

拉萨市城关区土地利用与土壤侵蚀变化分析^{*}

张船红^{1,2}, 何政伟^{1,2}, 仇文侠^{1,2}, 姜兰^{1,2}, 刘敏红^{1,2}

(1. 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 成都 610059; 2. 成都理工大学 地球科学学院, 成都 610059)

摘要: 针对土地利用与土壤侵蚀变化关系研究的热点问题, 以多源遥感影像数据为数据源, 在分析拉萨市城关区土地利用变化和土壤侵蚀动态变化基础上, 探讨了 MSS/TM/ETM+/CBERS 等遥感数据土地利用和土壤侵蚀变化信息提取的方法, 并采用 GIS 空间分析技术, 揭示土地利用与土壤侵蚀变化存在着的耦合关系。研究表明, 草地是控制拉萨市城关区土壤侵蚀的主要土地利用类型, 草地的转变是拉萨市城关区土壤侵蚀强度变化的主要因素, 因此, 草地水土流失防治是不可忽视的。此研究对不同尺度下的土地退化监测与评价等提供了一定的借鉴, 为区域可持续利用规划和实施提供了科学依据。

关键词: 土地利用; 土壤侵蚀; 叠加分析; 统计分析

中图分类号: F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)03-0073-06

Analysis Change of Landuse and Soil Erosion in Chengguan District of Lhasa

ZHANG Chuang-hong^{1,2}, HE Zheng-wei^{1,2}, QIU Wen-xia^{1,2}, JIANG Lan^{1,2}, LIU Ming-hong^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Geohazard Prevention & Geoenvironment Protection, Chengdu 610059, China;

2. Geosciences College, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: For the hot issues of the relationship between landuse and soil erosion changes, using the multi-source remote sensing image data as data sources, based on the analysis of landuse changes and the dynamic changes of soil erosion in Chengguan District of Lhasa, this article discussed the extraction method of landuse and soil erosion changes information on the basis of remote sensing data such as MSS/TM/ETM+/CBERS, etc. And using GIS spatial analysis techniques, revealed the coupling relations between the changes of landuse and soil erosion. Studies have shown that grassland is the main landuse type in Chengguan District of Lhasa, the main factor of changes of soil erosion intensity is the grassland changes, therefore, the role of grassland in preventing soil erosion can not be ignored. This study provides a reference for monitoring and evaluation land degradation of different scale, and a scientific basis for the regional planning and implementation of sustainable use.

Key words: landuse; soil erosion; overlay analysis; statistics analysis

土壤侵蚀作为 LUCC 引起的主要环境效应之一, 是自然和人为因素综合作用的结果, 是世界上头号的环境问题^[1]。土地利用是人类活动在地表作用形成的综合景观, 同时也是土壤侵蚀最主要的因素之一, 土地利用的方式不同, 土壤侵蚀的程度就不同, 土地利用及其变化可以揭示人类活动对土壤侵蚀的影响程度。

随着计算机技术的快速发展, GIS 和 RS 技术在土地利用和土壤侵蚀关系分析中得到了广泛应

用。如邹亚荣、张增祥^[2]等以我国水蚀区广东省惠东县为例, 以 TM 数据影像为主要数据源, 在 GIS 环境下, 进行了土壤侵蚀与土地利用类型的叠加分析, 得出土壤侵蚀分布与土地利用类型密切相关, 土地利用方式是土壤侵蚀的主要因素。王思远^[3]等在 RS 与 GIS 技术的支持下, 建立了黄河流域土壤侵蚀与土地利用的数字环境模型, 分析了黄河流域近 5 a 的土地利用与土壤侵蚀的耦合关系。吴楠^[4]等在 ArcGIS 9.0 软件的支持下, 采用叠加分析方法, 对淮

* 收稿日期: 2009-11-24

基金项目: 西藏拉萨-工布江达地区环境地质综合调查评价项目(1212010818085)

