

近 25 年延河流域土地利用/覆盖变化的时空特征

张文帅^{1,3}, 王飞^{1,2}, 穆兴民^{1,2}, 李锐^{1,2}, 何毅²

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学
水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要:基于 1980 年和 2005 年两期土地利用矢量数据,选取土地利用转移矩阵、土地利用动态度和重心转移 3 种方法对延河流域土地利用/覆盖时空变化特征进行了定量研究。结果表明:(1) 在近 25 a,延河流域森林和农田面积在数量上发生了大幅度的变化,以农田流向森林为主,然而草地和农田始终是流域主要的土地利用类型,二者所占比重之和在两个时期均在 87% 以上,加上森林三者所占比重达 99% 以上;(2) 25 a 内,延河流域仅有 3.89% 的土地资源发生了利用方式的变化,但聚落用地面积增加迅速,年均增加速率为 4.10%,主要靠占用农田和草地来实现;(3) 区域之间以及区域和整个流域之间的土地利用变化方向和变化速度不一致,其中安塞地区的各土地利用类型变化速度均大于全流域,这与安塞地区的社会经济活动比较活跃,土地利用变化总体较为剧烈息息相关;(4) 25 a 内,各种土地利用类型在空间上分布比较均匀,其中森林在空间上不断向上游、高海拔方向转移,而流域内水体的重心向流域下游迁移。

关键词:延河流域; 土地利用/覆盖; 时空变化

中图分类号:F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)05-0148-05

Spatio-temporal Characteristics of Land Use/Land Cover Change (LUCC) over the Past 25 Years in the Yan River Basin

ZHANG Wen-shuai^{1,3}, WANG Fei^{1,2}, MU Xing-min^{1,2}, LI Rui^{1,2}, HE Yi²

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water

Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F

University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Based on the two vector maps of land use and cover of 1980 and 2005 of Yan River Basin in the middle reaches of the Yellow River, the spatio-temporal land use and cover change (LUCC) was analyzed with methods of transition matrix, land use dynamic degree and barycenter transfer. The results showed as followings: (1) the areas of forests and cropland had significantly changed within the certain 25 years, and mainly from farmland to forestry, but the grassland and cropland were still the major part, accounting for 87% or more of the area. The areas of these three types of lands were more than 99% of that in the Yan River Basin; (2) only 3.89% of the total land changed, but the settlement land use area increased rapidly with an annual increase rate of 4.10%, of which mainly came from cropland and grassland; (3) the regional differences of LUCC were clear that the changing rate was greater in Ansai County than other counties induced by its active socio-economic activities; (4) the spatial characters of LUCC was quite even in the target region that the forests was shifted to the upper reaches and highland, and the barycenter of water bodies transferred to the lower reaches.

Key words: Yan River Basin; land use/land cover; spatio-temporal change

作为全球环境变化的重要组成部分和主要原因, 区域土地利用/覆盖变化 (land use and land cover change, LUCC) 研究已经成为当前的前沿和热点课题^[1]。目前,就“生态脆弱区”进行 LUCC 研究已被

收稿日期:2012-04-13

修回日期:2012-05-15

资助项目:国家自然科学基金资助项目“基于相同气候条件的人类活动对河流水沙影响定量评价:以黄土高原延河流域为例”(41171420);中国科学院重点部署项目“黄土高原及周边沙地近代生态环境的演变与可持续性”(KZZD-EW-04);欧盟第六框架计划项目“荒漠化防治与修复研究”(EU FP6.37046)

作者简介:张文帅(1984—),男,山西省平鲁区人,硕士研究生,研究方向为土地利用变化。E-mail:zws-5716@163.com

通信作者:王飞(1971—),男,陕西省卢县人,博士,副研究员,主要从事区域水土保持环境效应研究。E-mail:wafe@ms.iswc.ac.cn

众多学者所关注^[2-5],这不仅有利于人们对脆弱区的认识、揭示脆弱区的形成演变机制,更有助于揭示各种自然和人文因素对土地利用可持续性的影响^[6]。延河流域是黄土高原丘陵沟壑区的典型流域之一,其地表破碎、暴雨集中且强度大、黄土物质极易受到暴雨及径流侵蚀的自然特征使其生态系统具有强烈的不稳定性与脆弱性,对外界的干扰敏感性较强,再加上人为长期对土地资源的不合理开发和利用,流域土地退化和水土流失严重,生态环境不断恶化。

