

西安市水土流失动态变化及对策研究

冯晓刚^{1,3}, 李锐²

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062; 2. 中国科学院
水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 西安建筑科技大学, 陕西 西安 710055)

摘要: 以RS和GIS技术为支撑,以TM/ETM⁺为遥感数据源,结合DEM及土壤类型数据,并以西安市水土流失动态变化为研究对象,采用多源数据相结合的研究方法,提取了西安市1988、1997和2002年3个时相研究区的坡度、植被盖度、土地利用类型等因子,在确定土壤侵蚀解译标志的基础上,制作了土壤侵蚀空间分布图,并对土壤侵蚀数量特征、空间变化特征及其趋势进行了分析。结果表明:(1)1988—2002年14a间西安市微度侵蚀面积持续减少,中度以上侵蚀面积由1988年的26.83%上升为2002年的37.03%,呈明显的上升趋势。(2)1988—2002年14a间西安市空间侵蚀分布大格局变化较小,1997年相比1988年最明显的变化是城镇周围土壤侵蚀由微度向轻度发展;2002年轻中度范围较1988和1997年均有扩大,主要分布在白鹿原、少陵原及城市周边地带;(3)结合西安市水土流失空间变化特征,提出了坚持以生态环境恢复为目标的科学规划和综合治理等5项治理措施,为水土流失治理提供参考。

关键词: 水土流失; 动态变化; 对策研究; 西安市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)06-0107-05

中图分类号: S157, TP79

Spatial Dynamic Changes of Soil Erosion and Its Countermeasures in Xi'an City

FENG Xiao-gang^{1,3}, LI Rui²

(1. College of Tourism and Environment Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China;
2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling,
Shaanxi 712100, China; 3. School of Arch., Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an, Shaanxi 710055, China)

Abstract: This study was conducted based on the data of TM/ETM⁺, combined with the DEM and soil type of Xi'an City, and supported by RS and GIS technology. By taking soil erosion dynamics and its countermeasures as study object, factors of slope, vegetation cover, and land use, as well as other factors in 1988, 1997, and 2002 were extracted. According to soil erosion interpretation, a soil erosion map was drawn by the ARCGIS and spatial characteristics of soil erosion and its trend in future were analyzed. Results are shown as follows. (1) The area for light erosion presented a decreasing trend from 1988 to 2002 and the area for moderate erosion increased from 26.83% in 1988 to 37.03% in 2002, showing a significant upward trend. (2) Spatial distribution pattern of soil erosion in Xi'an City changed little in the past 14 years. Compared to 1988, the most obvious change in 1997 was the soil erosion around the city. The expanded area of light and moderate soil erosion in 2002 was greater compared with 1988 and 1997, mainly in Bailu Plateau, Shaoling Plateau, and the periphery of the city. (3) Combined with spatial variations of soil characteristics in Xi'an City, five measures restoring ecological environment, such as scientific planning and comprehensive management, were proposed to provide a reference to soil erosion control.

Keywords: soil erosion; dynamic change; countermeasure; Xi'an City

水土流失及其导致的土壤退化是目前人类面临的最严重的环境问题之一,是影响区域生态安全的重要因子,具有广泛性和激烈的动态变化特性^[1]。由水

土流失导致的生态失调,水资源枯竭,土地荒漠化,生物多样性减少,植被覆盖减少等,已经成为限制区域自然、经济和社会发展的巨大障碍^[2]。因此,水土流

失已经引起国家相关部门的高度重视,并组织了如 1990 年和 2001 年以 TM 为数据源的全国性的水土流失现状调查,调查结果表明我国水土流失面积由过去的 $3.67 \times 10^6 \text{ km}^2$ 减到 $3.56 \times 10^6 \text{ km}^2$, 11 a 间减少了 $1.10 \times 10^5 \text{ km}^2$ [3]。陕西省是全国水土流失最为严重的省份之一,全省水土流失面积 $1.38 \times 10^6 \text{ km}^2$, 占全省面积的 66.8%, 强度以上水土流失面积达 $4.20 \times 10^4 \text{ km}^2$ [3]。因此,水土流失问题是困扰陕西省乃至全国的重要环境问题之一。