作者简介: 张船红(1986-), 女, 四川成都人, 硕士研究生, 主要从事遥感地质学、地理信息系统研究。E-mail: candyzch@163.com

通信作者: 何政伟(1966-), 男, 四川南部人, 博士, 教授, 主要从事遥感地质学、地理信息系统和第四纪地质学等教学科研。E-mail: hzw@cdut.edu.cn

河上游山丘区 1995– 2000 年的土地利用方式变化和土壤侵蚀强度变化的关系进行了探讨。因此, 本文运用多源数据集成, 以 GIS、RS 等技术作为支撑, 分析拉萨市城关区土地利用变化及土壤侵蚀动态变化基础上, 揭示土地利用和土壤侵蚀变化存在的耦合关系, 并验证土地利用变化是导致土壤侵蚀强度变化的主要因素, 为拉萨市城关区进行合理的土地利用和防治水土流失提供科学的依据。

1 研究区概况

选取西藏自治区土壤水力侵蚀比较严重的拉萨市城关区为研究区。研究区位于雅鲁藏布江支流拉萨河中游河谷平原地区, 地处东经 $91^{\circ}00' - 91^{\circ}17'$, 北纬 $29^{\circ}31' - 29^{\circ}49'$, 地势北高、中间低, 海拔 3 635 m, 地理面积 554 km²。东邻达孜县, 南与山南地区贡嘎县和扎囊县接壤, 西与堆龙德庆县相连, 北靠林周县(图 1)。年平均气温 7.6℃, 年降雨量 500 mm 左右, 降雨集中于 7– 9 月。

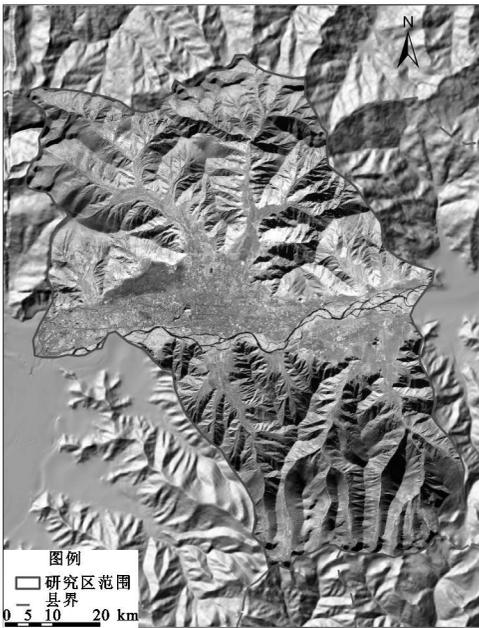


图 1 研究区范围

拉萨市城关区是西藏政治、经济、文化的中心和交通枢纽, 是人类活动最活跃的地区。由于受地质构造的影响, 山体植被覆盖度很低, 再者, 随着人口的增长, 物质生活需求加大, 大量砍伐灌木林、破坏草地现象严重, 使原本就脆弱的生态环境日益恶化, 再加上泥石流、滑坡等山地灾害的频繁发生, 促使水土流失日趋严重^[5]。

2 数据来源及处理

本次研究所需的基础数据主要包括: 1976 年 Landsat-2 MSS 影像, 分辨率为 79 m; 1988 年的

Landsat-5 TM 影像, 分辨率为 30 m; 2000 年的 Landsat-7 ETM+ 影像, 分辨率为 15 m; 2005 年的 CBERS-02 影像, 分辨率为 19.5 m。

土地利用数据获取流程如下: 利用地形图数据对三个时期的遥感影像进行地理坐标配准, 根据遥感影像的形状、色调和纹理等基本特征建立各土地利用类型相应的遥感解译标志, 对遥感影像进行人机交互目视解译并录入属性数据, 得到三个时期的土地利用类型图。土地利用分类主要参考《土地资源遥感监测与评价方法》一书中基于遥感数据的全国土地利用/覆被分类体系框架和《西藏自治区土地利用》一书中对西藏地区土地利用的分类方式, 将研究区土地利用类型分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地共 6 个一级类型和 12 个二级类型。