近几十年来,延河流域土地利用结构不断调整,生态环境恶化势头得到遏制。80 年代中后期的大农业结构调整、1994 年启动的延河水土保持世行贷款项目和 1999 年底实施的“退耕还林(草)、封山绿化、个体承包、以粮代赈”的生态退耕政策等一系列社会经济活动使得延河流域的土地利用发生了大幅度变化,水土流失治理和生态环境恢复取得了显著成效^[7-10]。从脆弱区的形成和演变到保护和改良,人类活动都扮演着非常重要的角色。因此,基于土地利用变化的角度,研究这几十年延河流域发生的人类活动情况,有着重要的现实意义。

目前,针对延河流域 LUCC 研究已经取得了很多成果^[11-13],但对近 25 a 的研究还相对较少。本研究对延河流域 1980—2005 年的土地利用/覆盖时空变化特征进行分析,以期正确把握延河流域这 25 a 来土地利用/覆盖变化的总体态势,为流域土地利用规划、管理和生态恢复提供科学依据。

1 研究区概括及数据资料

1.1 研究区概况

延河流域地处陕北黄土高原中部,位于 36°22′—37°20′N 和 108°39′—110°29′E,海拔 475~1 787 m,平均海拔 1 213 m,流域面积 7 685 km²,干流总长 286.9 km,属黄河中游一级支流,由西北向东南流经靖边县、志丹县、安塞县、宝塔区和延长县,最后在延长县南河沟乡凉水岸附近注入黄河。

本流域属大陆性气候,年降雨量 500 mm 左右,

年平均气温 9℃,但从西北向东南,气候、温度具有明显的梯度变化特征。流域内水土流失较为严重,水流、泥沙、地形条件复杂,黄土丘陵沟壑面积占全流域的 90%,其中延长以上为黄土梁峁状丘陵沟谷区,安塞至延长之间沿河一带为河阶地,延长以下为黄土宽梁残塬沟谷区,流域出口处为黄土覆盖石质丘陵沟谷区^[14]。

为了便于研究局地与全流域的土地利用变化特征差异,根据流域地貌水文特点,本文将延河流域按照行政单元划分为安塞地区(包括流域内的靖边县、志丹县和安塞县)、宝塔地区(流域内的宝塔区)和延长地区(流域内的延长县)3 个区域,详见图 1。

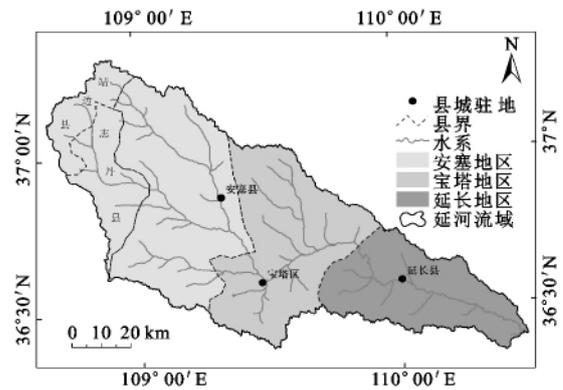


图 1 延河流域概况

1.2 数据资料

本文所使用的数据来源于“国家科学数据共享工程—地球系统科学共享网”的中国 1:25 万土地覆盖遥感调查与监测数据库,该数据是在全国 1:10 万土地利用数据和遥感分类数据的基础上,结合辅助资料、野外考察记录、遥感图像分析等,采用全数字作业方式共同完成的,定性准确率 80%~90% 以上(不同类型有差异)。数据内容包括森林、农田、草地、聚落、湿地与水体、荒漠 6 个一级类型和 25 个二级类型。本文从中提取了研究区 1980 年和 2005 年两期土地利用矢量数据,选用一级土地利用类型作为研究对象,其含义见表 1。此外还用到 30 m 分辨率的数字高程模型(DEM)数据。

