

陕北黄土高原土地利用/覆盖变化及生态效应评价

王耀宗¹, 常庆瑞¹, 屈佳¹, 孟庆香^{2,3}

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 河南农业大学 资源环境学院, 河南 郑州 450002)

摘要: 基于1997年和2006年两期遥感影像获得陕北黄土高原地区土地利用变化数据, 结合RS和GIS技术, 对陕北黄土高原土地利用/覆盖变化特征进行了分析。并采用生态服务价值的方法对陕北黄土高原土地利用变化的生态效应进行了综合评价。结果表明, 1997—2006年, 陕北黄土高原利用类型发生了显著变化, 该区50.37%的耕地转换为林地和草地, 总体生态服务价值量显著增加 7.67×10^6 元, 年增长率为0.2%, 整体生态环境指数有所提高从0.145增长到0.157, 土地利用/覆盖变化整体生态贡献指数变化明显, 整体贡献指数为1.239, 生态环境质量明显改善, 表明退耕还林以来陕北黄土高原地区整体生态环境向着健康方向发展。

关键词: 土地利用/覆盖变化; 遥感; GIS; 生态系统服务价值

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)04-0134-04

中图分类号: X171.4

Assessment on Ecological Effects of Land Use/ Cover Changes on the Loess Plateau of North Shaanxi Province

WANG Yao-zong¹, CHANG Qing-rui¹, QU Jia¹, MENG Qing-xiang^{2,3}

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. College of Resources and Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002, China)

Abstract: Based on the land use change data obtained from TM images in 1997 and 2006, the land use/ cover changes on the Loess Plateau of North Shaanxi Province were studied and ecological effects of land use/ cover changes were evaluated with the help of RS and GIS technologies. Results showed that land use patterns changed considerably during the period from 1997 to 2006. 50.37% of farmland was transferred into woodland and grassland and the total ecosystem service value was increased by 7.67×10^6 yuan, with the annual increase of 0.2%. The overall environmental quality index was increased from 0.145 to 0.157. The index of eco-contribution of land use and land cover changed remarkably and the overall eco-contribution index was 1.239. The environmental ecological quality has been improved, which means that the ecosystem in the area tends to develop healthily on the Loess Plateau of North Shaanxi Province with the development of the conversion of farmland to forest project.

Keywords: land use and land cover change; remote sensing; GIS; ecosystem service value

土地利用/覆盖变化(LUCC)研究是当今国际全球变化研究中的前沿和热点^[1-2]。在我国,土地利用/覆盖变化研究是所有可持续发展相关问题的核心,具有突出现实意义^[3]。

陕北黄土高原是水土流失的重点区域,也是水土保持投资强度最强的地区之一。随着退耕还林还草工程的实施,土地利用类型转变,区域植被覆盖面积

增加,对区域土地利用/覆盖(LUCC)形成重大影响^[4],遏制了区域生态环境的恶化。退耕还林还草直接改变土地利用/覆盖(LUCC),对不合理的土地利用方式进行调整^[5]。因此,从土地利用/覆被和生态系统服务价值角度综合考虑,对陕北黄土高原退耕还林前后的生态效应的变化进行分析,以达到对其生态环境质量变化的评价。

收稿日期: 2009-11-21

修回日期: 2010-03-19

资助项目:“十一·五”国家科技支撑计划项目(2006BAD03A0308; 2006BAD09B0603)

作者简介:王耀宗(1985—),男(汉族),河南省郑州市人,硕士研究生,主要从事环境遥感监测与地理系统应用方面的研究。E-mail: wangyao-zong414@163.com。

通讯作者:常庆瑞(1959—),男(汉族),陕西省子洲县人,教授,博士生导师,主要从事资源环境与3S技术应用研究。E-mail: changqr@nwsuaf.edu.cn。