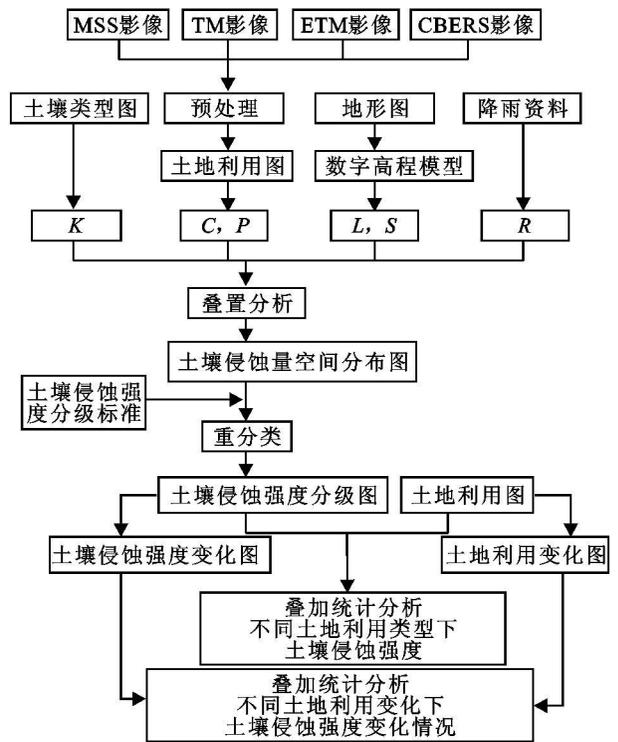


图 2 数据处理流程图

土壤侵蚀数据是基于 RUSLE 模型的定量研究计算得出。土壤侵蚀模型 (USLE) 最初由美国的 Wischmeier 和 Smith 于 1965 年基于大量小区域观测资料和人工模拟降雨资料建立的, 后来经美国农垦部 1992 年修整为 RUSLE 模型。RUSLE 模型基本表达式为

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

式中: A ——年均土壤潜在侵蚀量 [$t / (hm^2 \cdot a)$]; R ——平均降雨和径流侵蚀力因子 [$(MJ \cdot mm) / (hm^2 \cdot h \cdot a)$]; K ——平均土壤可蚀性, 取决于不同的土壤类型 [$(t \cdot hm^2 \cdot h) / (MJ \cdot mm \cdot hm^2)$]; L, S ——坡长、坡度因子; C, P ——植被与经营管理因

子、水土保持措施因子。 L, S, C, P 因子皆为无量纲因子。

土壤侵蚀计算流程: 首先基于 RS 和 GIS 技术提取和计算各因子值, 然后再利用 RUSLE 模型进行因子叠置分析得到土壤侵蚀量, 最后进行土壤侵蚀强度分级, 具体过程见图 2。

拉萨市城关区的土壤侵蚀主要以水力侵蚀为主。水力侵蚀分级标准是依照中华人民共和国行业标准《土壤侵蚀分类分级标准》划分为 6 个等级, 即微度, 平均侵蚀模数 $< 500 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 、轻度, 平均侵蚀模数 $500 \sim 2\,500 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 、中度, 平均侵蚀模数 $2\,500 \sim 5\,000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 、强度, 平均侵蚀模数 $5\,000 \sim 8\,000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 、极强度, 平均侵蚀模数 $8\,000 \sim 15\,000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 、剧烈, 平均侵蚀模数 $> 15\,000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

在 ArcGIS 软件环境下, 对土地利用和土壤侵蚀两种数据分别进行同一化处理, 得到 1976–1988 年、1988–2000 年、2000–2005 年土地利用变化图与土壤侵蚀变化图; 然后分别对三个时间段的土地利用和土壤侵蚀变化进行分析, 再对不同土地利用类型下土壤侵蚀强度情况进行分析, 最后将土地利用变化图与土壤侵蚀变化图进行叠加统计分析。