表 1 土地利用/覆盖分类系统

一级类型	含义
森林	指郁闭度>30%,高度>2 m 的各类天然林和人工林地,包括郁闭度>40%,高度>2 m 灌丛和矮林
农田	指种植农作物的土地,包括熟耕地、新开荒地、休闲地、轮歇地、草田轮作地;以种植农作物为主的农果、农桑、农林用地;耕种 3 a 以上的滩地和滩涂
草地	指以生长草本植物为主,覆盖度在 5% 以上的各类草地,包括覆盖度<40%,灌丛高度<2 m 的灌丛草地
聚落	指城乡居民点、农村定居放牧点及县镇以外的工矿、交通等用地和其它建设用地
湿地与水体	指天然陆地水域和水利设施用地,包括植被覆盖度高的湿生草地以及地势平坦低洼、排水不畅、长期潮湿多积水且表层生长湿生草本植被的土地
荒漠	目前还未利用的土地、包括难利用的土地

2 研究方法

基于 1980 年和 2005 年两期土地利用矢量数据, 本文选取土地利用转移矩阵、土地利用动态度和重心转移 3 种方法定量研究延河流域土地利用/覆盖时空变化特征。

2.1 地类间转移矩阵

利用转移矩阵可以全面而又具体地刻画区域土地利用变化的结构特征与各用地类型变化的方向^[15]。转移矩阵的数学形式为:

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & \cdots & S_{2n} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & \cdots & S_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{n1} & S_{n2} & S_{n3} & \cdots & S_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: S ——变化面积; n ——土地利用的类型个数; i , j ——研究期初与研究期末的土地利用类型。

2.2 土地利用动态度

(1) 单一土地利用类型动态度。单一土地利用类型动态度表达的是某研究区一定时间范围内某种土地利用类型的数量变化情况^[16], 其表达式为:

$$K_T = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times 100\% \quad (2)$$

式中: K_T ——研究区研究时段内某一土地利用类型动态度; U_a, U_b ——研究期初和研究期末某一土地利用类型的面积。

(2) 综合土地利用动态度。相对于单一土地利用类型动态度, 综合土地利用动态度则表达的是某研究区一定时间范围内各种土地利用类型的综合变化情况, 也可以用来对比局部和全区、区域之间的土地利用变化。常用下式计算^[15]:

$$LC_T = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \Delta LU_{ij}}{\sum_{i=1}^n LU_i} \right) \times 100\% \quad (3)$$

式中: LC_T ——研究时段内研究区综合土地利用动态度; ΔLU_{ij} ——研究时段内 i 类土地利用类型转为非 j 类 (j 类, $j=1 \cdots n$) 土地类型的面积; LU_i ——研究初期 i 类土地利用类型的面积; n ——土地利用类型的个数。

(3) 相对变化率。区域某种土地利用类型的相对变化率是建立在全区该类型变化率(即单一土地利用类型动态度)基础上的, 用以分析研究区内特定土地利用类型变化的区域差异与特定类型变化的热点区域^[17]。其表达式为:

$$R = \frac{(K_b - K_a) \times C_a}{K_a \times (C_b - C_a)} \quad (4)$$

式中: R ——研究时段内某区域的相对变化率; K_a ,

K_b ——区域某种土地利用类型研究期初和研究期末的面积; C_a, C_b ——全区某种土地利用类型研究期初和研究期末的面积。

2.3 重心转移

区域土地利用空间变化的一个总体特征是类型重心的迁移, 这一特征可以用重心坐标的变化来反映^[15]。同时结合数字高程模型 (DEM), 可以把区域土地利用类型重心的转移方向和转移距离进行定量表达, 从而描述区域土地利用的空间变化及趋势。

本研究在传统的重心坐标计算方法上进行扩展, 加入高程坐标, 其数学形式为:

$$\begin{aligned} X_t &= \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ii} \times X_i)}{\sum_{i=1}^n C_{ii}} & Y_t &= \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ii} \times Y_i)}{\sum_{i=1}^n C_{ii}} \\ Z_t &= \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ii} \times Z_i)}{\sum_{i=1}^n C_{ii}} \end{aligned} \quad (5)$$

式中: X_t, Y_t, Z_t ——第 t 年某土地利用类型分布重心的经度、纬度和高程坐标; C_{ii} ——第 i 个小区该类型的面积; X_i, Y_i, Z_i ——第 i 个小区几何中心的经度、纬度和高程坐标。