1 研究区概况

1.1 研究区概况

陕北黄土高原位于整个黄土高原中部, 陕西省的北部, 东经 $107^{\circ}28'$ — $110^{\circ}31'$, 北纬 $35^{\circ}43'$ — $39^{\circ}34'$, 东隔黄河峡谷与晋西黄土高原相望, 西以子午岭与陇东黄土高原为界, 南与关中盆地毗邻, 北与鄂尔多斯高原连接, 总土地面积约为 $8.0 \times 10^4 \text{ km}^2$, 约占陕西全省面积的 40%。陕北黄土高原属于我国东部季风区温暖带半湿润区, 大陆型季风气候, 气温变化剧烈, 降雨变率大, 年平均气温 8°C ~ 12°C , 年平均降水量 350~600 mm; 地带性植被南部为暖温带落叶阔叶林, 北部为暖温带森林草原与干草原^[6-7]。

自 1999 年退耕还林实施年来, 该区域内林草覆盖率已由 1997 年的 38% 提高到 2005 年的 45%, 各治理区已初步形成农、林、牧全面发展, 粮、果、林、草合理配置, 沟、坡、源、峁综合治理的新格局^[8]。

1.2 数据来源及处理

本研究所使用的数据为陕北 1997 年和 2006 年的 TM 影像, 两期影像时相均为夏季。其中 TM 第 6 波段分辨率为 120 m, 其余波段为 30 m, 扫描宽度 185 km。首先对两期影像进行配准和几何校正, 均方根误差控制在一个象元内; 再参照已有的 TM 影像波段组合方法进行假彩色合成, 并对影像进行空间和光谱增强处理, 增强图像目视效果; 参照《土地利用现状》分类标准^[9], 结合生态系统类型和陕北黄土高原土地利用现状, 将土地利用类型划分为耕地、草地、林地、居民地、水体和未利用地 6 大类, 然后通过非监督分类和专家经验相结合, 得到陕北黄土高原 1997 年和 2006 年土地利用分类图(附图 11—12)。

2 研究方法

2.1 土地利用/覆盖转移矩阵

土地利用/覆盖的变化首先反映在各土地利用类型面积的变化上, 通过分析可以了解土地利用变化态势和土地利用结构的变化^[10]。在 ArcGIS 软件的支

持下, 对研究区域 1997 年和 2006 年土地利用图进行空间叠加分析计算出 1997—2006 年土地利用类型转移矩阵(表 1)。

表 1 1997—2006 年土地利用类型转移矩阵 %

类型	耕地	林地	草地	居民地	水体	未利用地
耕地	47.57	4.66	45.71	0.17	0.12	1.77
林地	2.52	74.95	21.54	0.03	0.01	0.95
草地	20.66	8.90	67.60	0.11	0.10	2.63
居民地	21.95	2.54	24.13	49.33	0.88	1.16
水体	25.94	3.78	31.88	1.34	34.12	2.94
未利用地	8.46	7.18	27.53	0.07	0.14	56.63

注: 行表示 1997 年土地利用类型 i 转变为 2003 年土地利用类型 j 的面积占 i 类型面积的比例。

2.2 土地利用变化的生态环境效应评价

2.2.1 生态服务价值评价方法

生态系统服务功能是人类从生态系统中获得的效益, 是生产与形成生物资源价值的环境, 目前采用生态服务价值将其量化^[5]。估算方法为:

$$ESV = \sum_{i=1}^n A_i VC_i \quad (1)$$

式中: ESV ——研究区内生态系统服务总价值; A_i ——研究区第 i 中土地利用类型的面积; VC_i ——生态价值系数, 即单位面积第 i 种土地利用类型的生态服务价值。

国内外众多学者通过不同方法对生态系统服务价值进行了评估研究, 谢高地等^[10]结合国内具体情况计算得到的中国不同陆地生态系统单位面积生态服务表, 得到普遍认可。结合研究区实际情况, 按照耕地对应农田, 林地对应森林, 未利用地对应难利用地原则; 居民地按照 Costanza 等^[11]的方法, 对其生态系统服务功能价值不做估算, 从而获得黄土高原生态系统单位面积生态服务表。为了便于指标计算分析, 对各土地利用类型的生态服务价值系数在 $[0, 1]$ 区间内赋值, 鉴于湿地的生态服务价值系数最高, 赋值 1.0, 其它土地利用类型依据生态服务价值系数比例关系确定, 从而得到不同土地利用类型的相对生态价值(表 2)。