3 结果与分析

3.1 土地利用变化分析

通过空间统计分析得到 1976–1988 年、1988–

表 1 1988–2005 年土地利用变化

类型	1988 年		2000 年		2005 年		988–2000 变化量/ km^2	2000–2005 变化量/ km^2
	面积/ km^2	比例/%	面积/ km^2	比例/%	面积/ km^2	比例/%		
耕地	42.75	8.14	41.81	7.97	38.23	7.29	-0.93	-3.59
林地	9.77	1.86	10.60	2.02	7.44	1.42	0.83	-3.16
草地	380.43	72.47	372.11	70.89	341.49	65.06	-8.32	-30.62
水域	19.12	3.64	16.38	3.12	46.89	8.93	-2.74	30.51
未利用地	33.60	6.40	42.03	8.01	46.23	8.81	8.44	4.20
建设用地	39.26	7.48	41.99	8.00	44.65	8.51	2.72	2.67

表 2 1976–2005 年土地利用变化百分比

时间	耕地	林地	草地	水域	未利用地	建设用地
1976–1988 年	0.27	22.98	1.50	58.34	-33.43	6.14
1988–2000 年	-2.19	8.54	-2.19	-14.33	25.12	6.94
2000–2005 年	-8.59	-29.81	-8.23	186.25	9.98	6.35

1976–1988 年, 1988–2000 年, 2000–2005 年土地利用变化中(表 2), 水域面积变化最大, 其原因是 2005 年遥感图像中有冰雪类型的覆盖, 而之前数据没有冰雪覆盖。其次, 未利用地和林地的面积变化较大, 后面依次为建设用地、草地、耕地。土地利用类型

2000 年、2000–2005 年土地利用变化(见表 1)。1976–1988 年, 水域面积变化最大, 增长幅度达 58.34%, 林地、建设用地和耕地均增加了, 增幅为分别为 22.98%、6.14% 和 1.27%, 未利用地减少 16.87 km^2 , 减幅为 33.43%, 草地增加了 5.61 km^2 , 增幅为 1.5%。1988–2000 年期间, 耕地减少了 0.93 km^2 , 减幅达 2.19%; 林地增加了 0.83 km^2 , 增幅为 8.54%, 林地的增加主要来自耕地; 建设用地增加了 2.72 km^2 , 增幅为 6.94%。这些变化有利于降低土壤侵蚀。但是, 草地减少了 8.32 km^2 , 减幅为 2.19%; 主要是因为不合理的乱砍滥挖, 导致草地破坏; 水域减少了 2.74 km^2 , 减幅为 14.33%; 未利用地增加了 8.44%, 增幅为 25.12%, 主要来自于草地和水域。这些变化对土壤侵蚀又带来了不利的影响。2000–2005 年耕地减少了 3.59 km^2 , 减幅为 8.59%; 林地减少了 3.16 km^2 , 减幅为 29.81%; 水域增加了 30.51 km^2 , 这与 2005 年遥感图像获取时间为 12 月份有关, 水域增加的面积主要为冰雪覆盖面积; 冰雪覆盖了草地, 则草地相应减少了 30.62 km^2 ; 未利用地增加了 4.20 km^2 , 增幅为 9.98%; 建设用地增加了 2.67 km^2 , 增幅为 6.35%。由于耕地、林地的减少, 未利用地、建设用地的增加, 对土壤侵蚀的变化有不利的影 响。因此, 加强研究区生态环境的建设, 使生态环境与土地利用布局有一定改善, 从而减少土壤侵蚀发生率。

