

皇甫川流域不同尺度景观分异下的土壤性状

赵海霞¹, 李 波¹, 刘颖慧¹, 张新时^{1,2}

(1. 北京师范大学中国生态资产评估研究中心, 北京师范大学资源学院, 北京 100875;

2. 中国科学院植物研究所植被数量生态学开放研究实验室, 北京 100093)

摘要:皇甫川流域地处我国北方农牧交错带中段,是该地区正在进行的国家重点基础规划(“973”)项目设置的范式点之一。按照区域-小流域-中小地形这样的景观分类的等级体系,通过代表小流域的样带设置、实地调查和取样分析等,对该地区区域尺度、流域尺度和中小地形尺度景观分异下的土壤性状进行了分析。在此基础上,对研究区优化生态-生产范式的空间配置问题进行了探讨。结果表明:(1)总体上该研究区土壤养分含量低、发育程度差。(2)不同地质地貌类型区的土壤特性存在差异,黄土丘陵沟壑区的小流域比沙化黄土丘陵区 and 砒砂岩裸露丘陵沟壑区的小流域的土壤养分和质地好,相对更适于发展耕地。(3)中小地形尺度下,坡向、坡度和坡位及土地利用与土壤性状的关系为:①阴坡和阳坡的土壤有机质含量存在差异显著,且土壤养分还随着坡的向阳程度的减弱而增加。川地的土壤养分也较高,但土壤偏砂性。②坡度与土壤粒径存在显著相关,坡度不同侵蚀强度也不同。15°是侵蚀加剧的临界值,把它作为当地的退耕坡度标准是合理的。③土壤表层养分总体表现为随坡位的下降而减少的趋势。④综合考虑中小地形条件,景观立地类型可以划分为川台地养分富集区,坡中下部养分严重流失区(坡度>15°)和坡梁缓坡地养分涵养区(坡度<15°)。⑤中小地形尺度下,样带剖面上土地利用变化对土壤性状的影响较大,乔木林土壤养分积累高、团粒结构好,灌木林由于放牧和沙化的影响,土壤养分最低,砂粒含量最高而粘粒含量最低。撂荒地的土壤养分少而农田和果园的土壤养分较高。荒草地的土壤养分条件较差。但就耕地与非耕地而言,土壤养分和质地并无显著差异。说明耕地熟化作用很弱,广种薄收、靠天吃饭现象十分普遍;(4)不同尺度景观分异下的土壤性状研究是优化生态-生产范式的构建的重要理论基础。

关键词:区域;小流域;中小地形;尺度;土地利用;土壤性状

文章编号:1000-0933(2005)08-2010-09 中图分类号:Q948.113 文献标识码:A

The soil properties along landscape heterogeneity on different scales in Huangfuchuan Watershed

ZHAO Hai-Xia¹, LI Bo¹, LIU Ying-Hui¹, ZHANG Xin-Shi^{1,2} (1. China Ecological Capital Assessment Research Center, College of Resources Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(8): 2010~2018.

Abstract: Huangfuchuan Watershed, one of the five important paradigm sites of the project of State Key Basic Research and Development Plan of China, as the transitional area of Loess Plateau and Erdos Plateau, located in the middle part of North Farming-pastoral Zone in China.

On region scale, according to material types from underlying rock's erosion (Pisha sandy rock, loess soil and wind sandy soil), physiognomy conditions and soil erosion intensity, the whole watershed were divided into three regions: hilly gullied loess region, wind sandy hilly gullied loess region and Pisha sandy rock hilly gullied region.

Five transects of several typical small watersheds were investigated in three different regions. Topography, soil and vegetation data on transects were collected and sample analyzed. Though the statistical methods of average comparison, One-Way ANOVA and test of LSD, Duncan, soil properties in Huangfuchuan Watershed were analyzed on region, small watershed and small topography scale. Landscape ecology system of Huangfuchuan Watershed is constructed, which consists of region -

基金项目:国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000018607)

收稿日期:2004-03-09; **修订日期:**2005-07-07

作者简介:赵海霞(1977~),女,内蒙古包头市人,博士生,主要从事生态区评价和景观生态学研究. E-mail: zhaozhao@irs.bnu.edu.cn

Foundation item: National Key Basic Research and Development Plan of China (No. G2000018607)

Received date: 2004-03-09; **Accepted date:** 2005-07-07

Biography: ZHAO Hai-Xia, Ph. D. candidate, mainly engaged in landscape ecology and ecological assessment. E-mail: zhaozhao@irs.bnu.edu.cn

small watershed- small topography.

The results of research show:

- (1)As a whole,soil nutrient content in this study area is low,soil texture is rough,and soil is alkaliescent.
- (2)There are great differences in soil properties among the watersheds of three different geologic-landform regions. Soil nutrients and texture of small watersheds in hilly gullied loess region are better than those in wind sandy hilly gullied loess region and Pisha sandy rock hilly gullied region,which are suitable for farming.

(3)On small topography scale,soil properties are correlated with hill aspect,slope,position and land use:

① With the decrease of the degree exposing to sun,soil nutrient content increases. There is significant difference between soil organic matter of shady slopes and sunny slopes. Soil nutrient content and clay content of shady slope all are the highest, while pH is low. Most of soil texture type of shady slope are loam soil. Soil nutrients of valley lands are higher,but soil textures are sandy.

② Soil particle composition is related with hill slope and the intensity of soil erosion. When the hill slope degree is less than 15°,the small size particle of soil are loss and clay and silt content of soil are low. When hill slope degree is more than 25°,sand content sharply decreases while silt content is high comparatively. 15° is a critical value for erosion changing,it is reasonable for 15° as a slope degree standard of Returning Farmland to Forest and Pasture in this area.

③ Slope degree increases with the fall of hill position in this area,and middle slope,where soil erosion is severe,is the dividing line for slope and ravine. Soil nutrients content approximately decrease with the fall of hill position. In middle slope, as its serious erosion,soil nutrient content and clay content is the lowest. Because of erosion and deposit,Soil nutrient content and pH of lower slope is higher and sand content of valley flatland is the highest.

④ Comprehensively considering small topography condition,landscape ecotope type can be classified to soil nutrient enrichment area in valley flatland,soil nutrient losses area in middle and foot slope(slope degree>15°),upper gentle sloping land conservation area. According to slope aspect,slope can be classified into shady and semi-shady aspect sub-area,sunny and semi-sunny aspect sub-area.

⑤ On the small topography scale,land use type is the important factor affecting soil properties. Soil nutrient accumulation in woodland is high and soil structure is good. Because of being overgrazed and sand accumulating,soil nutrient content and clay content of shrub land is the lowest,sand content is the highest. Soil nutrient of grassland is poor. Because of fertilizing and improving soils,soil nutrient content of cropland and orchard land is higher than fallow land. The difference of soil properties between cultivated land and non-cultivated land is not significant which shows soil nutrient of cultivated land is low and production is poor in research area.