3 结果与分析

3.1 土地利用数量和结构变化及转移特征

本文借助 ArcGIS 对两期土地利用图进行叠加分析, 输出转移属性表, 并在此基础上计算了地类间转移概率, 最后生成转移矩阵二维表(表 2)。

由表 2 和附图 11 可见, 1980—2005 年 25 a 内, 森林面积增加了 21 642.78 hm^2 , 其新增面积全部来源于农田和草地, 由这二者转化而来的比例分别为 17.92% 和 5.39%; 农田面积减少了 21 808.71 hm^2 , 大部分转变为森林和草地, 还有小部分转移到聚落和湿地水体。由此可见, 25 a 间延河流域退耕还林(草)、植树造林等生态保护政策取得显著成效, 大量农田退还为林草地, 森林面积大量增加, 同时城乡和水利工程建设等占用了少量农田。草地和湿地水体面积所占比重有微弱减少, 分别减少了 257.77 hm^2 和 439.14 hm^2 , 主要表现为人为开垦。聚落面积增加了 862.84 hm^2 , 其新增面积中, 由农田和草地转化而来的比例共占 48.40% (其中农田转来比例 30.55%, 草地 17.85%), 其余由森林和湿地水体转化而来, 可见流域在 25 a 内城乡、农宅及工矿建设用地的扩张主要靠占用农田和草地来实现; 荒漠面积没有发生变化。表 2 还说明, 聚落和荒漠没有向其它类型转移, 在一定程度上反映了这两种土地利用类型的转出限制性。

表 2 1980—2005 年延河流域土地利用变化的转移矩阵

土地利用 类型	2005 年							总计/hm ²	占有率/%
	森林/hm ²	农田/hm ²	草地/hm ²	聚落/hm ²	湿地水体/hm ²	荒漠/hm ²	总计/hm ²		
1980 年	71507.30	0.00	79.43	12.89	0.00	0.00			
森林									
B	99.87	0.00	0.11	0.02	0.00	0.00	71599.62	9.32	
C	76.69	0.00	0.02	0.76	0.00	0.00			
农田	16708.25	321789.08	5784.77	520.85	112.06	0.00			
B	4.84	93.30	1.68	0.15	0.03	0.00	344915.01	44.88	
C	17.92	99.59	1.66	30.55	4.79	0.00			
草地	5026.85	795.30	342022.47	304.38	0.00	0.00			
B	1.44	0.23	98.24	0.09	0.00	0.00	348149.00	45.30	
C	5.39	0.25	98.31	17.85	0.00	0.00			
聚落	0.00	0.00	0.00	842.11	0.00	0.00			
B	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	842.11	0.11	
C	0.00	0.00	0.00	49.39	0.00	0.00			
湿地水体	0.00	521.92	4.55	24.73	2229.13	0.00			
B	0.00	18.77	0.16	0.89	80.17	0.00	2780.33	0.36	
C	0.00	0.16	0.00	1.45	95.21	0.00			
荒漠	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	251.85			
B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	251.85	0.03	
C	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00			
总计	93242.39	323106.30	347891.23	1704.96	2341.19	251.85	768537.92	100.00	
占有率/%	12.13	42.04	45.27	0.22	0.30	0.03	100.00		

注: B_{ij} 表示初期 i 种土地利用类型转变为末期 j 种土地利用类型的比例; C_{ij} 表示末期 j 种土地利用类型由初期 i 种土地利用类型转化而来的比例; 占有率表示某种土地利用类型面积占所有类型总和的比例。

综上,自 1980 年以来延河流域土地利用在数量上发生大幅度变化,然而流域土地利用结构总体上没有发生较大变化,表现为“稳中小变”,草地和农田始终是该流域的主要土地利用类型,这两种用地类型分别占流域总面积的比例在两个时期均在 42% 和 45%

以上;其次是森林用地,三者加起来所占比重达 99% 以上;而其它土地利用类型都仅占很小比例。

3.2 土地利用动态度和区域差异

通过(2)—(4)式计算得出 1980—2005 年延河流域土地利用动态度(表 3)和各区域相对变化率(表 4)。

表 3 延河流域区域和全流域土地利用动态度

研究范围	森林	农田	草地	聚落	湿地水体	荒漠	综合土地利用动态度
安塞地区	92.00	-8.52	-0.68	125.21	-56.11	0.00	4.88
宝塔地区	12.11	-2.53	-1.62	99.73	3.80	0.00	2.38
延长地区	10.53	-7.68	3.52	89.77	1.13	*	3.72
全流域	30.23	-6.32	-0.07	102.46	-15.79	0.00	3.89