20 世纪 90 年代以来,主要集中在以 TM 遥感数据为主要数据源进行水土流失现状及效应的研究,且已经成为目前水土流失调查的主要手段。张明阳等 [4] 基于 TM 影像结合土地利用数据和 DEM, 分析了喀斯特地区广西环江县水土流失空间分布; 陈晖等 [5] 基于遥感及 DEM 数据量化分析了 1989 年开展水土保持治理前后嘉陵江西汉江流域水土流失的变化规律。江洪等 [2] 基于多源遥感数据分析研究了长汀县 1994—2003 年水土流失变化。此外,丁华、刘啸等 [6-7] 亦对城市水土流失动态变化进行了相应的研究。

基于多源遥感影像数据结合 DEM 及区域环境数据,研究区域水土流失动态变化已经成为了水土流失监测的主要方法。本研究以 1988, 1997 和 2002 年 TM/ETM+, DEM 以及土壤类型等数据,采用基于 RS 和 GIS 的遥感定量法,结合调查资料,综合研究了西安市 14 a 水土流失的动态变化,并结合水土保持治理理论提出了减缓西安市水土流失的相关对策。

1 数据源与技术路线

1.1 研究区概况

西安市地处西北部关中盆地中部秦岭北麓,地跨渭河南北两岸,北部为冲击平原,南部为剥蚀山地,大体地势东南高,西北与西南地,呈簸箕状,位于北纬 $33^\circ 39' - 34^\circ 44.5'$, 东经 $107^\circ 40' - 109^\circ 49'$ 之间。南北最大纵距 100 km, 东西最大横距 204 km, 总面积 $9\,983 \text{ km}^2$ 。属暖温带半湿润季风气候区,四季分明,1

月份最冷,平均最低气温 $-4.4^\circ\text{C} \sim 5.5^\circ\text{C}$; 7 月份气温最高,平均气温 $31.7^\circ\text{C} \sim 32.5^\circ\text{C}$; 年平均气温 13.3°C 。年降水量平均为 $504.7 \sim 982.8 \text{ mm}$, 且随地域分布表现为南多北少,西部大于东部。同时,降水的季节性变化十分显著,夏季多,冬季少,一年之中降水主要集中在 7—9 月份。

1.2 数据源与技术路线

研究采用的数据主要有: 1988 年 8 月 23 日、2000 年 5 月 3 日、2002 年 6 月 3 日的 TM/ETM+ 影像, 30 m DEM 数据, 1 : 5 万研究区地形图及收集的研究区域降雨、土地利用、土壤类型及水土流失资料等相关图件。结合前人研究基础,本文设计了基于 TM/ETM+ 的水土流失信息获取的技术路线(图 1)。

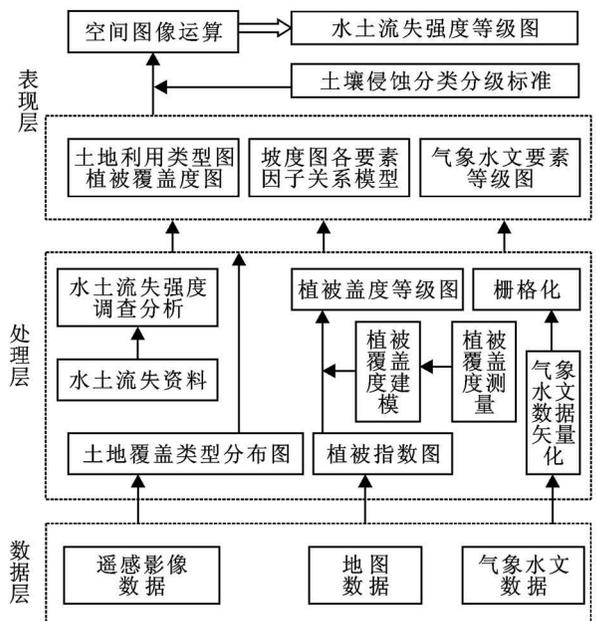


图 1 基于遥技术的水土流失解译技术路线

1.3 评价指标

依据我国水利部颁发的《土壤侵蚀分类分级标准(SL190-2007)》[8]的操作规程,采用分类标准中的土壤侵蚀强度面蚀分类分级指标为依据(表 1)。

表 1 水土流失面蚀分级指标

林草覆盖度/%	地面坡度				
	$5^\circ \sim 8^\circ$	$8^\circ \sim 15^\circ$	$15^\circ \sim 25^\circ$	$25^\circ \sim 35^\circ$	$> 35^\circ$
60~75	轻度	轻度	轻度	中度	中度
45~60	轻度	轻度	中度	中度	强烈
30~45	轻度	中度	中度	强烈	极强烈
< 30	中度	中度	强烈	极强烈	剧强烈
坡耕地	轻度	中度	强度	极强度	强烈

