

南方典型红壤水土流失区地表裸土动态变化分析 ——以福建省长汀县为例

徐 涵 秋

(福州大学环境与资源学院, 福州大学遥感信息工程研究所, 福建 福州 350108)

摘要: 基于遥感数据和改进的双重指数法, 从裸土面积、裸露强度和破碎度三方面研究了福建省长汀县 1988~2010 年的地表裸土时空变化。研究表明, 该县近 22 a 的水土流失治理已大大减轻了地表的裸露程度, 地表裸土面积从 175.5 km² 减少到 86.6 km²; 地表裸露强度从 0.487 下降到 0.383; 裸土破碎度从 0.103 上升到 0.207。在 1988~1999 年和 1999~2010 年的 2 个时间段里, 裸土面积的变化呈现逐渐减少, 减速加快的趋势, 客观地反映了长汀县水土流失治理的重要扶持政策所产生的积极效应。

关 键 词: 水土流失; 裸土; 遥感; 特征信息提取; 长汀县

中图分类号: TP 79; S157 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2013)04-0489-08

水土流失是当今世界面临的一个严峻问题, 其诱发的各种灾害已给人民群众的生产生活带来了极大的危害。中国是世界上水土流失最严重的国家之一, 水土流失的胁迫已造成许多地区的人民群众背井离乡, 另觅他乡。即便是在全国森林覆盖率第一名的福建省, 水土流失现象也相当普遍。而地处福建西部的长汀县, 更是以其严重的水土流失而成为中国南方红壤地区的典型水土流失区, 一直倍受各界的关注。

水土流失在地表上的最典型表现就是大面积的土壤直接裸露地表, 这些裸露的地表是水土流失治理的最主要目标。因此, 无论是水土流失治理或治理成效的评价, 其关键的第一步就是要快速判断地表土壤裸露区及其时空变化。当前, 卫星遥感对地观测系统以其快速、实时、大面积观测的特点在水土流失区调查中有着无可比拟的优势, 遥感技术已成为水土流失治理和评价不可或缺的高新技术^[1]。近年来, 针对长汀地区水土流失的遥感调查也陆续见诸报道, 如长汀县植被覆盖度动态变化遥感监测^[2], 水土流失遥感动态监测方法研究^[3], 以及土壤侵蚀景观格局和侵蚀度变化分析^[4,5]。

虽然遥感技术已被广为应用在水土保持工作中, 但是由于缺乏简便的方法, 利用遥感进行大范

围的裸土制图, 并籍此调查它们动态变化的应用并不多^[1]。因此, 本文以遥感特征信息提取技术为手段, 对长汀县域的地表裸土进行跨度 22 a 的时空变化分析, 这对该县长期水土流失治理成效的科学评价, 对今后治理工作的进一步开展都具有重要的意义。

1 研究区概况

长汀县地处福建西部, 地理位置为 116°00'E~116°40'E, 25°18'N~26°02'N, 面积 3 099 km², 常住人口 39.3 万人。长汀属亚热带季风气候, 年平均气温 18.3℃, 年降水量 1 500~1 700 mm。在地形上, 该县中部下凹, 四周为群山所怀抱。从 1988 年 Landsat 影像(图 1)中可以直观看出, 当时该县大部分为绿色植被所覆盖, 中部大块白中泛红的肾状裸露区即为闻名的河田红壤水土流失区, 也被称为河田盆地^[6]。盆地的基岩多由花岗岩组成, 岩石性脆, 面蚀强烈, 风化后土壤类型以硅铝质红壤和硅铝铁质红壤为主。

2 基本原理与方法

2.1 遥感影像数据和预处理

为避免影像处理过程中可能产生的不确定

收稿日期: 2012-06-16; 修订日期: 2012-09-20

基金项目: 教育部创新团队项目(IRT0960)、国家科技支撑项目(2013BAC08B01)和福建省自然科学基金项目(2011J01269)资助。

作者简介: 徐涵秋(1955-), 男, 江苏射阳人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事环境资源遥感应用研究。E-mail: hxu@fzu.edu.cn