注: * 表示该区域没有对应土地利用类型。

表 4 延河流域各区域相对变化率

区域	森林	农田	草地	聚落	湿地水体	荒漠
安塞地区	3.04	1.35	9.22	1.22	3.55	—
宝塔地区	0.40	0.40	21.91	0.97	-0.24	—
延长地区	0.35	1.21	-47.53	0.88	-0.07	—

表 3 表明,25 a 内,延河流域仅有 3.89% 的土地资源发生了利用方式的变化,但聚落用地增加迅速,动态度达到 102.46%,年均增加速率为 4.10%,可见人口的增加、城镇化的推进等原因使得流域内聚落用地面积在 25 a 内翻了一番;森林用地面积增加速度也

很快,动态度为 30.23%,年均增加速率为 1.21%。与聚落和森林用地变化趋势相反,流域内农田、草地和湿地水体用地面积不断减少,减少速度大小排列为:湿地水体 > 农田 > 草地。

由表 3 和表 4 可知,在地类变化方向和变化速度上,区域之间、区域与整个流域之间存在差异。首先,安塞地区的各种土地利用类型相对变化率均大于 1,而且其综合土地利用动态度大于整个流域,这反映了安塞地区各种土地利用类型变化速度均大于整个流域且变化方向一致;其次,各区域之间某些土地利用类型变化方向和变化速度不一致,整个流域该类用地

的变化方向与占主导地位的区域的变化方向一致。比如 25 a 内宝塔和延长地区湿地水体面积有所增加,但由于其相对变化率的绝对值均小于 0.3,而安塞地区的湿地水体大量减少,其相对变化率达 3.55,增加量被减少量抵消,使得整个流域的湿地水体快速减少,动态度达 -15.79%。最后,就森林、农田和聚落 3 类用地而言,各区域和整个流域的变化方向保持一致,其中森林面积增加主要分布在安塞地区,农田面积减少主要分布在安塞和延长地区。由以上分析可知,安塞地区的社会经济活动比较活跃,土地利用变化总体较为剧烈,对整个流域的土地利用变化起着至关重要的作用。

3.3 空间变化和重心转移

通过(5)式计算得延河流域的各土地利用类型重心坐标(表 5)。由表 5 可知,各种土地利用类型重心在水平方向上集中分布于延河流域中部区域,垂直方向上,除湿地水体重心较低外,其它地类重心都非常接近流域平均海拔。由此可见,各种土地利用类型在空间上分布比较均匀。25 a 内,草地和农田重心向南偏东方向有微小迁移,而森林和湿地水体在水平方向发生了较大迁移,其中森林向北偏西方向迁移了 10 442.05 m,湿地水体向东偏南方向迁移了 12 820.11 m,聚落的重心迁移趋势呈北偏东向,迁移距离为 2 223.47 m;同时在垂直方向上,森林和聚落分别抬升了 48.92 m 和 27.36 m,而农田、草地和湿地水体分别下降了 11.24,31.10 m 和 60.79 m。可见 25 a 内森林在空间上不断向上游、高海拔方向转移,而流域内陆地表面水资源水位下降,重心向流域出口处迁移。

表 5 1980 年和 2005 年延河流域各土地利用类型重心坐标

土地利用类型	年份	X/(°)	Y/(°)	Z/m
森林	1980	109.62	36.62	1181.17
	2005	109.54	36.69	1208.53
农田	1980	109.43	36.78	1168.33
	2005	109.44	36.78	1157.09
草地	1980	109.36	36.82	1245.29
	2005	109.37	36.81	1214.19
聚落	1980	109.47	36.62	1012.24
	2005	109.48	36.63	1061.16
湿地水体	1980	109.66	36.68	951.14
	2005	109.79	36.63	890.35
荒漠	1980	109.37	36.61	1181.22
	2005	109.37	36.61	1181.22

注: X、Y 和 Z 分别表示经度、纬度和高程。

4 结论

(1) 延河流域在近 25 a 内,森林和农田面积在数量上发生了大幅度的变化,以农田退还为林草地为主;流域土地利用结构“稳中小变”,草地和农田始终是流域主要土地利用类型,二者所占比重之和在两个时期均在 87% 以上,加上森林三者所占比重达 99% 以上。

(2) 25 a 内,延河流域仅有 3.89% 的土地资源发生了利用方式的变化,但聚落用地面积增加迅速,森林次之,聚落年均增加速率为 4.10%,主要靠占用农田和草地来实现;其他地类面积不断减少,减少速度大小顺序为:湿地水体>农田>草地。