参照分类标准, 结合西安市区域具体情况, 将西安市水土流失等级划分为微度、轻度、中度、强烈、极强烈和剧烈共 6 个等级。

2 研究方法

2.1 地形因子提取

数字高程模型 (DEM) 是构建虚拟地理环境的基本要素, 通过相关分析与提取可以获得与地表形态相关的坡度、坡向、坡长等因子。以 30 m DEM 数据为基础, 通过转换形成 TIN 模型, 基于 TIN 模型提取研究区域坡度信息, 根据表 1 中坡度分级标准, 将坡度因子分为 6 级。

2.2 植被盖度提取

植被盖度是指植被 (包括叶、茎、枝) 在地面的垂直投影面积占统计区面积的百分比^[9], 是衡量地表植被覆盖的一个最重要的指标。借助 Landsat 数据提取研究区域植被盖度, 选择 NDVI 作为植被指数提取的依据。借鉴陈云浩等建立的 NDVI 与植被指数间的相关模型反演地表植被盖度。

$$F = (NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min})$$

式中: F ——植被盖度; $NDVI$ ——所求像元的植被指数; $NDVI_{max}$, $NDVI_{min}$ ——研究区内 $NDVI$ 的极大值和极小值。利用 ERDAS 软件通过 Modeler 建模实现 $NDVI$ 到植被盖度的转换, 从而得到研究区不同时相的植被盖度图。

2.3 土地利用类型的提取

为了提取研究区土地利用类型, 采用了监督分类与非监督分类相结合的方法, 其优点在于一定程度上克服了一般监督分类选择训练样区的主观性, 从而提高了训练区选择中类别定义的精度。根据研究目的将研究区土地利用类型分为: 建设和居民用地, 耕地, 林地, 水域, 牧草地和未开发用地共 6 类。研究区 1988, 1997 和 2002 年 3 期分类误差矩阵均大于 85%, 满足精度要求, LUCC 提取结果如附图 4 所示。

2.4 基于 RS 的土壤侵蚀判读指标

以坡度、植被盖度和土地利用类型为依据, 结合土壤侵蚀分类分级指标确定侵蚀等级强度及其在影像上的判读标志 (表 2)。

表 2 基于遥感参数的土壤侵蚀判读指标

侵蚀强度等级	判读标志
微度侵蚀	覆盖度 > 75% 的林、灌、草地; 坡度 < 5% 的山前平地、水田、水体、河滩等。
轻度侵蚀	坡度在 5° ~ 8° 的耕地; 植被覆盖度 60% ~ 75%, 且坡度为 5° ~ 25° 的坡地; 覆盖度 45% ~ 60%, 且坡度 5° ~ 15° 的坡地; 覆盖度 30% ~ 45% 且坡度 5° ~ 8° 的坡地。
中度侵蚀	坡度 8° ~ 15° 的耕地; 植被覆盖度 < 30%, 且坡度为 8° ~ 15° 的坡地; 覆盖度 45% ~ 60%, 且坡度为 15° ~ 35° 的坡地; 覆盖度 60% ~ 75%, 且坡度 > 25° 的坡地。
强烈侵蚀	坡度 15° ~ 25° 的耕地; 植被覆盖度 45% ~ 60%, 且坡度 > 35° 的坡地; 覆盖度 30% ~ 45%, 且坡度为 25° ~ 35° 的坡地; 覆盖度 < 30%, 坡度为 15° ~ 25° 的坡地。
极强烈侵蚀	坡度为 25° ~ 35° 的坡耕地; 植被覆盖度 30% ~ 45%, 且坡度 > 35° 的坡地; 覆盖度 < 30%, 且坡度 25° ~ 35° 的坡地。
剧烈侵蚀	坡度 > 35° 的坡耕地; 覆盖度 < 30%, 且坡度 > 35° 的地段。