(4) Based on the research of soil properties along landscape heterogeneity on different scales, the construction of the Optimized Eco-productive Paradigms in this kind of areas was discussed. There are different landscape spatial patterns in different geologic-landform regions. Landscape spatial patterns of small watershed in hilly gullied loess region were got.

Key words:region; small watershed; small topography; scale; land use; soil properties

全球和区域尺度上地质历史、母质和气候是影响土壤性质的主要因素^[1],而小流域尺度上,小地形及土地利用成为土壤性质的主要影响因子^[2]。小地形影响光照、径流、排水,土壤温度和土壤侵蚀进而影响土壤形成、植物产量的格局和分解的过程。土壤的物理性质(如粘粒含量、砂粒含量的分布)、化学性质(如有机质含量,pH 值)与地形条件高度相关^[3~6]。土地利用是多个环境属性的整合,通过对侵蚀、氧化、矿化和淋溶等过程的作用影响着土壤的养分运输和再分配。在非耕地土地利用方式下,植被类型是影响土壤有机质的一个重要因子。植被条件的改善可能减轻局部地形条件引起的土壤侵蚀状况^[7]。

皇甫川流域地处黄土高原北部砒砂岩区,水土流失十分严重,是全国水土流失重点治理区,该区的相关研究多集中于土壤侵蚀、产流产沙的过程和原因分析^[8~10],对土壤特性的描述性研究较多^[10~12],但鲜有多尺度空间分异~土壤性状之间关系的研究,本文对区域、小流域和中小地形尺度景观分异下的土壤性状及分布规律进行了研究,旨在为不同景观分异下植被的合理配置和优化生态—生产范式的建立提供理论依据^[13,14]。

本文通过区域-小流域-中小地形(立地)的尺度关联和转换形成景观生态研究的完整体系,不同尺度的景观分异由不同的关键生态因子控制;皇甫川流域按照地质地貌条件的异质性,可以划分为 3 个类型区,而这 3 个类型区都是小流域有规律组合的综合体,所以选取典型小流域为代表,来比较不同类型区土壤特性的异同;按照景观分类体系^[15],中小地形与立地

(ecotope)相对应,是景观最小单元,中小地形条件主要有坡度、坡向、坡位等,土地利用也是一个重要的影响因子,研究中小地形上的土壤性状特点可以为小流域景观的立体配置提供依据。

1 研究区背景分析

皇甫川是黄河中游的一级支流,发源于鄂尔多斯高原和黄土高原的过渡带,属于典型的半干旱区河流,流域面积 3304km²,由纳林川和十里长川两大支流组成。地质构造属于鄂尔多斯台地拗陷盆地的边缘部分,地层主要由二迭系、三叠系、侏罗系杂色碎屑沉积岩类的泥岩、砂岩互层组成(当地俗称砒砂岩)。本区土壤主要以砒砂岩、黄土和风沙土为母质。根据母质类型、地貌条件和土壤侵蚀的强度,皇甫川流域可划分为三大类型区,砒砂岩丘陵沟壑区,黄土丘陵沟壑区,沙化黄土丘陵区(图 1)。砒砂岩丘陵沟壑区(I 区)表层黄土覆盖较薄或已完全流失,砒砂岩充分裸露,侵蚀极剧烈,主要分布于纳林川西岸,约有 915km²。黄土丘陵沟壑区(II 区)虽有黄土覆盖,但沟谷切入基岩,主要分布在本流域东部和南部,约有 1283km²。沙化黄土丘陵区(III)砒砂岩很少出露,黄土上覆盖大片风积沙,水蚀较轻风蚀较重,主要分布于纳林川中下游以东、长川以西地区和库布齐沙漠边缘,约有 600km²[10,11]。

金争平等人以彩红外航片判读土壤类型并结合准格尔旗和府谷县土壤普查成果,归纳了与上述 3 类母质相关的土壤类型[10](表 1)。该流域的土壤类型以栗钙土、黄绵土、风沙土分布较多,以栗钙土分布最多。栗钙土的主要母质类型是砒砂岩,分为栗钙土、粗骨栗钙土和草甸栗钙土 3 个亚类,因为成土条件和发育程度不同,养分含量在亚类间差异较大,草甸栗钙土和栗钙土的养分条件要明显好于粗骨栗钙土。黄绵土土类成土母质为黄土,皇甫川流域只分布有黄绵土亚类,粒径较粗。风沙土的养分含量低,质地粗,按照沙丘固定程度的不同可以分为固定风沙土、半固定风沙土和流动风沙土,养分含量依照沙丘的固定程度降低[12]。

该区的土壤受母质、气候、地形和水土流失以及人为活动的影响,养分含量除速效钾含量较高外其余几项都很低,土壤贫瘠,绝大部分耕地土壤有机质和氮磷都缺乏,按全国土壤养分分级标准,多属 4,5,6 级,处于营养极缺水平[16],土壤的质地也较粗。

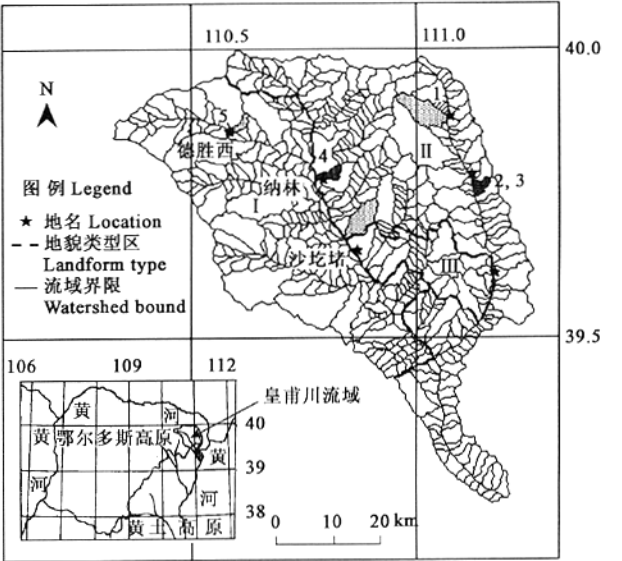
流域内自然植被破坏殆尽,以人工植被为主,垦殖指数较高,土地利用以农田、休闲地(撂荒地)、荒草地、间作地、果园、乔木林地和灌木林地为主。现有的乔木林包括油松(*Pinus tabulaeformis*)、小叶杨(*Populus simonii*)等人工林和残存的天然针叶林。灌木林以人工种植的沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、柠条(*Caragana intermedia*)、沙柳(*Salix psammophyla*)为主。该流域原生草原植被为暖温带典型草原——本氏针茅(*Stipa bungeana*)草原,目前已破坏殆尽,在恢复演替过程中,被百里香(*Thymus serpyllum*)草原所代替。流域内沙地上分布着以油蒿(*Artemisia ordosica*)为主的耐风沙、耐干旱的沙地植被。在川台地主要种植玉米(*Zea mays*)、糜黍(*Panicum miliaceum*)等,坡耕地种植油料作物和小杂粮等。

