water conservation of CAS and MWR*, 1991, **14**: 96~103.
- [19] Yu X X, Bi H X. Soil and Water Conservation by Forest Vegetation in Loess Area. *Acta Phytocologica Sinica*, 1997, **21**(5): 433~440.
- [20] Zhang X C, Shao M A, Huang Z B, *et al.* An Experiment research on soil erosion and nitrogen loss under different vegetation cover. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, **20**(6): 1038~1044.
- [21] Zheng F L. Impact of Vegetation Destruction and Restoration on Soil Evolution in Ziwu Mountain Forest Area. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1999, **16**(5): 41~44.
- [22] Wu Q X, Zhao H Y, Liu G B. Basic laws of soil and water conservation by vegetation and its summarization. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000, **14**(4): 13~16.
- [23] Wu J G. *Landscape Ecology-Pattern, Process, Scale and Grades*. Beijing: Higher Education Press, 2000.

[24] Yang Q K. a study on quantitative soil erosion assessment and soil and water conservation planning in a small watershed,2001.

[25] Xiang S Q. The Study on the effect of shrubs roots on conserving soil resources. *Journal of Beijing Forestry University*,1988,**10**(4):15~21.

参考文献:

[3] 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. 水土保持通报,1998,**18**(2):1~9.

[4] 黄进勇,严力蛟,王兆赛. 红壤小流域不同土地利用方式下的水土流失特征. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2002,**28**(1):78~82.

[5] 李明贵,李明品,邓玉芹. 呼盟水蚀区不同土地利用的水土流失观测与分析. 泥沙研究,2001,**6**:67~70.

[6] 查轩,黄少燕. 植被破坏对黄土高原加速侵蚀及土壤退化过程的影响. 山地学报,2001,**19**(2):109~114.

[7] 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. 水土保持学报, 2001,**15**(5):10~14.

[8] 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. 科学通报,1998, **43**(22):92~95.

[9] 傅伯杰,郭旭东, 陈利顶,等. 土地利用变化与土壤养分的变化——以河北省遵化县为例. 生态学报,2001, **21**(6):926~931.

[10] 孟庆华,杨林章. 三峡库区不同土地利用方式的养分流失研究. 生态学报,2000,**20**(6):1028~1033.

[11] 傅伯杰,王军,马克明. 黄土丘陵区土地利用对土壤水分的影响. 中国科学基金, 1999,**4**: 225~227.

[12] 高俊峰,闻余华. 太湖流域土地利用变化对流域产水量的影响. 地理学报,2002,**57**(2):194~200.

[13] 袁艺,史培军. 土地利用对流域降雨-径流关系的影响——SCS 模型在深圳市的应用. 北京师范大学学报(自然科学版),2001,**37**(1):131~136.

[15] 李玉山. 黄土高原森林植被对陆地水循环影响的研究. 自然资源学报,2001,**16**(5):427~432.

[16] 黄明斌,刘贤赵. 黄土高原森林植被对流域径流的调节作用. 应用生态学报,2002, **13**(9) : 1057~1060.

[17] 罗伟祥,等. 不同覆盖度林地与草地的径流量与冲刷量. 水土保持学报,1990,**4**(1):36~43.

[18] 侯喜录,梁一民,曹清玉. 黄土丘陵沟壑区主要水保林类型及草地水保效益的研究. 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊,1991, **14**:96~103.

[19] 余新晓,毕华兴,朱金兆,等. 黄土地区森林植被水土保持作用研究. 植物生态学报, 1997,**21**(5):433~440.

[20] 张兴昌,邵明安,黄占斌,等. 不同植被对土壤侵蚀和氮素流失的影响. 生态学报,2000,**20**(6):1038~1044.

[21] 郑粉莉. 子午岭林区植被破坏与恢复对土壤演变的影响. 水土保持通报,1999,**16**(5): 41~44.

[22] 吴钦孝,赵鸿雁,刘国彬. 黄土高原森林植被水土保持机理研究. 水土保持学报,2001,**15**(4):13~16.

[23] 邬建国. 景观生态学——格局、过程与尺度. 北京:高等教育出版社,2000.

[24] 杨勤科. 小流域土壤侵蚀评价与水土保持规划(博士论文),2001.

[25] 向师庆. 灌草丛根系保持土壤资源上的研究. 北京林业大学学报,1988,**10**(4):15~21.