表 2 黄土高原不同土地利用类型相对生态价值

土地利用类型	湿地	耕地	林地	草地	水体	未利用地	居民地
生态服务价值系数/ (元·hm ⁻² ·a ⁻¹)	55 489.0	6 114.3	19 334.0	6 406.5	40 676.4	371.4	0
相对生态价值	1.000	0.110	0.348	0.115	0.733	0.007	0

2.2.2 区域生态环境指数

综合考虑各土地利用类型具有的单位面积相对生态价值及相应面积比例, 用以定量表征某一区域生态环境质量总体状况, 求得不同时期土地利用类型的区域生态环境指数 EV_t ,

其表达式为:

$$EV_t = \sum_{i=1}^n K_i C_i / A \quad (2)$$

式中: K_i ——区域 t 时期第 i 种土地利用类型所具有

的面积; C_i ——区域 t 时期第 i 种土地利用类型所具有的相对生态价值; A ——研究区总面积; n ——区域内所具有的土地利用类型数量。

2.2.3 土地利用类型转换的生态贡献指数 每一种土地利用变化类型体现了一种生态价值流,使得区域内某一局部生态价值升高或降低^[12]。生态贡献率指某一种土地利用类型变化所导致的区域生态环境质量的改变,其表达式为

$$LEI = (C_j - C_i) LA_{i-j} / LA \quad (3)$$

式中: LEI ——生态贡献指数; C_i, C_j ——分别为 i, j 种土地类型所具有的相对生态价值; LA_{i-j} ——研究时段由第 i 种土地利用类型变化为第 j 种类型的面积; LA ——研究区总面积。

2.2.4 敏感性分析方法 生态环境敏感度是综合评价区域生态环境质量、人口负荷、土地利用程度及经济发展状况的综合性指标,是区域生态系统在人类活动影响下发生变化的潜在可能性及程度^[12]。张国志等^[13]在研究中借用敏感性指数确定生态服务价值随时间变化对生态系统价值系数变化的依赖程度,以此来验证生态系统类型对于各土地覆盖类型的代表性和生态价值系数的准确性。

本研究采用上调 50% 各土地利用类型的生态价值系数来计算生态敏感性指数 CS ,从而分析生态服务价值 ESV 对生态价值系数 VC 的敏感程度。公式如下:

$$CS = \left| \frac{(ESV_j - ESV_i) / ESV_i}{(VC_{jk} - VC_{ik}) / VC_{ik}} \right| \quad (4)$$

式中: CS ——敏感指数; ESV ——区域生态系统服务价值; VC ——生态价值系数; VC_i, VC_j ——初始时期与调整后生态价值系数; k ——各土地利用类型。

若 $CS > 1$,则说明 ESV 对 VC 的变化是富有弹性的,是关键的,研究结果可信度较低;反之,则说明缺乏弹性,即研究结果是可信的。

3 结果与分析

3.1 土地利用/覆盖变化特征

结合附图 11—12,分析陕北黄土高原 1997—2006 年土地利用类型转移矩阵(表 1),可以得出一些结论。

(1) 耕地和未利用地的流向主要是转换为林地和草地。9 a 来分别有 50.37% 的耕地和 34.71% 的未利用地转换为林地和草地,退耕还草还林工程是区域土地利用类型改变的主要原因;(2) 林草地之间相互转化。这一时期内有 21.54% 的林地转换为草地,同时有 8.9% 的草地转换为林地,林地向草地的转换比例高于草地向林地的转换比例,但由于草地的总面积比较大,两者的转化面积相差不大;(3) 林地和未利用荒地小部分转换为耕地类型。9 a 来有 2.52% 的林地流向耕地,少于耕地向林地类型的转换,毁林开垦行为得到有效遏制,同时有少部分荒草地被利用为耕地;(4) 居民地和水体的流向基本一致,除部分转换为耕地和林草地,其余大部相对稳定。

