

基于 GIS 的富阳市水土流失空间背景特征分析

王小明¹, 钟绍柱², 周本智¹, 曹永慧¹, 王 刚¹

(1. 中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 浙江省富阳市水利局, 浙江 富阳 311400)

摘要: 借助地理信息系统软件 ArcGIS 空间分析平台, 利用增强型专题绘图仪(ETM)遥感图像和地理空间数据库, 定量分析了浙江省富阳市不同水土流失程度下的地理特征(坡度、坡向、高程、土地利用方式等), 揭示了研究区域土壤侵蚀与地理环境背景的空间关系。结果表明: 水土流失的地理环境分异明显, 94.57%的水土流失发生在 500 m 以下高度带; 85.33%的水土流失集中在 15°~35°的坡度上; 57.23%的水土流失发生在南坡; 49.40%的水土流失分布于黄泥土; 76.85%的强度及其以上程度水土流失发生在园地; 58.35%的水土流失发生在低山丘陵区。图 1 表 7 参 22

关键词: 水土保持学; 地理信息系统; 水土流失; 地理环境; 空间关系; 富阳市

中图分类号: S157.1 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2011)02-0280-07

GIS-based analysis of spatial characteristics of soil erosion in Fuyang

WANG Xiao-ming¹, ZHONG Shao-zhu², ZHOU Ben-zhi¹, CAO Yong-hui¹, WANG Gang¹

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, The Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China;

2. Fuyang Water Conservancy Bureau, Fuyang 311400, Zhejiang, China)

Abstract: This paper analyzed the geographical features of different soil erosion intensities such as gradient, slope direction, altitude and land utilization with the ETM remote sensing images and geographical spatial database by the platform of ArcGIS analysis, to reveal the spatial relationship between soil erosion and its geographical environmental background. The results showed that soil erosion had high selectivity of geographical factors. 94.57% of soil erosion occurred in areas below the altitude of 500 m, 85.33% in the areas with gradients between 15° - 35°, and 57.23% in southern slopes, 49.40% in areas with yellow soil; 76.85% of high-intensity soil erosion were found in garden land and 58.35% in low mountains and hills. [Ch, 1 fig. 7 tab. 22 ref.]

Key words: water and soil conservation; GIS; soil erosion; geographical environment; spatial relationship; Fuyang City

水土流失是中国主要的生态环境问题之一, 对区域的生态安全有很大的影响。研究水土流失与环境因子的定量关系对区域经济发展有着重要的意义。土壤侵蚀一直是遥感、地理信息系统研究的一个重要领域, 国内外运用遥感(RS)和地理信息系统(GIS)在水土流失研究方面已做了许多工作, 也取得了显著成效^[1-4]。水土流失过程极其复杂, 影响因素众多。在无法获取年平均侵蚀模数的情况下, 可以利用遥感和地理信息系统技术, 结合地形数据, 通过对分析不同区域地形地貌、土地利用和土壤类型等地理环境因子与水土流失的相关关系, 从而确定水土流失强度级别^[5-8]。如今, 生态环境保护和经济开发之间

收稿日期: 2010-07-26; 修回日期: 2010-10-21

基金项目: “十一五”国家科技支撑重大项目(2006BAD03A1806); 中国林业科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目(CAFYBB2008006); 中国林业科学研究院亚热带林业研究所中央级公益性科研院所基本科研业务费专项基金重点项目(RISF060701)