(3) 区域之间以及区域和整个流域之间的土地利用变化方向和变化速度不一致;安塞地区的各土地利用类型变化速度均大于全流域,安塞地区的社会经济活动比较活跃,土地利用变化总体较为剧烈,对全流域的土地利用变化起着至关重要的作用。

(4) 25 a 内,各种土地利用类型在空间上分布比较均匀,其中森林在空间上不断向上游、高海拔方向转移,而流域内水体的重心向流域下游迁移。

参考文献:

- [1] Turner II B L, Skole D, Sanderson S, et al. Land-use and Land-cover Change Science/Research Plan [R]. HDP Report No. 7, 1995.
- [2] 康慕谊,江源,石瑞香. NECT 样带 1984—1996 土地利用变化分析[J]. 地理科学, 2000, 20(2): 115-120.
- [3] 郭丽英,刘彦随,任志远. 生态脆弱区土地利用格局变化及其驱动机制分析:以陕西榆林市为例[J]. 资源科学, 2005, 27(2): 128-133.
- [4] 陈攀攀,毕华兴,陈智汉,等. 50 年来黄土高原沟壑区典型小流域土地利用动态变化及其驱动力分析[J]. 中国水土保持科学, 2010, 8(1): 71-76.
- [5] 伍飞舟,杨卓,牛健植,等. 黄土高原丘陵沟壑区土地利用与水土保持措施的变化特征[J]. 水土保持研究, 2010, 17(2): 10-14, 19.
- [6] 于兴修,杨桂山. 中国土地利用/覆被变化研究的现状与问题[J]. 地理科学进展, 2002, 21(1): 51-57.
- [7] 谢红霞,杨勤科,李锐,等. 延河流域水土保持措施减蚀效应分析[J]. 中国水土保持科学, 2010, 8(4): 13-19.
- [8] 李进鹏,王飞,穆兴民,等. 延河流域土地利用变化对其生态服务价值的影响[J]. 水土保持研究, 2010, 17(3): 110-114.
- [9] 张志国,卫建军. 退耕还林(草)对延河下游流域生态系统服务的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(3): 737-740.

(下转第 157 页)

3 结论

(1) 研究区土壤有效微量元素含量属于极低水平。不同恢复年限条件下,铁元素的变异系数属于高度变异,铜、锰和锌元素等属于中度变异;而矸石场不同恢复方式条件下,锰元素属于高度变异,铜与铁元素属于中度变异,而锌元素属于小变异。

(2) 研究区土壤环境整体呈碱性,不同样点上的pH值在8.5以上,且变异系数较小,属于小变异。而土壤有机质无论是在不同恢复年限条件下,还是在不同治理措施条件下,其变异系数均属于高度变异。

(3) 土壤pH值与土壤有效微量元素呈负相关关系,有效锰、有效铜与土壤pH值的相关性较高;土壤有机质与土壤有效微量元素呈正均关,其中有效锌、有效铜与土壤有机质含量的相关性较高。

参考文献:

[1] 张秀芝, 鲍征宇, 马忠社, 等. 土壤生态系统微量元素的生物有效性研究现状[J]. 地球与环境, 2006, 34(3): 15-22.

[2] 姜勇. 森林生态系统微量元素循环及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2009, 20(1): 197-204.

[3] 朱先进, 宇万. 农田生态系统微量元素循环研究进展[J]. 土壤通报, 2009, 40(4): 962-966.

[4] Thornton I. Impacts of mining on the environment: some local, regional and global issue[J]. Applied Geochemistry, 1996, 11(1/2): 355-361.

[5] Ge Y, Murray P, Hendershot W H. Trace metal speciation and bioavailability in urban soils[J]. Environmental Pollution, 2000, 107(1): 137-144.

[6] Jeffrey G W, Robert J Z. Mapping soil micronutrients[J]. Field Crops Research, 1999, 60(1): 11-26.

[7] Maiz I, Arambarri I, Garcia R, et al. Evaluation of heavy metal availability in polluted soils by two sequential extraction procedures using factor analysis[J]. Environmental Pollution, 2000, 110(1): 3-9.