2 研究方案的设计

2.1 样带的设置

2002 年 5 月和 8 月,选取皇甫川流域的小流域西黑岱沟、五分地沟、纳林沟、黑毛兔沟做样带,分别编号为样带 1,2,3,4,5(2 和 3 都在五分地沟),样带 1,2,4,5 的设置基本上覆盖了小流域的一个横断面,样带 3 设置在从坡顶到川地的半个横断面。

西黑岱沟和五分地沟都处于黄土丘陵沟壑区。西黑岱沟



1 砒砂岩裸露丘陵沟壑区 Sediment-Rock hilly gullied region
II 黄土丘陵沟壑区 Hilly gullied loess region
III 沙化黄土丘陵区 Sandy hilly gullied loess region
1. 西黑岱沟 Xihedai watershed
2, 3. 五分地沟 Wufendi watershed
4. 纳林沟 Nalin watershed
5. 黑毛兔沟 Heimaotu watershed

图 1 皇甫川流域的调查小流域的分布点位图
Fig. 1 Spatial distribution of sampling sites in the Huangfuchuan watershed

按照沙丘固定程度的不同可以分为固定风沙土、半固定风沙土和流动风沙土,养分含量依照沙丘的固定程度降低[12]。

该区的土壤受母质、气候、地形和水土流失以及人为活动的影响,养分含量除速效钾含量较高外其余几项都很低,土壤贫瘠,绝大部分耕地土壤有机质和氮磷都缺乏,按全国土壤养分分级标准,多属 4,5,6 级,处于营养极缺水平[16],土壤的质地也较粗。

流域内自然植被破坏殆尽,以人工植被为主,垦殖指数较高,土地利用以农田、休闲地(撂荒地)、荒草地、间作地、果园、乔木林地和灌木林地为主。现有的乔木林包括油松(*Pinus tabulaeformis*)、小叶杨(*Populus simonii*)等人工林和残存的天然针叶林。灌木林以人工种植的沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、柠条(*Caragana intermedia*)、沙柳(*Salix psammophyla*)为主。该流域原生草原植被为暖温带典型草原——本氏针茅(*Stipa bungeana*)草原,目前已破坏殆尽,在恢复演替过程中,被百里香(*Thymus serpyllum*)草原所代替。流域内沙地上分布着以油蒿(*Artemisia ordosica*)为主的耐风沙、耐干旱的沙地植被。在川台地主要种植玉米(*Zea mays*)、糜黍(*Panicum miliaceum*)等,坡耕地种植油料作物和小杂粮等。

表 1 皇甫川流域土壤类型[10]
Table 1 Soil types of Huangfuchuan Watershed[10]

母质类型 Parent material	土壤类型 Soil type	土属数量 Number of soil genus
砒砂岩土类 Sediment rock	栗钙土、紫色土 Castanozems, Purplish soils	9
黄土类 Loess	红土、黄绵土、黑垆土 Red earths, Loessial soils, Dark loessial soils	8
风沙土 Aeolian sand	风沙土 Aeolian soils	3
冲积土类 Alluvial soil	草甸土、淤土、潮土、盐土 Meadow soils, Irrigation silting soils, Fluvo-aquic soils, solonchaks	5

是长川上游的一级支沟,流域面积 38km²,水土保持成效较好,样带 1 位于沟口,长度约为 1700m,高差 90m(1150~1240m),样方数 9 个(图 2)。五分地沟小流域位于长川的中游东岸,流域面积 3.8km²,样带 2 位于沟口,长度约为 1500m,高差 70m(1100~1170m),样方数 9 个(图 3)。样带 3 为五分地沟坡到长川川地的半个横断面,长度为 1000m,高差 80m(1080~1160m),样方数 7 个。纳林沟小流域处于沙化黄土丘陵区,位于纳林川的中游东岸,流域面积 18.1km²,样带 4 位于流域的中游,长度约为 2000m,高差 100m(1113~1212m),样方数 10 个。黑毛兔沟小流域处在皇甫川流域水土流失最严重的砒砂岩区,是黄河粗沙来源的典型小流域,是纳林川上游的二级支沟,流域面积 6.19km²,样带 5 长 900m,高差 50m(1160~1210m),样方数 5 个。综上所述,样方的平均密度水平距离约为 200m,垂直距离约为 10m,样方基本反映了样带上不同的中小地形条件。