作者简介: 王小明, 助理研究员, 博士, 从事地理信息系统在植物生态学应用研究。E-mail: rsfys@126.com。

通信作者: 周本智, 研究员, 从事森林生态与森林水文的研究。E-mail: benzhi_zhou@126.com

的矛盾已越发突出。地理环境因子与水土流失的关系一直是人们研究的重要内容。近年来,地理信息系统技术的高速发展使定量计算大区域范围的土壤侵蚀成为可能^[9-12]。采用遥感图像和地理信息系统相结合的方法,通过地理信息系统空间分析模块可以深入研究土壤侵蚀与各种地理因子之间的关系,实现海量空间数据的信息挖掘和新知识的生成^[13]。然而,当前利用地理信息系统、遥感与地理环境因子在县域尺度上进行水土流失空间背景特征的定量研究并不多见。为此,笔者以浙江省富阳市为研究区域,通过遥感影像和野外调查进行信息采集,在地理信息系统支持下建立流域环境数据库,将水土流失强度分布图与流域环境因子实施空间叠加分析,从而进行研究区水土流失的空间背景特征及原因的定量评价和监测研究。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区设在浙江省富阳市。富阳位于浙江省西北部,富春江横贯市境中部,流程 52.0 km,全市河流均属富春江水系。地理坐标为 29°44′ ~ 30°12′N, 119°25′ ~ 120°19′E, 总面积 1 831.2 km²。地貌以“两山夹江”为特点,平均海拔为 300.5 m,东南部和西北部多山,中部多丘陵,江河两岸、溪谷两旁为河谷平原。境内最高海拔为 1 067.6 m,最低海拔 6.0 m。主要有红壤、黄壤、石灰岩土、潮土、水稻土等 5 个土类,13 个土属 42 个土种。富阳市地处北亚热带南缘,年平均气温为 16.1℃,≥10℃积温 5 100.0℃,年平均无霜期 232.0 d,年平均日照总时数 1 995.0 h。水土流失的主要影响因子包括自然因素(地形、降水、土壤和植被)和人为因素(植被破坏、不合理开垦和开矿)两大方面。由于研究区人口密度高,土地集约化经营程度高,对丘陵山地人为干扰较强,再加上森林植被质量不高,存在水土流失现象,局部滑坡和泥石流等自然灾害时有发生。

1.2 研究数据及方法

1.2.1 研究数据 本研究中,选用陆地卫星 7 增强型专题绘图仪(Landsat 7 ETM) + 7 个波段的遥感影像(2006 年),富阳市 1:5 万土地利用类型图(2006 年)、数字高程模型(DEM)数据(1:5 万)、富阳市 1:5 万土壤图(1989 年)。利用地理信息系统软件 ArcGIS,将上述图件扫描,数字化,建库。

1.2.2 因子提取 ①海拔、坡度坡向图:运用 ArcGIS 软件和 DEM 生成研究区海拔、坡度和坡向图。②植被覆盖度制图:由于研究区植被覆盖率达 68.5%,对于植被旺盛、覆盖度高的地区可采用归一化植被指数法(NDVI)计算研究区植被覆盖度^[14],计算公式如下: $f_c = (I_{NDV} - I_{NDVmin}) / (I_{NDVmax} - I_{NDVmin})$ 。③土地利用和土壤类型图:直接由研究区 1:5 万土地利用类型图和 1:5 万土壤图矢量化后获得。④水文地貌分类图:根据流域水文地貌条件,结合海拔和坡度等地形因子,利用空间分析方法把流域划分为平原、丘陵、山地和台地等生态区域^[15-17]。栅格计算时统一采用 25 m × 25 m。此外,所有数据均采用统一的 Krasovsky_1940_Transverse_Mercator 投影进行空间计算。

1.2.3 利用已有的数据,制作研究区水土流失强度图 按照全国水土流失类型区的划分,富阳市的水土流失状况,主要是水力侵蚀,其表现形式主要是坡面面蚀。除了水力侵蚀这一表现形式以外,在部分山区有滑坡、崩塌等重力侵蚀。利用研究区土地利用现状图、植被覆盖度和坡度图及表 1 中的指标,对研究区各土地斑块进行水土流失强度分级。并通过野外考察修正,得到研究区水土流失强度图(图 1),并统计不同地理环境因子水土流失程度的分布面积^[7,18]。

1.2.4 水土流失与地理环境因子的相关分析 海拔高度、坡度、坡向、土地利用、土壤类型等地形和地貌因子是水土流失产生的重要影响因素^[19]。为了获取水土流失与上述地理因子的相关性,将研究区水土流失强度图分布分别与海拔、坡度、坡向和土地利用类型图分级叠加,得出研究区水土流失与地理环境因子相关性表格(表 2 ~ 7)。

2 结果与分析

2.1 水土流失的总体特征

统计表明:研究区水土流失面积达 13.9 万 hm², 占总土地面积的 76.36%。其中,以轻度和中度水土流失为主,占水土流失总面积的 94.95%。强度及其以上程度的水土流失较少,仅占研究区总面积的 3.85%。