3 结果分析

3.1 水土流失面积变化特征

基于 1988, 1997 和 2002 年土地利用类型数据, 结合坡度和植被盖度因子。依据水土流失自然侵蚀

和人为侵蚀分级指标解译生成 3 期侵蚀状态图。通过空间图层叠加分析, 获得研究区域的水土流失等级分布图 (附图 5)。

由表 3 可以看出, 城市化过程使得西安市水土流失经历了一个起伏的变化过程。

表 3 不同年份不同等级土壤侵蚀变化特征

侵蚀强度等级	1988 年		1997 年		2002 年		1988—1998 年	1988—2002 年
	面积 / km ²	比例 / %	面积 / km ²	比例 / %	面积 / km ²	比例 / %	变化面积 / km ²	变化面积 / km ²
微度侵蚀	5 463.45	54.23	5 368.75	53.39	3 603.81	35.87	-94.70	-1 859.64
轻度侵蚀	1 907.64	18.94	1 703.21	16.95	2 722.66	27.10	-204.43	815.02
中度侵蚀	2 046.25	23.89	2 793.56	27.78	3 102.92	30.89	747.31	1 056.67
强烈侵蚀	244.35	2.51	166.39	1.65	508.10	5.06	-77.96	263.75
极强烈侵蚀	35.97	0.36	18.44	0.18	98.49	0.98	-17.53	62.52
剧烈侵蚀	7.34	0.07	4.51	0.05	9.68	0.10	-2.83	2.34

由表 3 可以看出, 1988 年中度以上侵蚀面积占总面积的 26.83%, 到了 1998 年为 29.66%, 2002 年为 37.03%, 呈现明显的上升趋势。究其原因, 主要是大力发展经济建设的同时忽略了生态环境保护, 甚至以牺牲生态环境为代价等因素造成的。其中, 强烈及其以上侵蚀区所占比例由 1988 年的 2.94% 发展为 2002 年的 6.14%, 年均增长 0.23%。同时, 14 a 间微度侵蚀区面积持续减少, 年均减少 1.31%, 约 132.83 km²; 微度侵蚀面积不断减少的同时, 轻度侵蚀区面积逐年增加, 年均增加 0.58%, 约 58.22 km²。究其原因, 主要是 20 世纪 90 年代初期开始的人为频繁活动(开垦、伐林、基础建设)使得土地利用类型急剧变化从而导致土壤各种功能的下降进而加剧了水土流失。1988—2002 年 14 a 间微度侵蚀表现出持续减少的特征, 其中 1997—2002 年 5 a 间变化剧烈, 年均减少 3.5%; 轻度侵蚀 1988—1997 年间呈现减少趋势, 1997—2002 年间呈现持续增加趋势, 增加幅度为年均 2.03%; 中度侵蚀 14 a 间持续增加, 共增加 1 056.67 km²; 强烈、极强烈和剧烈程度侵蚀 1988—1997 年所占比例均减少, 究其原因是注重生态环境保护, 退耕造林的结果, 但 1997—2002 年 5 a 间强烈以上侵蚀面积持续增加, 这可能是城市化进程的加快加剧了生态环境的破坏所致。

3.2 水土流失空间变化特征

由附图 5 可以看出, 1988 年强烈以上侵蚀主要发生在临潼区东南部马额镇及金山一带, 土地类型以丘陵地、黄土质淋溶褐土梁坡地、稍林红色土梁状丘陵地和红色土、紫色土梁坡地为主, 植被覆盖主要以两年三熟秋杂旱作为主, 夹杂山地次生灌丛和侧柏林; 强烈侵蚀主要分布在沿山洪积扇地区, 土地类型以疏林石渣褐土低山地、暖温带次生林、灌丛草坡低山地、针阔叶混交林溶褐土地山地为主, 植被覆盖主要以山地次生灌丛为主, 夹杂两年三熟秋杂旱作; 中度侵蚀主要分布在秦岭北坡和白鹿原、少陵原、神禾塬一带, 土地类型以黄土台塬地、红壤土黄土台塬地、黄壤土陡坡台塬地为主, 植被覆盖主要以两年三熟秋杂旱作为主; 轻度侵蚀主要分布在秦岭深山地区, 土地类型主要以温性针叶林、阔叶林棕壤低中山地、华山松、油松林棕壤低中山地为主, 植被覆盖以辽东栎林、华山松、白桦混交林和油松、白皮松林为主; 微度侵蚀主要分布在渭河川道, 土地类型以冲积平地、水稻土冲积平地 and 褐壤土冲积平地为主的水浇地。1997 年土壤侵蚀与 1988 年相比, 空间分布大致相同, 最大的变化是城镇周围土壤侵蚀强度由微度向轻度变化明显, 这可能是城市化促进了城市周边扩张,