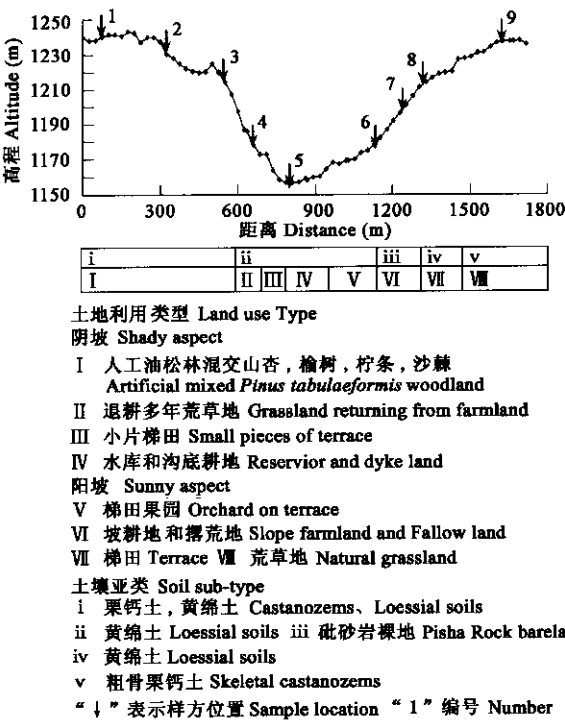


图 2 西黑岱沟样带 1 的剖面图
Fig. 2 Transect 1 of Xiheidai watershed

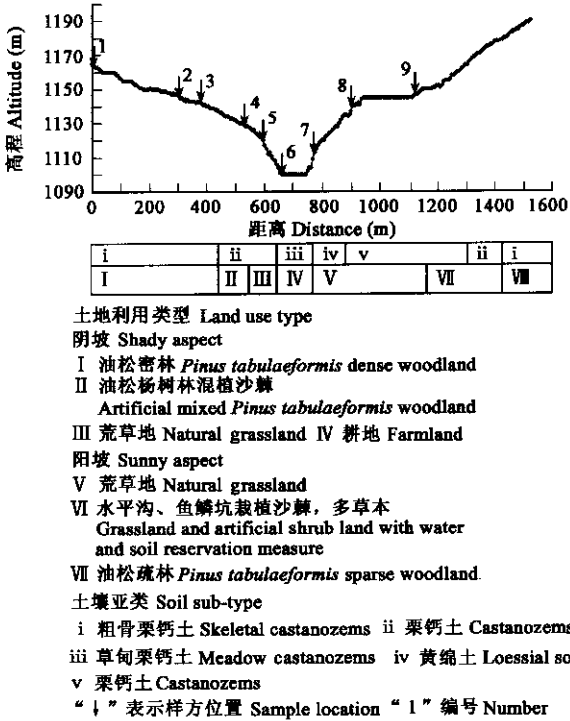


图 3 五分地沟样带 2 的剖面图
Fig. 3 Transect 2 of Wufendi watershed

2.2 数据的采集及分析

在样带上采集了地形数据、样方植被数据和土壤数据。样本数共为 40 个。地形数据包括海拔高度、坡位、坡向、坡度等。样方植被数据包括群落类型、种类数目、盖度、优势度等。土壤取表层样 0~15cm,在土层薄的地方则根据土壤的发育状况取样。对样带 1~5 的表层土壤数据进行了室内养分和土壤粒径组成的分析。养分分析指标为全氮(total nitrogen, TN)(g/kg)、有机质(soil organic matter, SOM)(g/kg)和 pH 值。按照美国农业部制^[17],土壤粒径组成的分析分为三大级:砂粒(sand)(>0.05mm),粉砂粒(silt)(0.005~0.05mm),粘粒(clay)(<0.005mm)。

中小地形是按坡向、坡位和坡度进行划分的。坡位分为 5 级:坡顶部(SM)、坡上部(US)、坡中部(MS)、坡下部(LS)、川台地(VF),调查的基本都是阳坡。坡向分为 5 级:阳坡、半阳坡、半阴坡(缺失)、阴坡、川地。以北偏东 20°作为阴坡的中线,阳坡是 155~245°,半阳坡是 110~155°,245~290°,半阴坡是 65~110°,290~335°,阴坡是 335~360°、0~65°。坡度分为 0~5°(1)、6~15°(2)、16~35°(3)进行方差分析。

分析方法采用均值比较方法和 SPSS 统计方法的单因素方差分析(One-Way ANOVA),各组均值的多重比较采用 LSD 和 Duncan 检验方法,显著性水平分别为 0.01 和 0.05。

3 不同区域小流域的土壤特性和分布规律

3.1 研究区不同土壤类型的特征比较

皇甫川流域的土壤类型以栗钙土、黄绵土、风沙土 3 类土壤分布较多,对栗钙土类、黄绵土类和风沙土类 3 种土壤特性进行比较,其黄绵土的质地最细,而且养分含量最高;栗钙土的土壤养分较高,而且质地较细;风沙土养分最低,有机质均值 3.92g/kg,全氮 0.208g/kg, pH 值最高,质地粗,砂粒含量超过 80%(表 2)。3 种土壤类型间的养分差异并不显著,风沙土类与栗

钙土类和黄绵土类粒径组成存在显著差异,而栗钙土类和黄绵土类之间的粒径组成则不存在显著差异。与典型黄土高原相比栗钙土、黄绵土的养分偏低^[12,16],质地较粗。流域地处半干旱区,土壤偏碱性,pH 值较高。

表 2 研究区不同土类的养分和质地特征

Table 2 Soil properties for different soil types in research area						
土壤类型 Soil type	有机质 SOM(g/kg)	全氮 TN(g/kg)	pH (CaCl ₂)	砂粒 SC(%)	粉砂粒 SiC(%)	粘粒 CC(%)
栗钙土类 Chestnut soil	5.81a	0.315a	9.12a	62.3b	18.6a	19.1a
黄绵土类 Loess soil	6.22a	0.315a	9.14a	56.2b	25.2a	18.6a
风沙土类 Aeolian sandy soil	3.92a	0.208a	9.22a	83.0a	4.2b	12.8b
F 值 F value	1.845	1.474	0.980	8.512**	7.176**	8.331**

每一列有相同字母的值表明该组与其他组间的差异不显著($p<0.05$,Duncan 检验), $n=35$ Values in each column with the same letter are not significantly($p<0.05$,Duncantest) different among soil types, $n=35$

该地区是风沙区与黄土高原的过渡地带,处于沙黄绵土区^[18],受沙化影响,土壤质地较粗,黄绵土类的样本有 11%属于砂土,67%属于壤土类。栗钙土类的样本有 10%属于砂土,50%属于壤土类砂质壤土,这是由于其特殊的母质类型再加上沙化的影响所决定的,砒砂岩结构松散,土质疏松,抗蚀性差,土壤侵蚀剧烈,成为黄河中游泥沙淤积的主要来源之一。

3.2 不同地质地貌类型区的小流域之间土壤特性的比较

西黑岱沟的样带 1 主要是栗钙土土类和黄绵土土类,几乎没有风沙土类,五分地沟的样带 2 和 3 以栗钙土类为主,纳林沟的样带 4 主要是风沙土类。

黄土丘陵区样带的土壤养分较高(图 4),西黑岱沟的样带 1 土壤的有机质和全氮平均值分别达到 6.79g/kg 和 0.352g/kg,五分地沟样带均值分别为 5.85g/kg 和 0.297g/kg。两个流域样带的土壤砂粒含量相对较低分别为 67.4%和 49.8%,粉砂粒的含量相对较高为 15.9%和 29.7%,砂粒含量和粉砂粒含量在样带 1 明显与其他样带不同。同样处于黄土丘陵沟壑区的五分地

沟和西黑岱沟的样带土壤状况是不同的,经调查发现,这与两条流域的自然条件和治理程度、植被恢复情况不同是有关系的。西黑岱沟从 20 世纪 80 年代开始治理,治理面积达到 70%,人工植被保存率达到 80%,治理程度好于五分地沟,五分地沟虽然也从 80 年代就开始治理,但现在沙化和砒砂岩裸露的情况比较严重,所以西黑岱沟的土壤状况整体上要好于五分地沟。