[8] 葛晓立, 李家熙, 万国江, 等. 张家口克山病地区土壤硒的地球化学形态研究[J]. 岩矿测试, 2000, 19(4): 1-5.

[9] Chlopecka A. Assessment of form of Cd, Zn and Pb in contaminated calcareous and gleyed soils in Southwest Poland[J]. The Science of the Total Environment, 1996, 188(2/3): 253-262.

[10] Kabata-Pendias A. Soil-plant transfer of trace elements: an environmental issue[J]. Geoderma, 2004, 122(2/4): 143-149.

[11] 赵翠翠, 南忠仁, 刘晓文, 等. 绿洲农田土壤主要微量元素的影响因素及分布特征研究: 以张掖甘州区和临泽县为例[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(10): 127-132.

[12] 李文先. 从新疆耕地土壤微量元素含量展望施肥的应用[J]. 干旱区研究, 1985(2): 8-15.

[13] 马媛, 师庆东, 杨建军, 等. 干旱区典型流域土壤微量元素的空间变异特征研究[J]. 干旱区地理, 2006, 29(5): 682-687.

[14] 吴彩霞, 傅华, 裴世芳. 不同草地类型土壤有效态微量元素含量特征[J]. 干旱区研究, 2008, 25(1): 137-144.

(上接第152页)

[10] 胡明, 马继东. 安塞县土地利用变化与经济的关系[J]. 水土保持研究, 2008, 15(1): 182-185.

[11] 刘京. 基于RS与GIS的土地利用/覆盖及其生态环境质量评价: 以黄土高原延河流域为例[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2002.

[12] 朱恒峰, 赵文武, 康慕谊, 等. 延河流域土地利用格局时空变化与驱动因子分析[J]. 干旱区资源, 2008, 22(8): 17-22.

[13] 冉圣宏, 张凯, 吕昌河. 延河流域土地利用/覆被变化模型的尺度转换方法[J]. 地理科学进展, 2010, 29(11):

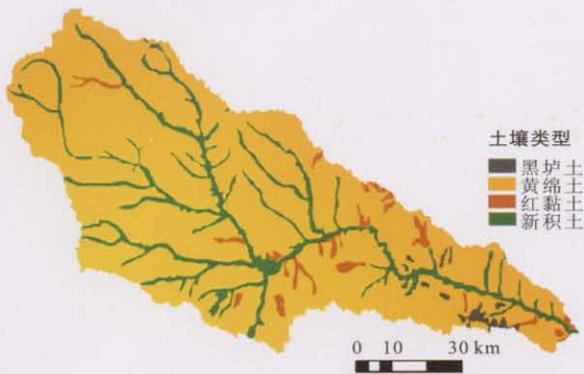
1414-1419.

[14] 李传哲, 王浩, 于福亮, 等. 延河流域水土保持对径流泥沙的影响[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(1): 1-8.

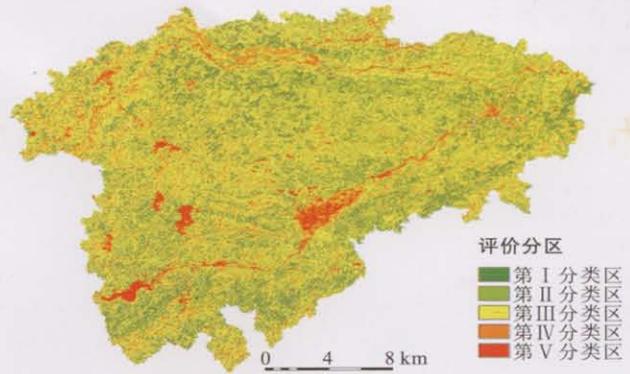
[15] 朱会义, 李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论[J]. 地理学报, 2003, 58(5): 643-650.

[16] 程磊, 徐宗学, 罗睿, 等. 渭河流域1980—2000年LUCC时空变化特征及其驱动力分析[J]. 水土保持研究, 2009, 16(5): 1-6, 30.