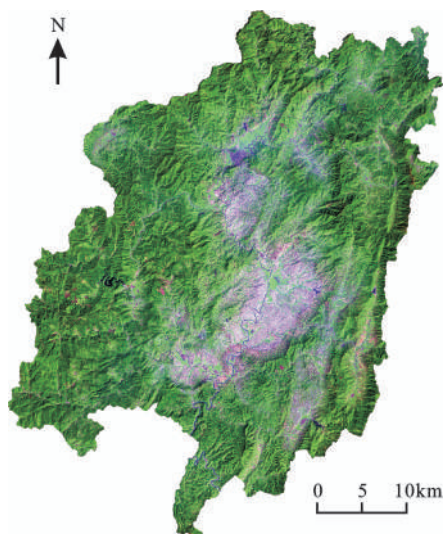


图1 长汀县1988年Landsat TM影像 (RGB: 543合成)

Fig. 1 Landsat TM image (1988) of Changting County (RGB: 543)

性,本次统一采用Landsat系列影像,时间跨度从1988年至2010年。由于该县水土流失的有效治理始于1983年被福建省政府纳入水土保持试验区,并在2000年被福建省政府纳入为民办实事项目后加大了治理力度,因此这一研究时段可以考察这些政策对该县水土流失治理的效应。影像的获取时间为:1988-10-16(TM)、1999-08-20(ETM+)、2004-10-12(TM)和2010-10-29(TM),空间分辨率为30 m。由于2000年之后是被福建省政府纳入为民办实事重点治理后的10 a,所以加入2004年以加密对该时段的考察。

采用Chander等^[7,8]和Chavez^[9]的模型和参数将原始影像的灰度值(DN)转换为传感器处反射率(at-sensor reflectance),以减少不同时相的影像在地形、光照和大气等方面的差异;不同时相的影像之间采用二次多项式和最邻近象元法进行配准,配准的RMS误差小于0.5个象元。

2.2 裸土信息处理

2.2.1 裸土信息提取

裸土信息主要采取遥感指数法进行提取。较之于林林总总的植被指数,土壤指数则少之又少。见之于文献的主要有Kearney等人的归一化差值裸土指数NDSI^[10]和Rikimaru等人的裸土指数BSI^[11]。通过试验,发现NDSI更适合于长汀地区的裸土信息提取,因此选用该指数来提取裸土信息,其公式为:

$$NDSI = (TM5 - TM4) / (TM5 + TM4) \quad (1)$$

式中TM5和TM4分别代表TM影像的第5和第4波段的反射率。

但从该指数的构成可以看出,NDSI实际增强的是地表具有高亮度、低植被覆盖的特征,所以其增强的信息中不仅包含了裸土信息,还包含了部分高反射建筑用地信息。实际上,这一指数也被用来增强建筑用地信息^[12]。从图2可知,由于土壤和建筑用地都具有在TM5波段的反射率大于TM4波段反射率的特征,因此,如果用公式(1)进行计算,土壤和建筑用地都会呈正值而被增强,导致二者的混淆。图3a从光谱特征空间的角度进一步证实土壤与建筑用地混淆的问题。在TM5和TM4波段构成的光谱特征空间中,土壤的散点因与建筑用地的散点相互重叠而无法很好地区分开来。长期以来,裸土与其它地物相混在遥感信息提取中就一直是难题^[1,13,14]。对此,本文引入代表建筑用地的不透水面指数NDISI^[15]来对其进行改进。以双重指数来解决这一问题,NDISI的公式为:

$$NDISI = [(TM6 - (TM5 + TM4 + TM2)/3)] / [(TM6 + (TM5 + TM4 + TM2)/3)] \quad (2)$$

式中的TM6、TM5、TM4、TM2分别代表TM/ETM+影像的第6波段的辐射值和第5、4、2波段的反射率。

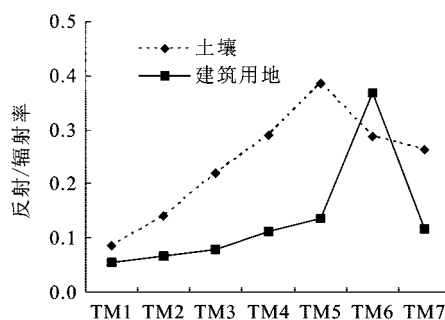


图2 土壤、建筑用地的波谱曲线

Fig. 2 Signatures of bare soil and built-up land

从公式(2)可以看出,NDISI指数的构建采用的特征波段主要是TM6和TM5,土壤和建筑物在这两个波段的表现截然不同。土壤表现为TM5>TM6,而建筑物则表现为TM5<TM6(图2)。利用公式(2)进行处理的结果只会增强建筑用地,而土壤则会呈现负值而被抑制,因此可以用其来滤掉裸土信息中混有的建筑用地信息。从图3b也可以看出,在TM6和TM5所构成的特征空间中,土壤与建筑用地的散点并不重叠,而是很好地相互分离。

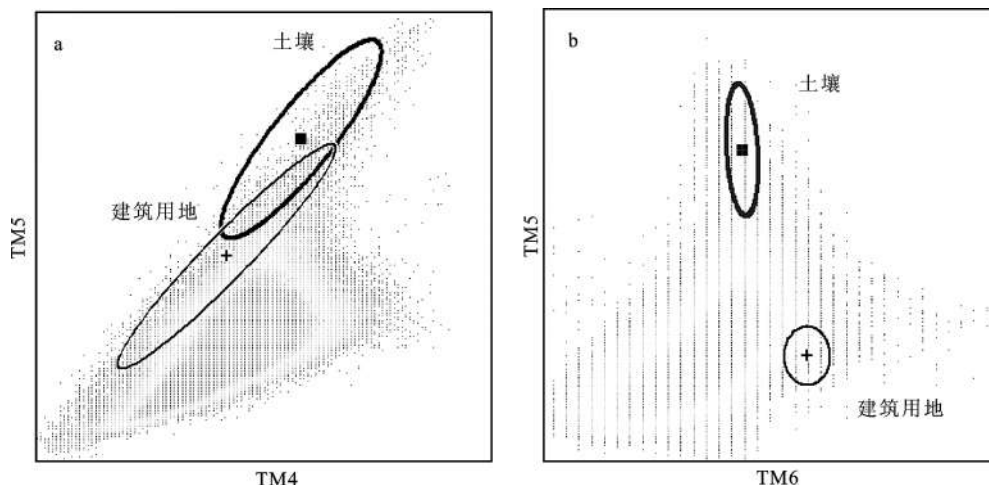


图3 土壤、建筑用地在光谱特征空间中的分布特征

Fig. 3 Scatters of soil and built-up land in the spectral feature spaces of TM5 vs. TM4 (a) and TM6 vs. TM5 (b), respectively

据此,分别用公式(1)、(2)对各时相影像中的裸土和不透水面信息进行增强,获得它们各自的增强影像。由于它们都是归一化指数,根据归一化指数的构建原理,被增强信息的指数值理论上都应呈正值,而被抑制的信息则都应呈负值^[16]。所以被增强的裸土、不透水面信息在它们各自的专题影像中都大于0;而其它非专题的信息都小于0。据此,可以采用式(3)对裸土和不透水面影像进行逻辑运算,滤去裸土信息中混有的建筑用地信息:

$$\begin{cases} \text{If } NDSI_i > 0 \text{ and } NDISI_i > 0 \text{ then } NDSI_i = 0 \\ \text{If } NDSI_i > 0 \text{ and } NDISI_i < 0 \text{ then } NDSI_i = 1 \end{cases} \quad (3)$$