砒砂岩区样带 5 的土壤养分较低,土壤中砂粒的含量相对较高,达到 70.1%,该流域砒砂岩裸露程度严重,侵蚀强烈,土层薄,坡面上的土层厚度基本为 5~20cm,其下为基岩。纳林沟样带 4 地处风沙区,表层以风沙土为主,砂粒平均含量为 74.3%,土壤养分低,有机质仅为 3.89g/kg。方差分析表明:样带 1 的土壤有机质含量明显大于样带 4,样带 4 的 pH 值为 9.28,明显大于样带 2、3、5,在同一区域内 pH 值往往与有机质含量呈负相关。

样带 1 表层土壤以壤土类为主,占 56%,粘壤土类占 44%,土壤发育较好,土层较厚。样带 2 和样带 3 土壤以壤土类砂质壤土为主,占 63%。样带 4 的表层土壤以砂土类为主,占 50%。样带 5 剖面土壤以砂质粘壤土和砂质壤土为主。可以看出,处于黄土丘陵沟壑区的小流域的土壤养分和质地结构都比较好,相对来说,更适合于耕作。

4 中小地形尺度分异下的土壤特性

4.1 中小地形与土壤养分和质地的关系

调查区海拔高差不大,仅 123m,土壤养分和粒径组成与高度无显著关系,但与局部地形条件如坡向、坡度和坡位有一定的显著关系。

4.1.1 坡向与土壤表层养分和质地的关系 随着坡的向阳程度的减弱土壤养分增加,阴坡土壤表层的有机质和全氮含量最高,pH 值较小,阳坡的养分含量最少,pH 值最高,川地的养分含量较高。对坡向分组进行方差分析比较表明(表 3),土壤有机质在阴坡和阳坡有显著差异,全氮和 pH 并无显著差异。

阴坡的土壤砂粒含量最少,粉砂粒和粘粒含量最多,多为壤土,而阳坡的土壤砂粒含量较多,粘粒和粉砂粒的含量较少,阴坡与其他坡向之间的土壤粒径组成存在显著差异。阳坡、半阳坡、川地间差异不显著,阳坡、半阳坡和川地土壤质地都偏砂性。流域北部库布齐沙漠的来沙,是皇甫川流域土地沙化的主要原因。沙化扩展沿河谷推移,不同坡向的坡地在承接风沙上有差异。因此,不同坡向间砂粒和粉砂粒含量明显不同。而粘粒粒径小,不易沉降,故与坡向关系不显著。

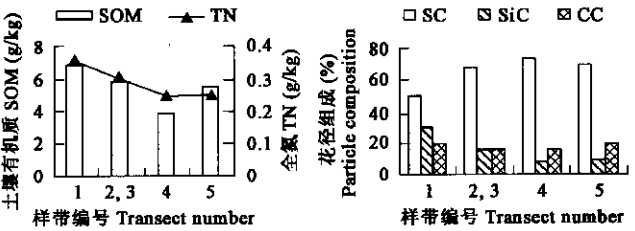


图 4 样带间的土壤养分(a)和粒径组成(b)的均值比较
Fig. 4 Comparisons of averages on soil properties between several transects

造成不同坡向养分和粒径差异的另一个重要的原因是水分和光照条件的差异。阳坡蒸发较强,土壤水分条件差,对天然植被的恢复和人工植被的生长不利^[19],土地利用多为灌木林和草地,土壤养分相对较低,土壤团粒结构不如阴坡。阴坡和半阳坡水分条件好,多分布有乔木林,由于枯枝落叶等的影响,乔木林的土壤养分较高,土壤的团粒结构也较好。土壤的养分含量和粒径组成也是存在相关关系的。阳坡水分条件差,加剧土壤趋于碱性,同时有机质积累低导致高的 pH 值。

表 3 不同坡向的土壤养分和粒径组成均值比较

Table 3 Comparison of averages on soil properties for four aspects						
坡向 Aspect	有机质 SOM (g/kg)	全氮 TN (g/kg)	pH (CaCl ₂)	砂粒 SC (%)	粉砂粒 SiC (%)	粘粒 CC (%)
阳坡 sunny	4.56b	0.248a	9.20a	66.6a	15.9b	17.5a
半阳坡 semi-sunny	5.62ab	0.303a	9.10a	72.7a	10.3b	16.9a
阴坡 shady	7.72a	0.375a	9.11a	43.3b	35.9a	20.8a
川地 Valley flatland	5.84ab	0.292a	9.18a	66.9a	14.4b	18.7a
F 值 F value	2.282	1.058	0.931	7.192**	9.237**	1.220

每一列有相同字母的值表明该组与其他组间的差异不显著($p<0.05$,Duncan 检验), $n=39$ Values in each column with the same letter are not significantly($p<0.05$,Duncantest) different among soil types, $n=39$

4.1.2 坡度与土壤表层养分和质地的关系 土壤粒径组成与坡度存在显著相关关系(pearson 相关),坡度与砂粒含量成负相关($r=-0.42,n=40$),而与粉砂粒含量成正相关($r=0.51,n=40$)。坡度分为 3 组:0~5°,6~15°,16~35°(25°组的样本数太少所以没有单独分出),组间只有砂粒和粉砂粒含量存在显著差异,16~35°明显砂粒含量少而粉砂粒含量多(表 4)。这与侵蚀的物理过程有关,坡度是影响土壤侵蚀量的重要因子,试验表明,土壤侵蚀强度与坡度成 1.1~1.6 次方的幂函数关系^[9]。坡度不同引起侵蚀强度不同从而造成土壤粒径组成的差异,坡度在 15°以内,土壤侵蚀一般以溅蚀为主,粘粒含量和粉砂粒含量减少;坡度为 6~10°时土壤砂粒含量出现高值是因为土壤类型多为风沙土。坡度在 15°以上,侵蚀强度增加,粒径较大的颗粒流失;在 25°以上,重力侵蚀的比重增加,砂粒大量流失,所以土壤中砂粒含量急剧减少,而粉砂粒的含量较多^[10,20]。总的来说各坡度等级土壤质地都偏砂。准格尔旗制定的退耕坡度标准(15°以上)是合理的,15°正是侵蚀加剧的临界值。准格尔旗 2000~2002 年退掉的坡耕地 15~20°占 60%,20°以上占 30%,也有一些是梁峁山顶,15°以下的占不到 10%。