从而导致耕地向城镇建设用地转化所造成的。2002 年微度侵蚀面积在原有空间格局基础上锐减, 轻中度范围较 1988 和 1997 年均有所扩大, 主要分布在白鹿原、少陵原及都市周边地带。

3.3 水土流失趋势分析

由图 2 的 3 期水土流失面积统计结果可以得出以下结论: (1) 1988—2002 年 14 a 间, 微度侵蚀占总面积的比例快速减少, 轻度和中度侵蚀所占比例增加明显; (2) 西安市经过 14 a 的发展, 强烈侵蚀面积占总面积的比例虽不多(1988 年为 2.51%, 1997 年为 1.65%, 2002 年为 5.06%), 但始于 20 世纪末的城镇化进程步伐的不断加快, 特别是构建现代化大都市战略目标的实施使得西安市城市建设用地快速增加, 土地利用类型间快速转化, 导致水土流失程度有进一步加剧的趋势; (3) 极强烈和剧烈程度的水土流失面积占总面积比例较少, 但应加强水保措施的有效实施, 防止强烈程度的水土流失转向极强烈和剧烈程度的水土流失。

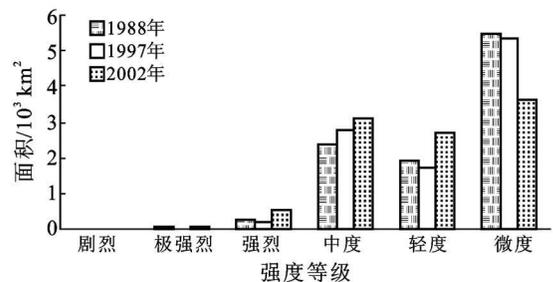


图 2 1988 1997 和 2002 年水土流失面积

3.4 西安市水土流失对策分析

水土流失是自然因素和人为因素综合作用的结果。自然因素中的气候、地形地貌等因素及人为的过度砍伐、过度放牧、城市基础建设、城市环境规划建设的不合理、城市生活及工业“三废”等处置不当等都是加剧城市及其周边地区水土流失的重要因素。针对西安市水土流失的特点, 提出坚持以生态环境恢复为目标的科学规划和综合治理、坚持以重点水土保持项目实施为基础保障、坚持工程措施与生物措施并重、充分发挥生态自我修复功能及加强水保宣传增强全民水保意识等 5 项建议, 共同构建和谐自然的人居生态环境。(1) 坚持以生态环境恢复为目标的科学规划和综合治理。根据西安市水土流失的特点, 因地制宜的科学编制西安市水土保持规划, 积极开展以规范开发建设为主, 以保护和改善城市生态环境为目标的城区与郊区防治相结合, 治标与治本相结合的预防、治理理念; (2) 坚持以重点水土保持项目实施为基础保障。坚持重点水保项目的实施有助于快速、全面地

带动和改善区域生态功能。特别是泾河、渭河、泾河等重点流域的治理和生态工程等项目建设,是区域生态环境的改善和恢复的有力保障;(3)坚持工程措施与生物措施并重。坚持实施山坡防护工程、山沟治理工程、山洪气压层工程和小型蓄水用水工程并重的工程措施。合理规划城市绿地空间分布格局,持续增加人均占有绿地面积,在改善城市空气质量的同时,最终达到减缓城市水土流失的目的;(4)充分发挥生态自我修复功能。依靠人工治理的同时,加大生态环境保护力度,将人为因素的影响通过行政、道德约束等方法控制在生态自我修复范围内;(5)加强水保宣传,增强全民水保意识。充分利用网络、电视、报刊等传媒,开展多种多样的水土保持宣传,提高全民对水土流失的忧患意识和依法防治水土流失的责任感。同时,不断健全相关的法律法规,以保证相关水土保持措施的顺利实施。