的变化将对土壤侵蚀强度的变化起主要作用。

3.2 土壤侵蚀动态变化分析

近 30 a 来, 拉萨市城关区土壤侵蚀经历了严重–减轻的变化过程。1976–1988 年, 研究区微度侵蚀面积呈减少趋势, 其占研究区总面积的比例由

17.50% 下降到 16.65%，而轻度到极强度侵蚀面积均呈增加趋势，尤其是中度和强度侵蚀面积增加幅度最大，分别增加了 1.01% 和 0.97%，剧烈侵蚀面积急剧减少了 2.32% (表 3)。1988-2000 年，微度侵蚀面积增加了 0.54%，而轻度至极强度侵蚀均呈减少趋势，分别减少了 0.35%、0.54%、0.43% 和 0.39%，剧烈侵蚀面积增加了 1.17%。2000-2005 年，微度侵蚀面积比例由 17.19% 增加到 27.02%，

而微度侵蚀增加的部分地区为冰雪覆盖区；而轻度到极强度侵蚀面积均呈减少趋势，剧烈侵蚀面积增加了 3.01%。由此可见，1976-1988 年研究区土壤侵蚀总体趋向严重，而 1988-2000 年，土壤侵蚀有所减轻，2000-2005 年轻度侵蚀和剧烈侵蚀面积急剧增加，表明部分地区土壤侵蚀强度加重。究其原因，这与拉萨市城关区土地利用类型及其变化有密切的关系。

表 3 1976 年、1988 年、2000 年、2005 年拉萨市城关区土壤侵蚀状况

侵蚀等级	侵蚀模数/ (t·km ⁻² ·a ⁻¹)	1976 年		1988 年		2000 年		2005 年	
		面积/km ²	比例/%						
微度	< 500	90.61	17.50	86.21	16.65	89.00	17.19	139.87	27.02
轻度	500~ 2500	107.27	20.72	109.68	21.18	107.84	20.83	90.63	17.51
中度	2500~ 5000	108.92	21.04	114.13	22.05	111.34	21.51	97.26	18.79
强度	5000~ 8000	90.41	17.47	95.46	18.44	93.21	18.01	71.63	13.84
极强度	8000~ 15000	63.92	12.35	67.70	13.08	65.71	12.69	52.13	10.07
剧烈	> 15000	56.55	10.92	44.50	8.60	50.58	9.77	66.17	12.78
合计	-	517.69	100.00	517.69	100.00	517.69	100.00	517.69	100.00

从 1976-1988 年、1988-2000 年和 2000-2005 年土壤侵蚀强度变化图(图 3a, 3b, 3c)可以看出，1976-1988 年期间，由于水域和建设用地的规模扩张，导致沿拉萨河周边地区土壤侵蚀强度增强；未利用地的大量减少，使高山地区土壤侵蚀强度减弱(图 3a)。1988-2000 年期间，水域和耕地面积

的减少，使沿拉萨河周边地区土壤侵蚀强度减弱；未利用地的急剧增加，导致高山地区土壤侵蚀强度增强(图 3b)。2000-2005 年期间，冰雪的覆盖影响了部分地区的土壤侵蚀强度变化，耕地和林地的减少，未利用地和建设用地的增加，导致土壤侵蚀强度增强(图 3c)。