表 4 不同坡度的土壤养分和粒径组成均值比较

Table 4 Comparison of averages on soil properties for different slopes						
坡度(°) Slope degree	有机质 SOM (g/kg)	全氮 TN (g/kg)	pH (CaCl ₂)	砂粒 SC(%)	粉砂粒 SiC(%)	粘粒 CC(%)
0~5(1)	5.89a	0.336a	9.09a	66.0a	15.2b	18.7a
6~10	3.40	0.173	9.25	85.9	2.8	11.4
11~15	5.84	0.289	9.18	66.7	14.4	19.0
6~15(2)	5.23a	0.260a	9.20a	71.5a	11.5b	17.1a
16~25	4.20	0.220	9.22	62.6	21.9	15.5
26~35	7.37	0.326	9.11	36.0	43.3	20.7
16~35(3)	5.39a	0.260a	9.18a	52.6b	29.9a	17.5a
F 值 F value	0.258	1.250	1.598	4.417*	7.709**	0.590

每一列有相同字母的值表明该组与其他组间的差异不显著($p<0.05$,Duncan 检验), $n=40$ Values in each column with the same letter are not significantly($p<0.05$,Duncantest) different among soil types, $n=40$

通过均值比较,0°~5°的土壤有机质含量和全氮含量都较高,pH 值较小,将近一半的样点分布在川地和阶地,可能有施肥的影响,土壤养分较高,另一些样点则分布在梁顶或坡上部,因为地势平坦,土壤养分不易流失可以得到保蓄。26~35°的土壤养分高值是因为样点多分布于阴坡,土地利用多为乔灌木。但土壤表层养分与坡度没有显著相关关系。

4.1.3 坡位与小流域土壤表层养分、质地的关系 本区地貌的特点是,地面坡度具有从梁峁顶部向坡下部增大的规律,小流域土壤侵蚀过程也因此呈现出从坡顶到坡下部增强的趋势,在坡中部基本到达了溯源侵蚀的部位,是坡面和沟谷的分界线,侵蚀明显加剧。在考察的样带上,梁顶(SM)坡度的平均值为 7°,坡上部(US)为 10°,坡中部(MS)为 14°,而坡下部(LS)为 21°,川台地(VF)为 3°。土壤表层养分表现出随坡位的下降而减少的趋势(图 5),梁顶的养分含量最高,坡中部土壤养分少、粘粒含量最少,这与坡中部严重的土壤侵蚀有关。由于沉积作用,坡下部和川台地的土壤养分状况也比坡中部要好得多。在很多研究中坡脚的土壤养分含量是比较高的^[4~6,21]。

方差分析表明,不同坡位间的土壤性状差异并不显著,只有粘粒含量在梁顶和坡中部之间有显著差别,梁顶部的粘粒含量是最多的(21.2%)。由于侵蚀沉积的作用,土壤表层砂粒含量在川台地最多(68.8%);坡上部较多(67.7%);而在坡下部最少

(54.9%),因为坡下部坡度大,侵蚀加剧,砂粒的含量少而粉砂粒的含量较多(27.7%)。

pH 值在坡下部具有较高的值,为 9.25,可能由于 CaCO_3 随水的淋洗沉积在坡脚积累下来,所以 pH 值在坡脚部位较高^[16,17]。

综合考虑中小地形条件景观立地类型可以划分为川台地养分富集区,坡中下部养分严重流失区(坡度 $>15^\circ$),坡梁缓坡地养分涵养区(坡度 $<15^\circ$)。坡向不同情况也不同,阴坡、半阴坡的养分条件要好于阳坡和半阳坡,可以在以上类型区划分阴坡、半阴坡亚区和阳坡、半阳坡亚区。

4.2 中小地形尺度下土地利用和土壤性状的关系

在中小地形尺度,土地利用是影响土壤性状的重要因子^[7]。调查样地的土地利用类型可以分为:农田(包括川台地和坡耕地),撂荒地,乔木林,灌木林,果园和天然草地 6 种类型。

该地区小流域土地利用的基本格局为:阴坡的梁顶部、坡上部、中部以油松林为主,坡下部较陡处以草地为主;阳坡坡下部或阶地以果园为主,坡面较缓处是坡耕地、撂荒地,梁顶风大干燥,成土较差以草地为主。阳坡坡面上也大量分布有柠条林,大部分为人工种植,与草地带状混植。柠条的抗旱性较好,根系分布深,在 1999~2001 年 3a 大旱中存活下来;柠条防风固沙的效果也很明显。沙棘林分布于坡面上与油松林等混交,沙棘是中生植物,抗旱性差^[22],坡面栽植的沙棘在 1999~2001 年 3a 大面积枯死,现多分布于沟道部位。沟道川坝地多为农田和杨树林。乔木林和灌木林多分布于梁顶部和坡中上部,而在坡下部则很少分布,坡下部的坡度较大是重要原因^[23]。

表 5 各土地利用类型土壤性状的均值比较

Table 5 Comparison of averages on soil properties for different land use types						
土地利用类型 Land use type	有机质 SOM(g/kg)	全氮 TN(g/kg)	pH	砂粒 SC(%)	粉砂粒 SiC(%)	粘粒 CC(%)
农田 Cropland	6.70	0.347	9.06	63.3	18.0	18.7
撂荒地 Fallow land	4.05	0.182	9.22	61.7	19.2	19.1
果园 Orchard	4.70	0.288	9.23	70.7	12.9	16.4
耕地 Cultivated land	5.67ab	0.300a	9.13ab	64.6b	17.1ab	18.3a
乔木林 Woodland	7.25a	0.338a	9.02b	59.3b	21.8a	18.9a
灌木林 Shrub land	3.62b	0.221a	9.26a	79.6a	6.3b	14.1b
草地 Grassland	4.92b	0.283a	9.24a	62.9b	18.2a	18.9a
非耕地 Non-cultivated land	5.49	0.290	9.16	65.8	16.5	17.7

每一列有相同字母的值表明该组与其他组间的差异不显著($p<0.05$,Duncan 检验), $n=40$ Values in each column with the same letter are not significantly($p<0.05$,Duncantest) different among soil types, $n=40$

土壤有机质含量是乔木林>农田>草地>果园>撂荒地>灌木林(表 5)。全氮含量的顺序是农田>乔木林>果园>草地>灌木林>撂荒地。乔木林的有机质和全氮积累高,土壤的团粒结构好。乔木林的 pH 值明显比较低,与乔木林土壤有高的有机质积累和相对较好的水分条件有关。农田和果园较高,可能有施肥培育土壤或豆类作物或牧草种植,如坡耕地上一般是草田轮作,种植紫花苜蓿(*Medicago sativa*)、沙打旺(*Astragalus adsurgens* Pall. cv. ‘Shadawang’)等豆科牧草,可以培肥土壤。撂荒地的养分条件差与其养分输出有关。灌木林的样地位于沙化黄土丘陵区,沙化和放牧的影响使植被退化严重,土壤养分最低,砂粒含量最高,粘粒含量最少。而沙棘林的全氮含量是很高的(0.55g/kg),柠条林的全氮含量很低(0.173g/kg),这与沙棘本身带有根瘤菌,具有肥地功效有关,柠条本身也带有根瘤菌,但它是深根系植物,表层的固氮作用较弱^①。草地在本区所处的立地条件一般较差,地带性草原植被已被破坏殆尽,土壤养分和质地状况较差。