4 结论

(1)截止2002年,西安市水土流失面积以微度和中度强度的面积最大。1988—2002年14a间微度强度侵蚀面积占总面积的比例大幅减少,轻度和中度侵蚀所占比重增加明显;强烈侵蚀面积所占比例较少,但随着城市化进程步伐的加快,有进一步加剧的趋势。1988—2002年14a间城市化过程使得西安市区域水土流失经历了一个起伏的变化过程。

(2)14a间西安市水土流失空间格局变化较小,1997年相比1988年最大的变化是城镇周围土壤侵蚀由微度向轻度强度变化趋势明显;2002年微度侵

蚀面积在原有空间格局基础上锐减,轻中度范围较1988和1997年均有扩大,主要分布在白鹿原、少陵原及都市周边地带。

(3)在研究西安市水土流失动态变化特征的基础上,结合水土流失产生的自然和人为因素,提出了坚持以生态环境恢复为目标的科学规划和综合治理,坚持以重点水土保持项目实施为基础保障、坚持工程措施与生物措施并重,充分发挥生态自我修复功能及加强水保宣传增强全民水保意识等5项对策建议。

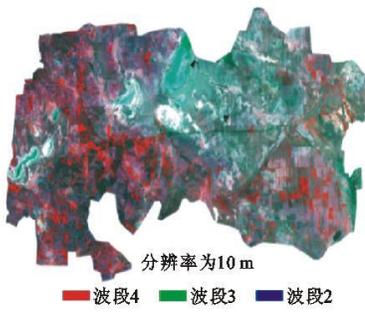
[参 考 文 献]

- [1] 龚建周,夏北成.城市景观生态学与生态安全[M].北京:科学出版社,2007.
- [2] 江洪,汪小钦,周小成,等.多源数据在水土流失变化监测中的应用研究[J].福建师范大学学报:自然科学版,2007,23(3):5-9.
- [3] 陕西省人民政府.陕西省生态功能区划[R].陕西:陕西省人民政府,2004.
- [4] 张明阳,王克林,陈洪松.基于RS和GIS的喀斯特区域水土流失动态监测与分析[J].资源科学,2007,29(3):124-130.
- [5] 陈晖,张红.基于遥感、DEM技术的西汉水土流失变化分析[J].人民长江,2006,37(12):12-15.
- [6] 丁华,张勇.大连市水土流失控制模拟研究[J].环境科学研究,2007,20(3):168-172.
- [7] 刘啸,甘枝茂.黄土高原城市化过程对水土保持的影响[J].陕西师范大学学报:自然科学版,2004,32(1):111-115.
- [8] 中华人民共和国水利部.中华人民共和国水利行业标准:土壤侵蚀分类分级标准(SL190-2007)[S].2008.
- [9] 陈述鹏.遥感大词典[M].北京:科学出版社,1990:382.

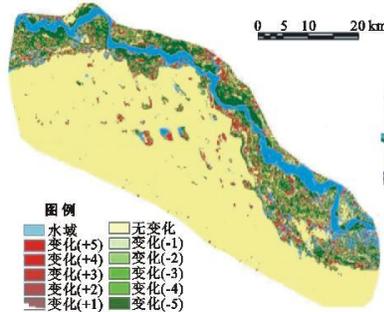
《水土保持通报》2010年审稿专家名单

(按姓氏笔画排序)

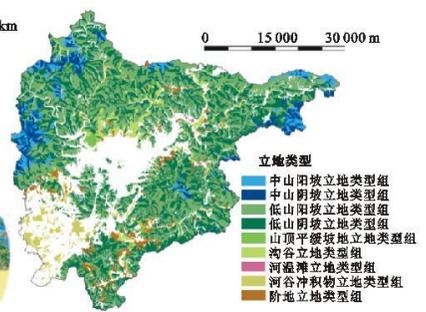
上官周平	马俊杰	王健	王正中	王玉宽	王进鑫	井彦林	王根绪	王继军
王继增	牛文全	方修琦	邓西平	甘枝茂	石辉	左长清	田均良	史志刚
史志华	史学正	白岗栓	冯浩	朱洪光	朱清科	刘文兆	刘刚才	刘淑珍
汤国安	安韶山	许有鹏	许炯心	苏志珠	李勇	杜峰	李锐	李玉山
杨正华	李世清	李占斌	李同昇	李旭霖	杨明义	李智广	杨勤科	李壁成
吴钦孝	何园球	宋乃平	张翼	张甘霖	张光辉	张岁岐	张兴昌	张丽萍
张科利	张信宝	张洪江	张晓萍	张爱军	陈云明	陈晓清	范兴科	林昌虎
呼天明	周忠发	庞奖励	郑世清	郑粉莉	屈建军	赵军	赵世伟	赵廷宁
赵景波	郝明德	查轩	侯庆春	姜英	姜德文	姚文艺	贾绍凤	徐学选
高超	郭明航	郭忠升	高建恩	郭胜利	高照良	唐克丽	陶和平	常庆瑞
崔鹏	章明奎	康顺祥	梁东丽	梁银丽	程晓	程积民	焦菊英	鲁春霞
温仲明	游勇	谢永生	蔡运龙	熊康宁	樊军	薛立	穆兴民	戴全厚