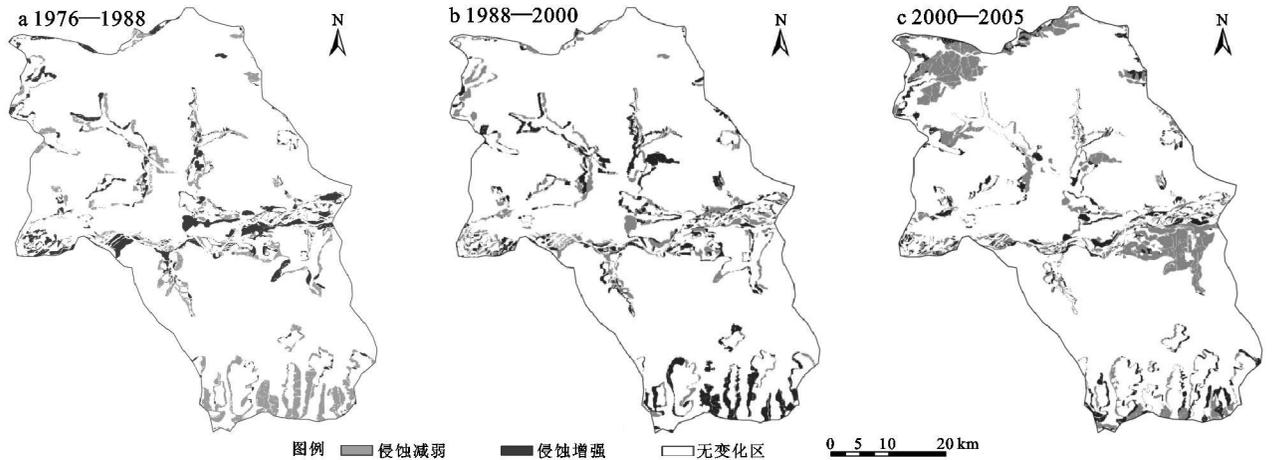


图 3 1976-2005 年土壤侵蚀强度变化图

3.3 土壤侵蚀变化与土地利用类型的关系分析

基于 ArcGIS 9.0 软件下将 4 个时期的土地利用类型图与相应的土壤侵蚀等级图分别进行叠加统计分析，得到 4 个时期不同土地利用类型下的土壤侵蚀面积比例(表 4)。由表 4 可见，近 30 a 来，研究区土壤侵蚀强度以轻度侵蚀和中度侵蚀面积比例最大；其中，草地以轻度侵蚀、中度侵蚀和强度侵蚀为主，其占整个土壤侵蚀面积的 70% 左右；未利用地以剧烈侵蚀为主，占整个土壤侵蚀面积的 8% 左右；耕地在各

侵蚀强度等级都有分布，占整个土壤侵蚀面积的 8% 左右；建设用地以轻度侵蚀为主，占整个土壤侵蚀面积的 7%~8%；林地以微度侵蚀和轻度侵蚀为主，且只占整个土壤侵蚀面积的 1%~2%，说明林地的土壤侵蚀发生率较低。分析可见，草地是控制研究区土壤侵蚀的主要土地利用类型。

同一区域不同时期土地利用类型的土壤侵蚀序列不确定。1976 年的土壤侵蚀序列为草地>未利用地>耕地>建设用地>林地，1988 年的土壤侵蚀

序列为草地> 耕地> 建设用地> 未利用地> 林地, 2000 年的土壤侵蚀序列为草地> 未利用地> 耕地> 建设用地> 林地。1976–1988 年土壤侵蚀序列发生了变化, 是由于耕地的增加和建设用地的扩张, 导致耕地和建设用地的土壤侵蚀发生率增加, 1988

–2000 年由于草地的退化和耕地的减少, 导致未利用地土壤侵蚀发生率增加, 同时, 土壤侵蚀序列也表明草地是控制研究区土壤侵蚀的主要土地利用类型。2005 年土地利用类型中, 水域类型中增加了冰雪覆盖, 因此不做土壤侵蚀序列的比较。