为了比较人工管理和非人工管理所引起的土壤性状的差异,把土地利用类型归纳为耕地(人工管理)和非耕地(非人工管理),耕地包括农田、撂荒地和果园,非耕地包括乔木林、灌木林和草地。耕地的有机质稍高于非耕地,全氮几乎相等,非耕地和耕地的粒径组成差异不显著。该地区水土流失严重,沟川常为水土流失(特别是粗砂)的通道,耕地集中的川台地,也多粗砂沉积,土壤发育与耕作熟化不足,所以,耕地与非耕地的土壤养分和质地差异不大。

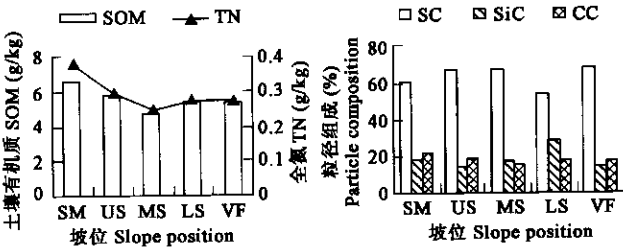


图 5 不同坡位的土壤养分(a)和粒径组成(b)的均值比较
Fig. 5 Comparison of averages on soil properties for different slope positions

① 何立环. 黄土高原北部丘陵区土地利用对生物多样性的影响——长川流域案例研究. 北京: 北京师范大学资源科学研究所, 2002

乔木林、灌木林、草地、耕地四种土地利用类型之间比较,乔木林的土壤有机质和 pH 与灌木林和草地有显著差异。耕地的土壤有机质和全氮的含量比乔木林稍低一些,比灌木林和草地都高。可以看出,土壤有机质与 pH 是相同的格局,砂粒含量、粉砂粒含量、粘粒含量有相同的格局。

5 结论与建议

5.1 结论

(1)总体上该流域的土壤养分含量低,质地较粗,土壤发育程度差。皇甫川流域 3 种主要土类性质的比较,风沙土类与栗钙土类和黄绵土类粒径组成存在显著差别,而养分的差异却不显著。

(2)根据母质类型、地貌条件和土壤侵蚀的强度,皇甫川流域可划分为三大类型区:砒砂岩丘陵沟壑区,黄土丘陵沟壑区和沙化黄土丘陵区。不同地质地貌类型区的土壤特性存在差异。黄土丘陵沟壑区的小流域比沙化黄土丘陵区 and 砒砂岩裸露丘陵沟壑区的小流域的土壤养分和质地好,相对较适于发展耕地。

(3)随着坡的向阳程度的减弱,土壤养分增加。土壤有机质在阴、阳坡有显著差异。阴坡土壤蒸发小,水分条件好,有利于植被的恢复和生长,土壤养分较高,pH 值较低,土壤团粒结构较好。阳坡土壤养分含量最少,pH 值最高。川地的养分含量较高,但土壤偏砂性。土壤的粒径组成和养分含量存在一定的相关关系。

(4)土壤砂粒和粉砂粒含量与坡度存在显著相关关系。坡度不同,侵蚀强度不同而造成土壤粒径组成的差异。在坡度小于 15°时,以细颗粒侵蚀为主,粉砂粒和粘粒含量少,坡度在 15°以上,侵蚀强度增加,粒径较大的颗粒流失;在 25°以上,粗颗粒侵蚀加剧,砂粒含量急剧减少,而粉砂粒含量相对较多。15°是侵蚀加剧的临界值,把它作为当地的退耕坡度标准是合理的。

(5)本区的地面坡度有从梁峁顶部向坡下部增大的规律,在坡中部基本到达了溯源侵蚀的部位,是坡面和沟谷的分界线,侵蚀明显加剧。土壤表层养分表现出随坡位的下降而减少的趋势。由于坡中部严重的土壤侵蚀,坡中部有机质、全氮和粘粒的含量最少而砂粒含量较多。因为沉积作用,坡下部的土壤养分和 pH 值较高,川台地的砂粒含量最多。方差分析表明土壤性状随坡位的变化不是很显著。

(6)综合考虑中小地形条件,景观立地类型可以划分为川台地养分富集区,坡中下部养分严重流失区(坡度>15°),坡梁缓坡地养分涵养区(坡度<15°)。坡面坡向不同情况也不同,可以在坡梁地和坡中下部划分阴坡、半阴坡亚区和阳坡、半阳坡亚区。

(7)各土地利用类型之间比较:乔木林的土壤条件最好,灌木林地受沙化和放牧的影响土壤养分低,砂粒含量最多,而粘粒含量最少,草地的土壤养分状况也较差。撂荒地的养分少而农田的养分较高。耕地与非耕地的土壤养分和质地差异很小。同时,土地利用的格局与中小地形条件也是紧密相关的。

5.2 建议

皇甫川流域是草地与农牧交错带生态系统重建机理及优化生态-生产范式设置的五大范式点之一。基于以上对该地区地质地貌、母质、土地利用等因子多尺度空间分异下,土壤性状及变化规律的研究,针对该范式点优化生态-生产范式的建立问题,建议如下:

砒砂岩裸露丘陵沟壑区以水土保持恢复植被为主(自然恢复+人工措施),应尽量避免耕作,减少入河泥沙量;沙化黄土丘陵区以防风固沙为主,应多种植固沙防沙的灌木林;黄土丘陵沟壑区土壤条件相对较好,可适当发展农田。

在流域横剖面上,土壤条件较好情况下(不包括砒砂岩裸露丘陵沟壑区)可按照如下模式进行土地利用的立体配置:

- (1)川台地基本农田区 川台地水肥条件好,可发展基本农田。
- (2)缓坡地果树、小杂粮种植区 小于 15°的梁峁地和坡上部可以种植小杂粮、豆类、油料作物或粮草间作等,阳坡背风向阳的地方可修建梯田种植果树增加收入。
- (3)坡地林灌草恢复区 大于 15°坡地以恢复植被、培肥土壤、保持水土为主,种植人工草地或林灌草混植。阴坡和半阴坡按照适宜比例营造乔灌木,乔木树种以油松为主;阳坡和半阳坡营造灌木林和草地。

References:

[1] Kosmas C, Danalatos N, Moustakas N, *et al.* The impacts of parent material and landscape position on drought and biomass production of wheat under semi-arid conditions. *Soil Technology*, 1993, **6**: 337~349.