3.2 生态效应分析

3.2.1 整体生态效应分析 根据表 2 中的区域生态价值服务系数系数和相应生态价值,结合陕北黄土高原地区的两期土地利用类型面积,利用公式(1)和公式(2)计算出区域 1997—2006 年生态服务价值总量和生态环境指数(表 3)和各土地利用类型的指标比例关系(图 1)。

表 3 陕北黄土高原 1997—2006 年生态服务价值与环境指数

地类	1997 年			2006 年		
	面积/km ²	生态价值总量 $ESV / (10^8 \text{元} \cdot \text{a}^{-1})$	生态环境指数 $EV / \%$	面积/km ²	生态价值总量 $ESV / (10^8 \text{元} \cdot \text{a}^{-1})$	生态环境指数 $EV / \%$
耕地	23 983.5	146.64	0.033	19 380.5	118.50	0.027
林地	15 828.1	306.02	0.059	16 416.0	317.39	0.072
草地	33 574.0	215.09	0.048	38 868.0	249.01	0.056
居民地	67.2	0	0	126.0	0	0
水体	450.8	18.34	0.004	228.2	9.28	0.002
未利用地	5 964.8	2.22	0.001	4 849.7	1.80	0
总计	79 868.3	688.31	0.145	79 868.3	695.98	0.157

从表 3 和图 1 可以看出:(1) 1997—2006 年陕北黄土高原生态服务价值总量从 6.88×10^0 元增长到 6.96×10^{10} 元,增长了 7.67×10^6 元,年增长率为 0.2%;(2) 9 a 间耕地面积减少了 $4 063 \text{ km}^2$,生态系统服务价值因此减少了 2.81×10^9 元,生态环境指数

下降了 0.006;(3) 林地、草地面积比例增幅很大,分别增加了 587.9 和 $5 294 \text{ km}^2$,生态服务价值增加了 1.14×10^9 元和 3.39×10^9 元,生态环境指数提高了 0.013 和 0.008,两者对整体生态服务价值和生态环境指数起着重要作用;(4) 耕地面积比例减少,引起

生态服务价值和生态环境指数一定程度的降低; (5) 整体生态环境指数从 0.145 增长到 0.157, 退耕还林以来研究区整体生态环境向着健康方向发展。

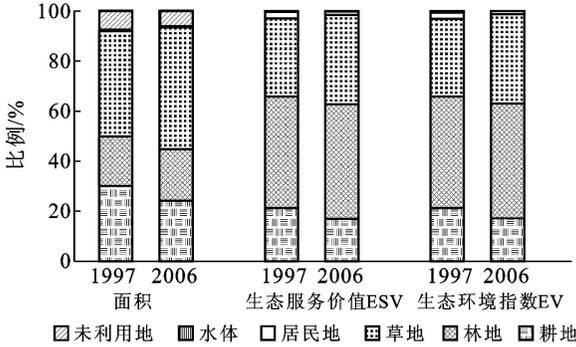


图 1 研究区不同时期各土地利用类型面积、生态服务价值和环境指数比例

3.3.2 土地利用/覆盖变化的生态贡献指数 根据公式(3), 并结合陕北黄土高原 1997—2006 年各土地

利用类型的转换量, 分别计算得出区域各土地利用/覆盖转换类型的生态贡献指数(表 4)。从表 4 可以看出, 陕北黄土高原土地利用/覆盖转换类型的生态贡献指数中, 区域生态环境改善的贡献指数明显高于生态环境退化的贡献指数, 高出约 246%, 整体生态贡献指数为 1.239。表明随着土地利用/覆盖的变化, 生态环境质量有一定提高, 退耕还林和防护林建设是改善区域生态环境的主要驱动因子。

3.3.3 敏感性分析 通过公式(4) 计算得到(表 5) 陕北黄土高原个土地利用类型的生态系统服务价值敏感指数。

从表中看出各年份不同土地利用类型的敏感性指数 CS 值均小于 1, 可见赋予土地利用类型生态服务价值系数大小对于总生态服务价值影响不大。表明生态服务价值 ESV 对生态服务价值系数 VC 的变化是缺乏弹性的, 因此研究结果是可信的。