表1 水蚀定量判别因子匹配模型

Table 1 Matching model of quantitative discriminant factors of soil erosion

土地类型	覆盖度/%	地面坡度					
		<5°	5°~8°	8°~15°	15°~25°	25°~35°	>35°
非耕地	60~75	微度	轻度	轻度	轻度	中度	中度
	45~60	微度	轻度	轻度	中度	中度	强度
	30~45	微度	轻度	中度	中度	强度	极强度
	<30	微度	中度	中度	强度	极强度	剧烈
坡耕地		微度	轻度	中度	强度	极强度	剧烈
水域、城镇、居民点				微度			

2.2 水土流失与地貌类型的关系

研究区地貌图与水土流失强度图进行叠加分析(表2)。结果表明,水土流失主要发生在丘陵和山地,分别占侵蚀总面积的58.35%和38.31%。丘陵区中度及其以上程度的水土流失面积均显著的高于其他各地貌类型的侵蚀面积,表明丘陵区是研究区水土流失的主要地貌类型。原因在于,丘陵区由于水热等自然条件较好,交通便利,香榧 *Torreya grandis* 'Merrillii', 山核桃 *Carya cathayensis*, 板栗 *Castanea mollissima* 等主要干水果和毛竹 *Phyllostachys pubescens* 的苗木和果蔬等特色农业产业均布局于此,人为干扰强度较大,造成一定程度的土壤侵蚀。

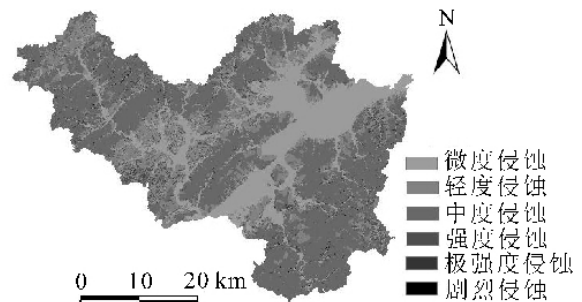


图1 研究区水土流失强度分布图

Figure 1 Spatial distribution of soil erosion

表2 研究区水土流失与地貌类型的相关特征统计

Table 2 Related feature tables between soil erosion and terrain

类型	平原		丘陵		山地		台地	
	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%
微度	37 193.69	86.40	5 661.80	13.15	176.07	0.41	18.13	0.04
轻度	2 927.44	7.41	29 920.99	75.69	6 536.47	16.53	146.58	0.37
中度	1 164.18	1.26	45 636.63	49.33	45 406.58	49.08	299.48	0.32
强度	99.07	1.71	4 685.22	81.06	981.47	16.98	14.51	0.25
极强度	1.71	0.15	834.87	72.60	312.36	27.16	0.98	0.08
剧烈	0.03	0.03	56.10	63.17	32.69	36.81	0.00	0.00
百分比/%	3.01		58.35		38.31		0.33	

2.3 水土流失与坡度坡向的关系

用坡度坡向图与水土流失强度分布图分别叠加,得到它们之间的相关特征统计(表3和表4),发现水土流失主要集中在15°~35°的坡度上,其侵蚀面积占到了85.33%,其中坡度为25°~35°的侵蚀面积最大,达到58.04%。该区域多为土层浅薄的陡坡,土地利用方式为园地,主要种植茶叶 *Camellia sinensis*, 果树和苗木培育等生产活动,加之坡地开垦等不合理经营活动,造成部分丘陵山地产生水土流失,局部地方比较严重。研究区内丘陵山地多,其面积要占总土地面积的70.00%,地面坡度大,地形破碎;年降水量大,日最大降水量可达100~200 mm。由此可见:坡度与水土流失关系密切,坡度越大,水土流失越剧烈。35°以上区域水土流失仅占4.54%,主要原因在于35°以上陡坡区域均为生态保护区,森林覆盖率高,人为活动少,基本没有生产经营活动发生。

在坡向方面，水土流失主要发生在阳坡，其侵蚀面积占到 57.23%，其次为半阳坡和半阴坡，分别占 21.27%和 20.76%，阴坡与平缓地基本没有水土流失。结果表明，坡向与水土流失关系密切。南坡由于水热条件优越，最适宜农业生产经营，大部分的农业活动都首选阳坡，这是导致水土流失集中在阳坡发生的主要原因。