公式(3)意指:如果象元*i*在裸土增强影像和在不透水面增强影像中的指数值都同时大于0,则说明该象元是建筑用地信息,而不是裸土,因此予以滤去;只有当象元*i*在裸土影像中的指数值大于0,而在不透水面影像中小于0,则该象元才是裸土,将其保留。经过这样处理后,NDSI裸土影像中的建筑用地信息就可以被滤去。

必须指出的是,公式(3)中的0是归一化指数的理论阈值,用于区分被增强和被抑制的信息。但实际上这一阈值不会总是0,在应用中,应将其用实际阈值取代。

2.2.2 裸土裸露强度计算

裸土的裸露强度迄今没有一个定量的指标。实际上,地表裸土的亮度直接反映了裸土的裸露强度^[17],因此可以通过裸土指数值NDSI的大小来量化裸土的裸露强度。通过对不同年份提取出的裸土的NDSI值进行正规化,使它们能在统一的量

纲下进行对比^[18-20],正规化的公式为:

$$NDSI'_i = (NDSI_i - NDSI_{\min}) / (NDSI_{\max} - NDSI_{\min}) \quad (4)$$

式中: $NDSI'_i$ 为正规化后的裸土值, $NDSI_i$ 为象元*i*的原NDSI值, $NDSI_{\max}$ 为提取出的原NDSI的最大值, $NDSI_{\min}$ 为提取出的原NDSI的最小值。

经此处理的 $NDSI'_i$ 的值都被统一到0~1之间。进一步将各时相的 $NDSI'_i$ 值按 $NDSI'_i < 0.333$, $0.333 \leq NDSI'_i < 0.667$ 和 $NDSI'_i \geq 0.667$ 划分为3级,依次代表裸土的低、中、高3个裸露强度级。

2.2.3 裸土破碎度计算

将提取出的各年份裸土斑块导入ArcGIS软件中,计算裸土斑块的景观指数统计特征,包括斑块数、斑块面积最大值、最小值、平均值、标准差,并引入分形几何的破碎度^[21],以研究地表裸土完整性的变化,其公式为:

$$F = n/a \quad (5)$$

式中: F 为破碎度, n 为裸土的斑块数, a 为裸土的总面积。 F 值越大,裸土的破碎度越高。

3 结果与讨论

采用上述方法对各年份的影像进行处理,获得它们的裸土信息分布图(图4)。精度验证采用野外实地验证结合高分辨率影像验证的方法。于2010年11月在长汀进行实地验证,而高分辨率影像验证用的是年份对应或接近的SPOT/ALOS的10 m分辨率影像。结果表明,所提取的各时相裸土信息均具有较高的精度,总精度介于92.16%~95.95%,Kappa介于0.887~0.926。在此基础上统计出各年份的地表裸土面积(表1)。

表1 研究区裸土面积变化

Table 1 Area of bare soil cover and its changes during the study period					裸土面积增减				
1988年	1999年	2004年	2010年		1988~ 1999年	1999~ 2010年	1988~ 2010年	1999~ 2004年	2004~ 2010年
裸土面积(km ²)	175.50	134.32	105.73	86.60	-41.18	-47.72	-88.90	-28.59	-19.13
增减比例(%)					-23.46	-35.53	-50.66	-21.28	-18.09
年均变化(km ² /a)					-3.74	-4.34	-4.04	-5.72	-3.19

3.1 裸土面积变化

从表1、图4可以看出,长汀县地表裸土面积在所研究的22 a中有了很大的变化,其面积从175.5 km²下降到86.6 km²,减少了50.66%,净减了88.9 km²,年平均减少4.04 km²。如果将所研究的时间分为1988~1999年和1999~2010年两个各11 a的时间段,可以看出后11 a的裸土面积减少更多,速度更快。这说明2000年福建省政府将其水土流失治理纳入省政府为民办实事项目后,该县的水土流失治理工作明显加快。但从后11 a的治理速度