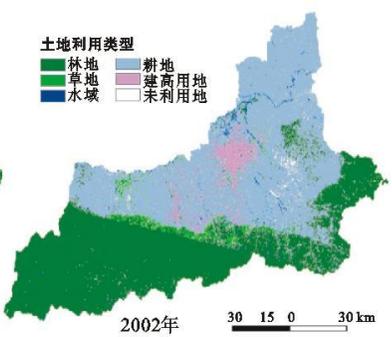
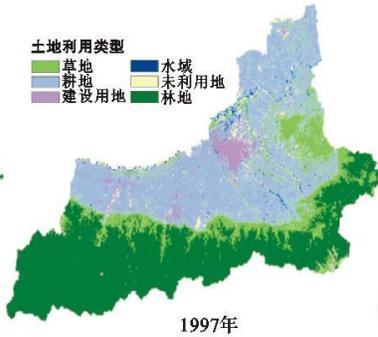
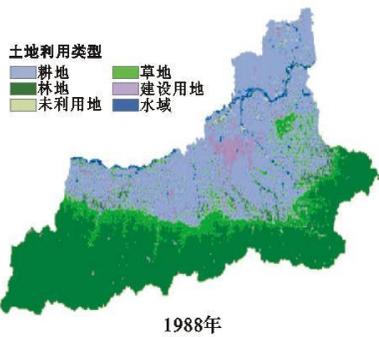
附图1 九连城2002—2006年退耕区分布



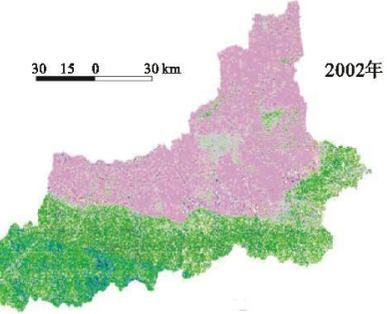
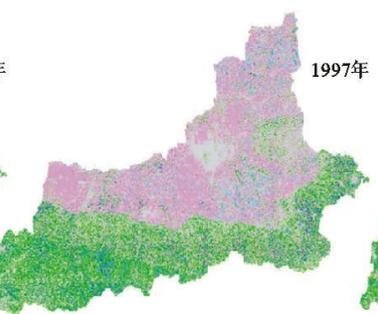
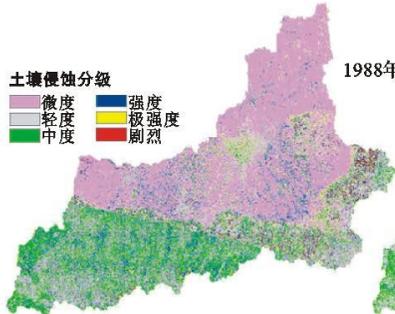
附图2 库布齐沙漠荒漠化等级变化图



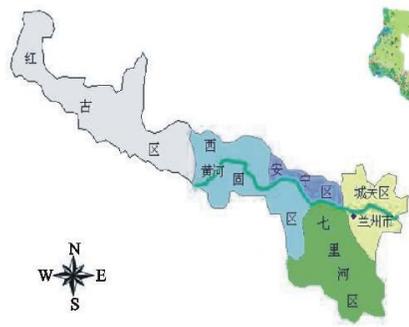
附图3 密云县水源涵养林立地类型分类图



附图4 西安市1988, 1997, 2002年土地利用类型图



附图5 西安市1988, 1997, 2002年土壤侵蚀分布图



附图6 兰州市区划图



附图7 兰州市2002年土地利用图



附图8 兰州市2006年土地利用图