表 3 研究区水土流失与坡度的相关特征统计

Table 3 Related feature tables between soil erosion and slope

类型	<6°		6° ~ 15°		15° ~ 25°		25° ~ 35°		>35°	
	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%
微度	37 964.64	88.19	3 647.33	8.47	1 168.54	2.71	244.18	0.57	24.99	0.06
轻度	1 589.88	4.02	6 228.33	15.76	31 713.26	80.22	0.00	0.00	0.00	0.00
中度	0.67	0.00	6 265.06	6.77	524.37	0.57	79 546.43	85.99	6 170.34	6.67
强度	0.00	0.00	0.00	0.00	5 720.36	98.96	8.48	0.15	51.42	0.89
极强度	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1149.91	100.00	0.00	0.00
剧烈	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	88.81	100.01
百分比/%	1.14		8.98		27.30		58.04		4.54	

表 4 研究区水土流失与坡向的相关特征统计

Table 4 Related feature tables between soil erosion and aspect

类型	阴坡		半阳坡		阳坡		平缓地		半阴坡	
	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%
微度	3 856.08	8.96	10 650.70	24.74	18 325.25	42.57	396.88	0.92	9820.77	22.81
轻度	404.31	1.02	9 137.78	23.12	21 376.36	54.07	0.00	0.00	8613.03	21.79
中度	444.75	0.48	17 922.53	19.37	54 841.49	59.28	0.00	0.00	19 298.10	20.86
强度	154.47	2.67	1 492.88	25.83	2 697.52	46.67	0.00	0.00	1 435.39	24.83
极强度	35.27	3.07	291.86	25.38	605.96	52.70	0.00	0.00	216.82	18.86
剧烈	1.16	1.31	17.60	19.82	61.79	69.57	0.00	0.00	8.27	9.31
百分比/%	0.75		20.76		57.23		0.00		21.27	

2.4 水土流失与高程的关系

研究区水土流失与高程图叠加得到表 5 的相关数据。可以看到海拔越低，水土流失越显著，水土流失主要发生在 500 m 以下区域，占水土流失总面积的 94.57%。其中 200 m 以下区域强度和极强度水土

表 5 研究区水土流失与高程的相关特征统计

Table 5 Related feature tables between soil erosion and elevation

类型	<200 m		200 ~ 500 m		500 ~ 800 m		>800 m	
	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%
微度	42 751.86	99.31	282.17	0.66	15.65	0.04	0.00	0.00
轻度	30 510.15	77.18	7 919.93	20.03	1 087.77	2.75	13.62	0.03
中度	26 282.66	28.41	59 978.98	64.84	6 171.75	6.67	73.48	0.08
强度	4 256.58	73.64	1 357.95	23.49	165.74	2.87	0.00	0.00
极强度	674.18	58.63	446.41	38.82	29.32	2.55	0.00	0.00
剧烈	36.87	41.52	47.94	53.99	4.00	4.50	0.00	0.00
百分比/%	44.41		50.16		5.36		0.06	

流失面积分别比 200 ~ 500 m 区域多 2 898.63 hm² 和 227.77 hm², 500 m 以上区域水土流失比例很小, 原因在于, 500 m 以上区域由于海拔较高, 交通不便, 农业生产经营成本较高, 人为活动较少。森林覆盖率高等原因, 所以水土流失较小。

2.5 水土流失与土壤类型和土地利用的关系

研究区土壤类型图和土地利用现状图与水土流失强度图进行叠加分析(表 6 和表 7)。结果表明: 水土流失主要发生在黄泥土上, 占侵蚀总面积的 49.40%, 其次为红泥土, 占 17.64%。研究区黄泥土中度及其以上程度的水土流失面积在各土壤类型中均显著的高于其他各土壤类型的侵蚀面积, 表明黄泥土是研究区水土流失的主要土壤类型^[20-21]。