来看,1999~2004年的速度最快,而2004~2010年的速度有所放缓(表1)。

3.2 裸露强度和破碎程度变化

根据公式(4)、(5)获得各年份裸土的裸露强度和破碎度信息(表2)。从表中可以看出,长汀县的裸露强度呈整体下降趋势,其均值从1988年的0.487下降到2010年的0.383。同时,其标准差也逐渐下降,反映了裸露强度逐渐趋于均一化。从裸土的分级变化情况来看,高裸露度的面积从28.55 km²下降到4.54 km²,占裸土面积比例从

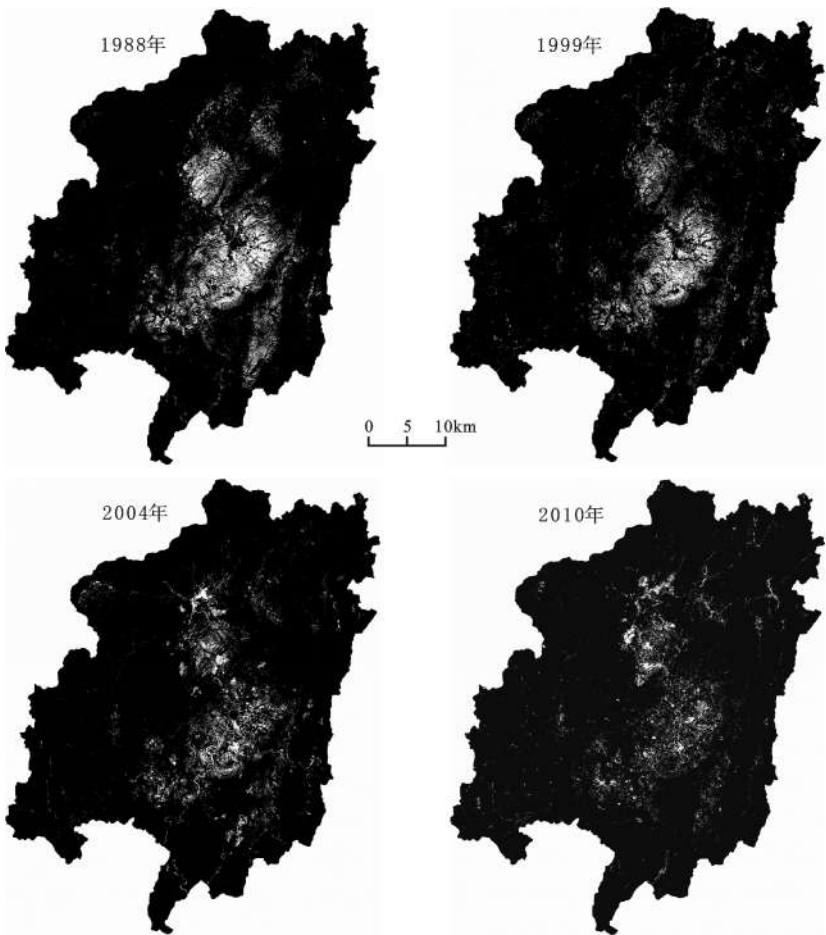


图4 长汀县各时相裸土分布二值影像(白色代表裸土,黑色代表非裸土)

Fig. 4 Binary images representing the extracted bare soils of each study year in Changting County (White: bare soil, Black: non-bare soil)

表2 裸土的裸露强度和破碎程度
Table 2 Exposure intensity and fragmentation degree of bare soils