表 4 土地利用/覆盖转变类型及生态贡献指数

区域生态环境改善的转换类型			区域生态环境退化的转换类型		
土地利用转换类型	转换面积/km ²	生态贡献指数/%	土地利用转换类型	转换面积/km ²	生态贡献指数/%
耕地→林地	1 117.63	0.333	林地→耕地	398.87	-0.119
耕地→草地	10 962.86	0.069	草地→耕地	6 936.39	-0.043
草地→林地	2 988.09	0.872	水域→耕地	116.94	-0.091
未利用地→林地	428.27	0.183	耕地→未利用地	424.51	-0.055
未利用地→草地	1 642.11	0.222	林地→未利用地	150.37	-0.064
未利用地→耕地	504.62	0.065	草地→未利用地	882.89	-0.119
			水体→未利用地	13.25	-0.012
总计	17 643.58	1.743	总计	8 923.22	-0.504

表 5 陕北黄土高原生态系统服务价值敏感性指数

年份	耕地	林地	草地	水域	未利用土地
1997	0.213 0	0.444 6	0.312 5	0.026 6	0.003 2
2006	0.170 3	0.456 0	0.357 8	0.133 3	0.002 5

4 结论

(1) 1997—2006 年间, 陕北黄土高原土地利用/覆盖类型发生了显著的变化。耕地和未利用地主要流向草地和林地, 草地和林地大面积增加, 这种变化与 1999 年以来实施的退耕还林还草工程的作用是不可分的。

(2) 1997—2006 年间, 陕北黄土高原生态服务价值总量从 6.88×10^{10} 元增长到 6.96×10^{10} 元, 年增长率为 0.2%, 其中林地和草地面积的增加对总生态服务价值的贡献最大, 同时整体生态环境指数从 0.145 增加到 0.157, 整体生态环境向着健康方向发展。敏感度分析表明, ESV 对于 VC 变化是不敏感的, 缺乏

弹性, 因而研究可信。

(3) 1997—2006 年间, 陕北黄土高原土地利用/覆盖转换类型的生态贡献指数中, 区域生态环境改善的贡献指数明显高于生态环境退化的贡献指数, 整体贡献指数为 1.239。随着土地利用/覆盖的变化, 生态环境质量有所提高。

(4) 本研究对生态效应分析是建立在 Costanza 和谢高地的研究基础上, 对陕北黄土高原退耕还林以来的生态环境进行一个整体上的分析。

由于生态系统功能与服务的复杂性、自然地理条件和社会经济状况影响, 同一土地利用类型所产生的生态服务价值也可能不同^[14]。

对于陕北黄土高原特殊的地形地貌和自然环境, 这些方法还存在一定缺陷, 生态系统评估是否准确, 以及城镇居民地生态服务价值忽略不计等问题还需要进一步的研究和完善。

5 结论

通过将 GIS 技术与现有的 SCS 模型相结合, 构建了一个基于栅格系统的 SCS 模型, 该模型同样保持了原有 SCS 模型结构简单, 参数少的特点, 并在改进后增加了其在大流域下垫面空间不均匀以及降雨空间分布不均匀情况下的模拟能力, 从而扩大了模型的适应性。

分布式水文模型是当前水文模型的方向, 但是资料的获取难度使得模型的应用变得非常的困难。因此, 对于这样的一种对资料输入要求并不高的栅格 SCS 模型, 可以在一定程度上改善分布式水文模型对资料情况的适应能力, 从而更好地推动流域水文模拟的研究以及流域水资源管理的发展。

[参 考 文 献]

- [1] 许彦, 潘文斌. 基于 ArcView 的 SCS 模型在流域径流计算中的应用[J]. 水土保持研究, 2006, 13(4): 176-179.
- [2] 刘贤赵, 康绍忠, 刘德林, 等. 基于地理信息的 SCS 模型及其在黄土高原小流域降雨—径流关系中的应用[J]. 农业工程学报, 2005, 21(5): 93-97.
- [3] 郑畅, 倪九派, 魏朝富. 基于 DEM 和 SCS 模型的四川盆

地丘陵区局地径流研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(5): 73-77.