土地利用类型与水土流失关系密切。研究区水土流失主要发生在有林地和灌草地, 两者占水土流失总面积的 88.30%, 水土流失程度以中轻度为主。研究区虽然森林覆盖率虽高(68.4%), 但森林整体质量不高, 林分单位面积平均蓄积量仅为 29.9 m³·hm⁻², 远低于浙江省的平均水平 40.5 m³·hm⁻²; 树种以马尾松 *Pinus massoniana*, 杉木 *Cunninghamia lanceolata* 等针叶树种为主, 针叶林共占有林地总面积的 52.5%。研究区灌木林和竹林面积较大, 分别占有林地面积 22.0%和 19.1%。这些类型植被的持水固土、涵养水源等生态功能较弱; 而蓄水保土功能比较强的阔叶林面积只占有林地总面积的 9.7%。加之坡地开垦等不合理经营活动, 造成部分山地水土流失较重。统计结果显示: 研究区 76.85%的强度及其以上程度水土流失发生在园地, 表明研究区园地水土流失较严重。其原因在于研究区毛竹, 香榧, 山核桃, 杨梅 *Myrica rubra*, 板栗和茶叶等经济作物集约化经营程度较高, 人为干扰强烈, 此外还存在因营林不当造成的水土流失。

表 6 研究区水土流失与土壤类型的相关特征统计

Table 6 Related feature tables between soil erosion and soil type

类型	黄泥土		红泥土		石砂土		山地黄泥土		其他类型	
	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%
微度	1 980.66	4.63	3 918.82	9.16	281.92	0.66	9.72	0.02	36 603.52	85.53
轻度	11 951.13	30.66	13 402.92	34.39	2 035.05	5.22	576.93	1.48	11 010.53	28.25
中度	53 604.51	58.46	9 721.04	10.60	6 754.84	7.37	5 704.44	6.22	15 906.70	17.35
强度	2 403.69	41.78	1 315.63	22.87	190.26	3.31	109.69	1.91	1 733.62	30.13
极强度	668.43	58.10	95.37	8.29	70.08	6.09	13.49	1.17	303.12	26.35
剧烈	64.22	72.45	1.57	1.77	3.50	3.94	1.42	1.60	17.94	20.23
百分比/%	49.40		17.64		6.51		4.61		20.83	

表 7 研究区水土流失与土地利用的相关特征统计

Table 7 Related feature tables between soil erosion and landuse

类型	耕地		园地		有林地		灌草地		建设用地和水域	
	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%
微度	15 811.81	36.73	3 886.83	9.03	967.81	2.25	376.90	0.88	22 006.33	51.12
轻度	2 206.75	5.58	1 319.63	3.34	29 241.97	73.97	6 679.43	16.90	83.69	0.21
中度	2 306.36	2.49	3 605.31	3.90	71 482.78	77.27	15 040.38	16.26	72.04	0.08
强度	1 078.57	18.66	4 378.24	75.74	70.10	1.21	219.89	3.80	33.46	0.58
极强度	152.85	13.29	939.68	81.72	9.29	0.81	40.75	3.54	7.34	0.64
剧烈	8.99	10.12	76.12	85.70	0.31	0.35	3.20	3.61	0.20	0.23
百分比/%	4.14		7.42		72.49		15.81		0.14	

3 结论与讨论

水土流失表现出明显的空间分异特征：水土流失主要发生在海拔 500 m 以下区域，占水土流失总面积的 94.57%。其中 200 m 以下区域强度和极强度水土流失面积分别比 200 ~ 500 m 区域多 2 898.6 和 227.8 hm²，500 m 以上区域水土流失比例很小。坡度与水土流失关系密切，水土流失主要集中在 15° ~ 35° 的坡度上，其侵蚀面积占到了 85.33%，其中坡度为 25° ~ 35° 的侵蚀面积最大，达到 58.04%。研究区水土流失对坡向选择性较高，水土流失主要发生在南坡，其侵蚀面积占到 57.23%。

水土流失与其空间背景特征关系密切。研究区水土流失主要发生在有林地和灌草地，两者占水土流失总面积的 88.30%，水土流失程度以中轻度为主。园地水土流失较严重，76.85% 的强度及其以上程度水土流失发生在园地。黄泥土是研究区水土流失的主要土壤类型，占侵蚀总面积的 49.40%。研究表明：研究区水土流失较严重的区域主要分布在人类活动频繁，植被覆盖较低，地形坡度较大的江河沿岸的低山丘陵地区。丘陵和山地的水土流失面积分别占侵蚀总面积的 58.35% 和 38.31%。