表 4 1976 年、1988 年、2000 年不同土地利用类型下的土壤侵蚀面积比例

地类	年份	微度	轻度	中度	强度	极强度	剧烈	合计
耕地	1976	1.17	1.55	1.36	1.10	1.28	1.60	8.06
	1988	0.81	1.50	1.53	1.20	1.41	1.76	8.22
	2000	0.70	1.47	1.46	1.18	1.39	1.88	8.07
	2005	2.49	1.27	0.56	0.47	0.78	1.78	7.34
林地	1976	0.75	0.30	0.13	0.09	0.08	0.08	1.42
	1988	0.97	0.52	0.13	0.06	0.03	0.02	1.73
	2000	1.12	0.53	0.10	0.08	0.03	0.01	1.88
	2005	0.89	0.38	0.05	0.02	0.02	0.02	1.38
草地	1976	8.10	17.84	18.45	15.18	9.82	2.87	72.26
	1988	6.55	18.27	19.60	16.39	10.73	1.93	73.47
	2000	6.55	18.06	19.23	15.98	10.26	1.79	71.87
	2005	8.01	15.23	17.74	13.00	8.68	3.04	65.71
水域	1976	0.60	0.14	0.11	0.12	0.15	0.43	1.54
	1988	0.72	0.28	0.25	0.22	0.32	0.76	2.54
	2000	0.59	0.24	0.19	0.19	0.25	0.64	2.11
	2005	6.09	0.29	0.21	0.18	0.30	1.13	8.20
未利用地	1976	0.51	0.70	0.88	0.86	0.88	5.92	9.74
	1988	0.35	0.49	0.49	0.51	0.51	4.15	6.49
	2000	0.42	0.45	0.49	0.55	0.70	5.48	8.09
	2005	1.05	0.24	0.33	0.29	0.24	6.74	8.88
建设用地	1976	6.40	0.20	0.11	0.08	0.09	0.09	6.97
	1988	7.31	0.14	0.05	0.02	0.02	0.01	7.55
	2000	7.84	0.10	0.03	0.01	0.00	0.00	7.98
	2005	8.37	0.06	0.02	0.02	0.01	0.01	8.49
合计	1976	17.53	20.72	21.04	17.43	12.30	10.98	100.00
	1988	16.70	21.19	22.04	18.41	13.03	8.63	100.00
	2000	17.22	20.85	21.50	18.00	12.64	9.80	100.00
	2005	26.90	17.46	18.91	13.98	10.03	12.72	100.00

3.4 土地利用变化与土壤侵蚀变化叠加分析

通过对 1976–1988 年和 1988–2000 年土地利用变化图和土壤侵蚀变化图进行叠加, 并统计分析不同土地利用类型之间的转化对土壤侵蚀变化的影响。2000–2005 年与 1988–2000 年土地利用变化与土壤侵蚀变化方式类似, 则将 1988–2000 年变化近似作为 1988–2005 年。结果表明, 土壤侵蚀变化主要在耕地、林地、草地、未利用地(裸地)这 4 种土地利用方式变化中(表 5)。

不同土地利用类型之间的转化对土壤侵蚀变化

的影响体现为: 耕地转为林地或建设用地对土壤侵蚀强度有减弱作用; 耕地或林地转为草地有增强土壤侵蚀的作用; 耕地、林地或草地转为建设用地对土壤侵蚀强度有增强作用也有减弱作用, 因为建设用地建设时土壤侵蚀强度大, 而建成后土壤侵蚀强度小, 这一点可以从表 5 中的 2、3 两种土地利用变化方式中体现; 草地转耕地或未利用地对土壤侵蚀强度有增强作用; 未利用地转为草地对土壤侵蚀强度有减弱作用。在表 5 中, 土地利用变化方式编号如下: 1、耕地转为林地、草地和建设用地, 2、林地转为

草地和建设用地, 3、草地转为耕地、建设用地和未利用地(裸地), 4、未利用地转为草地。

表 5 不同土地利用下土壤侵蚀强度变化比例 %

土地利用变化方式编号	土壤侵蚀强度变化			
	1976- 1988 年		1988- 2005 年	
	减弱	增强	减弱	增强
1	11.54	0.78	18.75	0.20
2	25.26	18.5	7.97	1.69
3	3.88	17.2	3.35	20.72
4	21.95	0.37	30.97	1.44