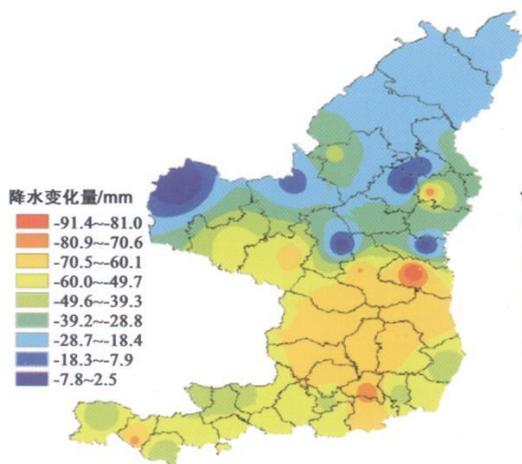
- [4] 罗利芳, 张科利, 符素华. 径流曲线数法在黄土高原地表径流量计算中的应用[J]. 水土保持通报, 2002, 22(3): 58-61.
- [5] 张美华, 王晓燕, 秦福来. SCS 模型在密云石匣试验区降雨径流量估算中的应用[J]. 首都师范大学学报: 自然科学版, 2004(25): 155-158.
- [6] 张秀英, 孟飞, 丁宁. SCS 模型在干旱半干旱区小流域径流估算中的应用[J]. 水土保持研究, 2003, 10(4): 172-174.
- [7] 詹道江, 叶守则. 工程水文学[M]. 3 版. 北京: 中国水利水电出版社, 2000: 161-166.
- [8] Budhendra B, Jon H, Bernie E, et al. Assessing watershed-scale, long-term hydrologic impacts of land-use change using a GIS-NPS mode[J]. Environmental Management, 2000, 26(6): 643-658.
- [9] 湖南师范学院地理系. 湖南农业地理[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1981: 26-32.
- [10] U. S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service. Hydrology [M]. SCS National Engineering Handbook, Section 4. U. S. Gov. Print Office: Washington D. C., 1972.

(上接第 137 页)

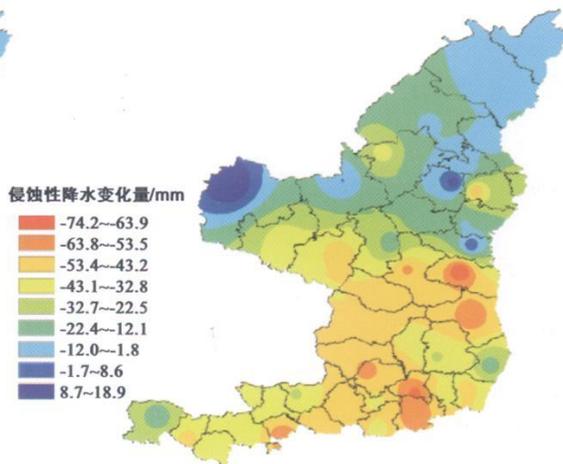
[参 考 文 献]

- [1] Waker RT. Land use transition and deforestation in developing countries[J]. Geographical Analysis, 1997, 19: 18-30.
- [2] 倪绍祥. 土地利用/覆被变化研究的几个问题[J]. 自然资源学报, 2005, 20(6): 932-937.
- [3] 管义国, 王心源, 吉文帅, 等. 合肥市土地利用/覆盖变化对景观格局影响的研究[J]. 地域研究与开发, 2007, 26(6): 108-111.
- [4] 刘建飞, 杨勤科, 梁伟, 等. 近 30 年来黄土高原土地利用动态变化分析[J]. 水土保持研究, 2009, 16(2): 112-116.
- [5] 贾晓娟, 常庆瑞, 薛阿亮, 等. 黄土高原沟壑区退耕还林生态效应评价[J]. 水土保持通报, 2008, 28(3): 182-185.
- [6] 赵济. 中国自然地理[M]. 北京: 高等教育出版社, 1995: 203-209.
- [7] 陈明荣. 陕西省地理[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1996: 162-165.