本研究的基础数据部分由遥感解译得到，遥感数据本身存在误差必然会影响到分析结果的准确性^[22]。土壤侵蚀是各种自然和社会因素综合作用的结果，地形地貌、土壤和植被是造成水土流失的地理环境因子，土地利用方式及人类不合理的经济活动是造成水土流失的直接原因。受研究数据和手段的限制，本研究仅对研究区人为干扰强度作定性的讨论，缺乏定量化的结果，未能更准确的反映研究区土壤侵蚀的成因，但是研究区水土流失与地理环境因子的关系仍然在图表中得到了充分体现，因此，本研究对当地生态环境保护和经济社会的可持续发展能够起到一定的指导作用。

参考文献：

- [1] 赵晓丽, 张增祥, 周全斌, 等. 中国土壤侵蚀与其地理环境背景的空间关系[J]. 山地学报, 2002, **20** (3): 277 - 283.
ZHAO Xiaoli, ZHANG Zengxiang, ZHOU Quanbin, *et al.* Spatial relationship of soil erosion and its geographical environment background in China [J]. *J Mount Res*, 2002, **20** (3): 277 - 283.
- [2] 刘耀林, 罗志军. 基于 GIS 的小流域水土流失遥感定量监测研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2006, **31** (1): 35 - 38.
LIU Yaolin, LUO Zhijun. Study on quantitative monitoring soil loss in small watershed based on GIS and RS [J]. *Geom Inform Sci Wuhan Univ*, 2006, **31** (1): 35 - 38.
- [3] 彭建, 杨明德. 贵州花江喀斯特峡谷水土流失状态分析[J]. 山地学报, 2001, **19** (6): 511 - 515.
PENG Jian, YANG Mingde. On the present soil erosion situation of Huajiang karst gorge in Guizhou Province [J]. *J Mount Res*, 2001, **19** (6): 511 - 515.
- [4] 李雄飞. 基于 3S 技术的水土流失现状监测研究[J]. 水土保持通报, 2009, **29** (2): 80 - 83.
LI Xiongfei. Soil and water erosion monitoring based on 3S technology [J]. *Bull Soil Water Conserv*, 2009, **29** (2): 80 - 83.
- [5] 贺奋琴, 何政伟, 尹建忠. 基于遥感和 GIS 的水土流失因子信息提取与分级定标研究——以攀枝花市为例[J]. 测绘科学, 2006, **31** (4): 126 - 129.
HE Fenqin, HE Zhengwei, YIN Jianzhong. Gradation calibration and information extraction of soil and water loss factors based on RS and GIS: the case of Panzhihua City [J]. *Sci Surv Map*, 2006, **31** (4): 126 - 129.
- [6] 贺奋琴. 基于 RS 和 GIS 的水土流失因子提取与分析——以攀枝花市为例[D]. 成都: 成都理工大学, 2004: 360 - 381.
HE Fenqin. *Analysis and Extraction of Soil and Water Loss Factors Based on RS and GIS: the Case of Panzhihua City* [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2004: 360 - 381.
- [7] 杨存建, 刘纪远, 张增祥. 重庆市水土流失及其背景的空间分析[J]. 水土保持学报, 2000, **14** (3): 84 - 87.
YANG Cunjiang, LIU Jiyuan, ZHANG Zengxiang. Soil erosion and spatial analysis of its background in Chongqing City [J]. *J Soil Water Conserv*, 2000, **14** (3): 84 - 87.
- [8] 李月臣, 刘春霞, 赵纯勇, 等. 三峡库区重庆段水土流失的时空格局特征[J]. 地理学报, 2008, **63** (5): 502 - 513.