[2] Aandahl A R. The characterization of slope positions and their influence on total nitrogen content of a few virgin soils of western Iowa. *Soil Science Society of America Journal*, 1948, **13**: 449~454.

[3] Ovalles F A, Collins M E. Soil-landscape relationships and soil variability in north central Florida. *Soil Science Society of America Journal*, 1986, **50**: 401~408.

[4] Pierson F B, Mulla D J. Aggregate stability in the Palouse region of Washington;effect of landscape position. *Soil Science Society of America Journal*, 1990, **54**: 1407~1412.

- [5] Taskin Oztas, Ali Koc, Binali Comakli. Changes in vegetation and soil properties along a slope on overgrazed and eroded rangelands. *Journal of Arid Environments*, 2003, **55**: 93~100.
- [6] Liu S L, Fu B J, Lv Y H, *et al.* Assessment of soil quality in relation to land use and landscape position on slope. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(3): 414~420.
- [7] Wang J, Fu B J, Qiu Y, *et al.* Soil nutrients in relation to land use and landscape position in the semi-arid small catchment on the loess plateau in China. *Journal of Arid Environments*, 2001, **48**: 537~550.
- [8] Wang X. Study of Sediment Source Calculation in Small Watershed in Pisha Rock Area Through Grain Size Analysis Method. *Soil and Water Conservation in China*, 2001, **1**: 22~24.
- [9] Tang Z H, Cai Q G, Li Z W, *et al.* Study on Interaction Among Wind Erosion, Hydraulic Erosion and Gravity Erosion in Sediment-Rock Region of Inner Mongolia. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, **15**(2): 25~29.
- [10] Jin Z P, Shi P J, Hou F C, *et al.* *Soil erosion system model and control pattern of Huangfuchuan Watershed in Yellow River*. Beijing: Oceanic Press, 1992.
- [11] Miao Z Y, *et al.* *Research corpus of comprehensive management about soil and water loss and the development of agriculture, forestry and pastoral of Huangfuchuan Watershed on the Loess Plateau*. Beijing: Chinese Agriculture Technology Press, 1992.
- [12] Regional Planning Office of Jungar Banner. Soil of Jungar Banner. Jungar Banner, Inner Mongolia, 1986.
- [13] Zhang X S. Principles and optimal models for development of MAOWUSU sandy grassland. *Acta Phytocologica Sinica*, 1994, **18**(1): 1~16.
- [14] Zhang X S. Ecological Restoration and Sustainable Agricultural Paradigm of Mountain-Oasis-Ecotone-Desert System in the North of the Tianshan Mountains. *Acta Botanica Sinica*, 2001, **43**(12): 1294~1299.
- [15] Fu B J, Chen L D, Ma K M, *et al.* *Theory and application of Landscape Ecology*. Beijing: Science Press, 2001.
- [16] Loess Plateau Integrated Survey group of Chinese Academy of Sciences. *Soil resources and its reasonable use on Loess Plateau*. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1991.
- [17] Nanjing University, Zhongshan University, Beijing University, *et al.* *The basis of soil science and soil geography*. Beijing: People's Education Press, 1980.
- [18] Loess Plateau Integrated Survey group of Chinese Academy of Sciences. *Natural environment and its change on the Loess Plateau*. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1991.
- [19] Cheng X F, Shi X Z, Yu D S, *et al.* Study on Soil Nutrient Status of Woodland in Hilly Region—A case study in Xinguo county of Jiangxi Province. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, **17**(2): 28~30.
- [20] Hu S X, Jin C X. Theoretical Analysis and Experimental Study on the Critical Slope of Erosion. *Acta Geographica Sinica*, 1999, **54**(4): 347~356.
- [21] Zheng J Y, Wu R J, Zhai L N. Distribution of Soil Fertility in Zhifang Gully Watershed of the Loess Hilly Region. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1996, **16**(4): 26~30.
- [22] Guo W H, Li B, Huang Y M, *et al.* Effects of different water stress on eco-physiological Characters of *Hippophae rhamnoides* seedlings in Huangfuchuan Watershed. *Acta Botanica Sinica*, 2003, **45**(10): 1238~1244.
- [23] Qiu Y, Fu B J, Wang J, *et al.* Spatio-temporal distribution of land use in relation to topography in a gully catchment of the Loess Plateau, China. *Journal of Nature Resources*, 2003, **18**(1): 20~29.

参考文献:

- [6] 刘世梁, 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. 生态学报, 2003, **23**(3): 414~420.
- [8] 王晓. 用粒度分析法计算砒砂岩区小流域泥沙来源的探讨. 中国水土保持, 2001, **1**: 22~24.
- [9] 唐政洪, 蔡强国, 李忠武, 等. 内蒙古砒砂岩地区风蚀、水蚀及重力侵蚀交互作用研究. 水土保持学报, 2001, **15**(2): 25~29.
- [10] 金争平, 史培军, 侯福昌, 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.
- [11] 苗宗义, 等. 黄土高原综合治理皇甫川流域水土流失综合治理农林牧全面发展试验研究文集. 北京: 中国农业科技出版社, 1992.
- [12] 准格尔旗区划办. 准格尔旗土壤. 内蒙古准格尔旗, 1986.
- [13] 张新时. 毛乌素沙地的生态背景及其草地建设的原则与优化模式. 植物生态学报, 1994, **18**(1): 1~16.
- [14] 张新时. 天山北部山地-绿洲-过渡带-荒漠系统的生态建设与可持续农业范式. 植物学报, 2001, **43**(12): 1294~1299.
- [15] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 景观生态学原理及应用. 北京: 科学出版社, 2001.
- [16] 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区土壤资源及其合理利用. 北京: 中国科学技术出版社, 1991.
- [17] 南京大学, 中山大学, 北京大学, 等. 土壤学基础与土壤地理学. 北京: 人民教育出版社, 1980.
- [18] 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区自然环境及其演变. 北京: 中国科学技术出版社, 1991.
- [19] 程先富, 史学正, 于东升, 等. 丘陵山区林地土壤养分状况研究——以江西省兴国县为例. 水土保持学报, 2003, **17**(2): 28~30.
- [20] 胡世雄, 靳长兴. 坡面土壤侵蚀临界坡度问题的理论与实验研究. 地理学报, 1999, **54**(4): 347~356.
- [21] 郑剑英, 吴瑞俊, 翟连宁. 黄土丘陵沟壑区小流域土壤养分的分布特征. 水土保持通报, 1996, **16**(4): 26~30.
- [23] 邱扬, 傅伯杰, 王军, 等. 黄土丘陵小流域土地利用的时空分布及其与地形因子的关系. 自然资源学报, 2003, **18**(1): 20~29.