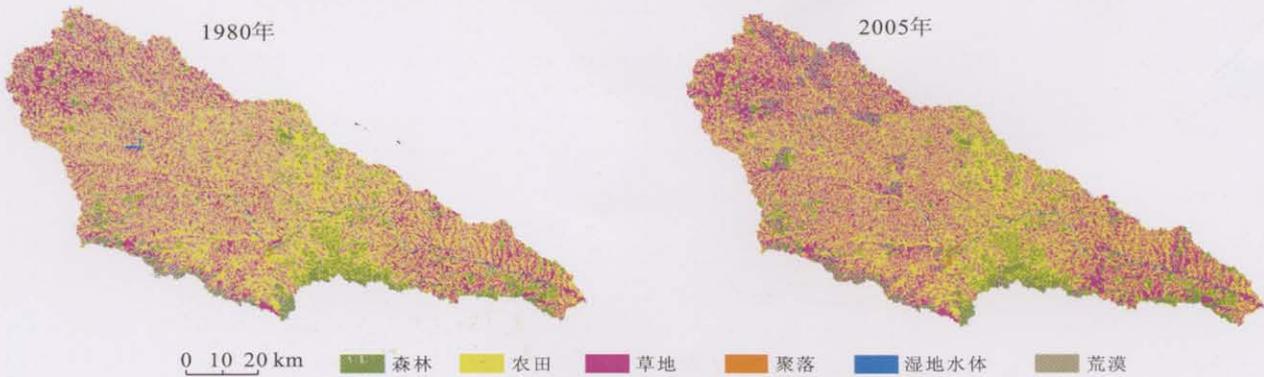
[17] 朱会义, 李秀彬, 何书金, 等. 环渤海地区土地利用的时空变化分析[J]. 地理学报, 2001, 56(3): 253-260.



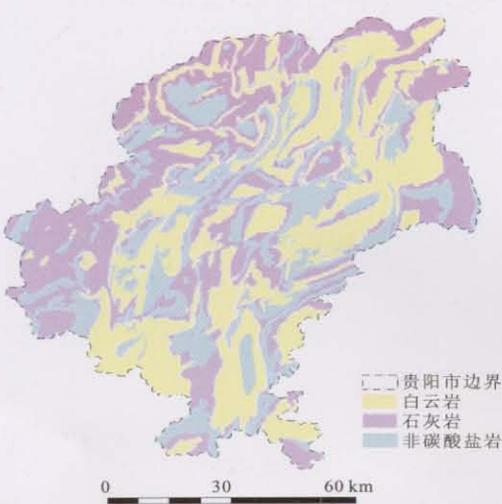
附图9 延河流域土壤类型



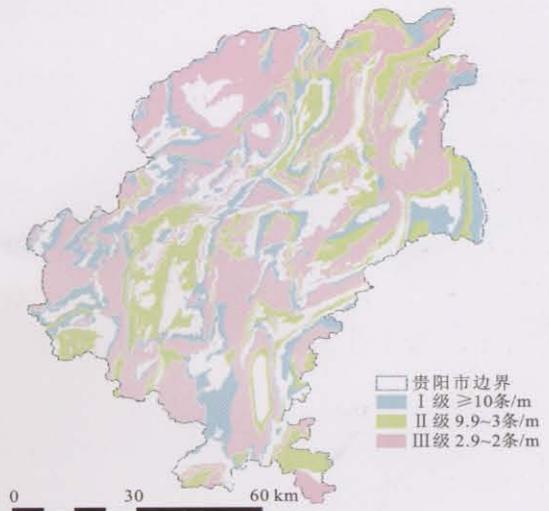
附图10 蒲江县生态环境综合评价



附图11 1980年和2005年延河流域土地利用现状



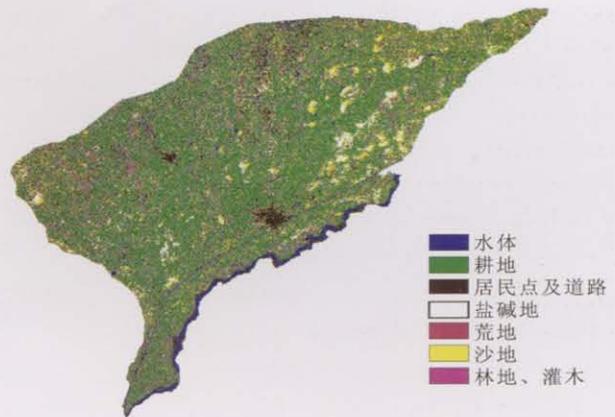
附图12 贵阳市碳酸盐岩分布



附图13 贵阳市层间节理频度分布



附图14 内蒙古河套灌区TM影像波段534波段叠加结果



附图15 内蒙古河套灌区土地利用分类