- LI Yuechen, LIU Chunxia, ZHAO Chunyong, *et al.* Spatiotemporal features of soil and water loss in the Three Gorges Reservoir Area of Chongqing [J]. *Acta Geogr Sin*, 2008, **63** (5): 502 – 513.
- [9] 史明昌, 李智广. 新技术在我国水土保持中的应用[J]. 水土保持研究, 2005, **12** (2): 1 – 3.
SHI Mingchang, LI Zhiguang. Application of new technologies to soil and water conservation in China [J]. *Res Soil Water Conserv*, 2005, **12** (2): 1 – 3.
- [10] 姬翠翠, 李晓松, 曾源, 等. 基于遥感和 GIS 的宣化县水土流失定量空间特征分析[J]. 国土资源遥感, 2010 (2): 107 – 112.
JI Cuicui, LI Xiaosong, ZENG Yuan, *et al.* The ration spatial distribution of soil loss based on remote sensing and GIS in Xuanhua County [J]. *Remote Sens Land Resour*, 2010 (2): 107 – 112.
- [11] 张雪峰, 何政伟, 薛东剑. 金沙江流域东川地区水土流失分析[J]. 灾害学, 2010, **25** (1): 50 – 53.
ZHANG Xuefeng, HE Zhengwei, XUE Dongjian. Analysis on water and soil erosion of Dongchuan Area in Jinsha Valley [J]. *J Catastrophol*, 2010, **25** (1): 50 – 53.
- [12] 刘波, 王培法, 余江峰, 等. 基于 GIS 和 RS 的长清区南部山区水土流失研究[J]. 遥感信息, 2009 (6): 15 – 19.
LIU Bo, WANG Peifa, SHE Jiangfeng, *et al.* Soil and water loss research in south mountainous area of Changqing District Based on GIS and RS [J]. *Remote Sens Inform*, 2009 (6): 15 – 19.
- [13] 汤国安, 杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [14] 魏兴萍. 基于 RS 和 GIS 的重庆南川区水土流失变化研究[J]. 水土保持研究, 2009, **16** (5): 60 – 65.
WEI Xingping. Soil erosion change research at Nanchuan District in Chongqing based on RS and GIS [J]. *Res Soil Water Conserv*, 2009, **16** (5): 60 – 65.
- [15] 李玉凤, 刘红玉. 基于水文地貌分类的湿地干扰评价研究——以挠力河流域为例[J]. 生态与农村环境学报, 2008, **24** (1): 15 – 19, 54.
LI Yufeng, LIU Hongyu. Assessment of wetland disturbance based on hydrogeomorphic classification: a case study of Naoli River Valley [J]. *J Ecol Rural Environ*, 2008, **24** (1): 15 – 19, 54.
- [16] KWI G K, MIY P, HEE S C. Developing a wetland-type classification system in the Republic of Korea [J]. *Landscape Ecol Eng*, 2006 (2): 93 – 110.
- [17] 田雨, 林宗坚, 李成名, 等. 基于遥感和 GIS 的区域生态环境分类研究[J]. 测绘科学, 2004, **29** (1): 26 – 28.
TIAN Yu, LIN Zongjian, LI Chengming, *et al.* Study of remote sensing and GIS technology on ecological environmental classification [J]. *Sci Survey Map*, 2004, **29** (1): 26 – 28.
- [18] 蓝士斌. 基于 GIS 和遥感的水土保持应用研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2005: 21 – 27.
LAN Shibin. *Application of Water and Soil Conservation Based on GIS and RS* [D]. Zhengzhou: The PLA Information Engineering University, 2005: 21 – 27.
- [19] 彭建, 杨明德. 贵州花江喀斯特峡谷水土流失状态分析[J]. 山地学报, 2001, **19** (6): 511 – 515.
PENG Jian, YANG Mingde. On the present soil erosion situation of Huajiang Karst Gorge in Guizhou Province [J]. *J Mount Res*, 2001, **19** (6): 511 – 515.
- [20] 路云阁, 许月卿, 蔡运龙. 基于遥感技术和 GIS 的小流域土地利用/覆被变化分析[J]. 地理科学进展, 2005, **24** (1): 79 – 87.
LU Yunge, XU Yueqing, CAI Yunlong. Analysis on land use/land cover changes of small drain basin based on RS and GIS [J]. *Prog Geogr*, 2005, **24** (1): 79 – 87.
- [21] 廖小勇, 陈治谏, 刘邵权, 等. 三峡库区紫色土坡耕地不同利用方式的水土流失特征[J]. 水土保持学报, 2005, **12** (1): 159 – 161.
LIAO Xiaoyong, CHEN Zhijian, LIU Shaoquan, *et al.* Study on soil losses in different land use types of purple slope cropland in the Three Gorges Reservoir Area [J]. *Res Soil Water Conserv*, 2005, **12** (1): 159 – 161.
- [22] 杨胜天, 朱启疆. 人机交互式解译在大尺度水土流失遥感调查中的作用[J]. 水土保持学报, 2000, **14** (3): 88 – 92.
YANG Shengtian, ZHU Qijiang. Affect of man-computer interactive interpretation method in soil erosion survey of large scale by remote sensing [J]. *J Soil Water Conserv*, 2000, **14** (3): 88 – 92.