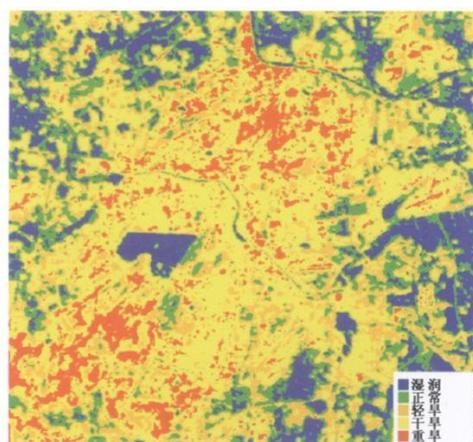
- [8] 郗静. 陕北黄土高原退耕还林与生态环境建设研究[D]. 陕西西安: 西北大学, 2006.
- [9] 陈百明, 周小萍. 《土地利用现状分类》国家标准的解读[J]. 自然资源学报, 2007, 22(6): 994-1003.
- [10] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(02): 189-196.
- [11] Robert C, Ralph d'Arge, Rudolf de G, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997, 387: 253-260.
- [12] 李晓文, 方创琳, 黄金川, 等. 西北干旱区城市土地利用变化及生态环境效应: 以甘肃河西区为例[J]. 第四纪研究, 2003, 23(3): 280-289.
- [13] 边亮, 胡志斌, 宋伟东, 等. 陕西省长武县土地利用变化的生态环境效应评价[J]. 生态学杂志, 2009, 28(9): 1743-1748.
- [14] 谢高地, 肖玉, 鲁春霞. 生态系统服务研究: 进展、局限和基本范式[J]. 植物生态学报, 2006, 30(2): 191-199.



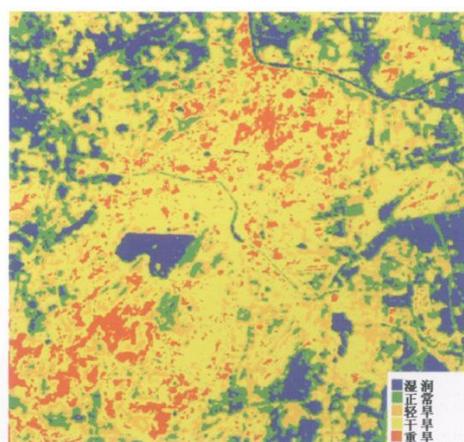
附图7 陕西省黄土高原地区年降水变化特征



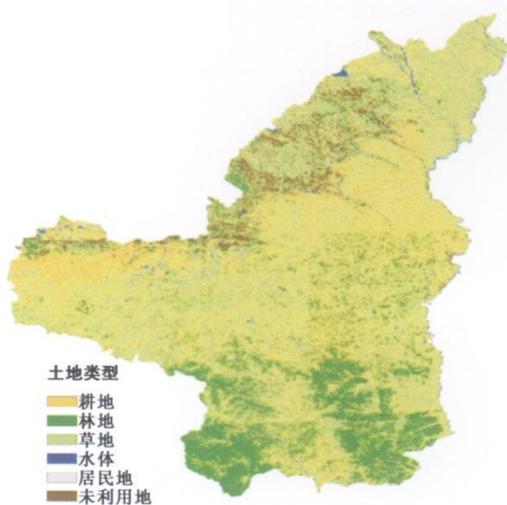
附图8 陕西省黄土高原地区侵蚀性降水变化特征



附图9 徐州市2007年5月14日TVDI(NDVI)分级



附图10 徐州市2007年5月14日TVDI(SAVI)分级



附图11 1997年陕北黄土区土地利用图



附图12 2006年陕北黄土区土地利用图