4 结论与建议

在 GIS 和 RS 技术支持下, 对拉萨市城关区土地利用与土壤侵蚀的关系进行了分析。分析表明, 土地利用与土壤侵蚀变化存在着一定的耦合关系, 土地利用变化是导致土壤侵蚀强度变化的主要因素, 这与前人的分析一致。草地的土壤侵蚀发生率最高, 新增的草地来自于林地退化和耕地的弃耕, 而过度放牧、破坏草地、鼠害和气候原因等, 导致草场退化。草地是控制研究区土壤侵蚀的主要土地利用类型, 草地的转变是研究区土壤侵蚀强度变化的主要因素, 那么, 草地的水土流失防治是不可忽视的。

与 1976- 1988 年相比, 1988- 2005 年土地利用的布局使生态环境系统有一定改善。总体上看, 1976- 1988 年研究区土壤侵蚀趋向严重, 1988 年以后土壤侵蚀有所减轻。但草地所引起的土壤侵蚀还在加重, 急需治理, 提出以下建议: (1) 加大水土保持宣传力度, 提高全民的水土保持意识, 坚决制止农牧民过度放牧, 破坏草地的行为, 使农牧民养成科学放牧, 合理利用土地资源。(2) 抓好人工草地建设和改良天然草地。围栏封育轮牧, 是保护和改良天然草

地最为简单易行的措施。(3) 加强治理草原鼠害。高原鼠兔有很强的挖掘能力, 以牧草为食, 对草地的危害极为严重, 破坏土壤、草场退化、草皮滑塌, 造成水土流失。(4) 在土壤水力侵蚀严重区域加强水保工程措施。总之, 合理的土地利用能预防和减少土壤侵蚀, 使生态环境日趋良好。

参考文献:

[1] 吴秀芹, 蔡运龙. 土地利用/ 土地覆盖变化与土壤侵蚀关系研究进展[J]. 地理科学进展, 2003, 22(3): 576- 584.

[2] 邹亚荣, 张增, 周全斌, 等. 基于 GIS 的土壤侵蚀与土地利用关系分析[J]. 水土保持研究, 2002, 9(1): 67- 69.

[3] 王思远, 王光谦, 陈志祥. 黄河流域土地利用与土壤侵蚀的耦合关系[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(1): 32- 37.

[4] 吴楠, 何方, 姚孝友, 等. 基于 RS 和 GIS 的淮河上游山区土地利用方式与土壤侵蚀强度的研究[J]. 安徽农业大学学报, 2007, 34(4): 589- 595.

[5] 张建国, 文安邦, 柴宗新, 等. 西藏自治区土壤侵蚀特点及现状[J]. 山地学报, 2003, 21(增刊): 148- 152.

[6] 赵军, 葛翠萍, 孟凯, 等. 海伦市土地利用与土壤侵蚀时空变化分析[J]. 水土保持通报, 2007, 27(2): 67- 71.

[7] 许月卿, 蔡运龙, 彭建. 土地利用变化的土壤侵蚀效应评价[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 41- 61.

[8] 西藏自治区拉萨市农牧局. 西藏拉萨土地资源[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1993: 225- 262.

[9] 王静. 土地资源遥感监测与评价方法[M]. 北京: 科学出版社, 2006.

[10] 西藏自治区土地管理局. 西藏自治区土地利用[M]. 北京: 科学出版社, 1992.

[11] 中华人民共和国水利部. 土壤侵蚀分类分级标准. 中华人民共和国行业标准 SL190- 196[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.

(上接第 34 页)

[3] 阮沈勇, 黄润秋. 基于 GIS 的信息量法模型在地质灾害危险性区划中的应用[J]. 成都理工学院学报, 2001, 28(1): 89- 92.

[4] 光磊. 基于 GIS 的信息量法在滑坡危险性评价中的应用[J]. 地质与资源, 2005, 14(3): 231- 233.

[5] 崔爱平. 应用信息系统空间分析和袭扰系数法对略阳县地质灾害易发区的划分[J]. 灾害学, 2004, 19(2): 51- 55.

[6] 傅卫东. 地质灾害易发性区划研究与防治对策[D]. 北京: 中国地质大学, 2005.