		1988年		1999年		2004年		2010年	
裸 露 强 度	均值	0.487		0.407		0.435		0.383	
	标准差	0.219		0.188		0.177		0.145	
	低度裸露面积(km ²)	73.80	42.05%	92.73	69.04%	33.53	31.71%	50.45	58.26%
	中度裸露面积(km ²)	73.15	41.68%	34.85	25.94%	62.32	58.95%	31.61	36.50%
	高度裸露面积(km ²)	28.55	16.27%	6.74	5.02%	9.88	9.34%	4.54	5.24%
总裸土面积(km ²)		175.50	100%	134.32	100%	105.73	100%	86.60	100%
破 碎 程 度	斑块数(个)	18479		20719		15998		17729	
	最大面积(km ²)	8.28		5.171		1.980		2.116	
	最小面积(km ²)	0.001		0.001		0.001		0.001	
	平均面积(km ²)	0.010		0.006		0.007		0.005	
	标准差	0.233		0.103		0.050		0.039	
	破碎度	0.103		0.155		0.152		0.207	

16.27%下降到 5.24%，而低裸露度的比例则从 42.05%上升到 58.26%。但从 2004 年来看，其裸土指数的均值大于 1999 年，说明这一时段的裸露强度有一定抬升。

从破碎程度来看，这 22 a 期间，裸土斑块的平均面积从 0.01 km² 下降到 0.005 km²，而破碎度则从 0.103 上升到 0.207，标准差也随之大幅降低，说明裸土的破碎度增强，面积差异减小，呈现出从成片分布到逐渐破碎的趋势。从裸土斑块最大面积可以看出，1988 年的最大裸土斑块面积竟达 8.28 km²，当时到处是泛着红色的连片裸露山包，当地百姓将其称之为“火焰山”。而到了 2010 年，最大裸土斑块面积下降了近 3 倍，那些延绵不尽的“火焰山”已基本不复存在。总的看来，长汀县的水土流失治理不仅减少了地表裸土的分布面积，同时也降低了裸土的裸露强度，减少了大片分布的裸土。

3.3 空间分布变化

图 5 是通过遥感变化检测技术(红绿法)^[22]获得的该县裸土空间变化情况。图 5 中绿色代表裸土减少区，红色代表裸土增加区，黄色代表裸土不变区。总的看来，1988~2010 年的变化图以绿色为主，说明这 22 a 该县的裸土以减少为主，且主要表现在中、南部。从所划分的 2 个阶段来看，1988~1999 年的变化影像少有红色图斑，以绿、黄色调为主，说明该阶段裸土以减少或稳定不变为主；而 1999~2010 年变化影像的颜色却红绿分明，说明这一时期的裸土发生了明显变化，其中、南部仍以代表裸土减少的绿色为主，但在北部却有许多代表

裸土增加的红色大斑块出现。图 4 的 2004 年土壤分布图表明，这一时期北部有一片高亮的裸土，反映了当时县城的扩展；而 2010 年的裸土分布图则表明县城以北工业区的兴建导致了地表裸土亮度的增强。从表 2 的数据也可以看出 2004 年的裸露强度均值明显高于 1999 年，2004 年的斑块平均面积大于 1999 年，而破碎度却低于 1999 年。显然，工程开挖形成的大片高亮度裸土导致了裸土指数均值及其平均斑块面积的上升，从而造成了地表裸露强度的上升。

图 6 是长汀县水土流失最严重的河田盆地 1988~2010 年的裸土空间分布变化图。盆地的低洼处在 1988 年基本裸露。因少有植被覆盖，而形成连片裸露的土壤。馒头状山丘的顶部几乎全部裸露，其间的沟壑只有少量耕地穿插，盆地以代表红壤的微红色调为主，地表裸土亮度很高，生态环境十分恶劣。而到了 2010 年，盆地内成片裸土大量消失，盆地复以绿色为基调，生态明显改善。统计表明河田盆地的裸土面积在这期间从 97.25 km² 下降到 30.45 km²，下降了 68.69%，降幅超过了全县的降幅(50.66%)，显然河田盆地是长汀县的主要水土流失治理区。

以上时空变化分析表明长汀县水土流失治理在近 22 a 内取得显著的成效，这与各级政府的重视和当地人民群众的努力是分不开的。针对河田地区的水土流失治理在解放前就已开始，但并没有取得成效。解放后的相当一段时间内，该区的治理工作也一直是时断时续，收效不明显^[23]。1983

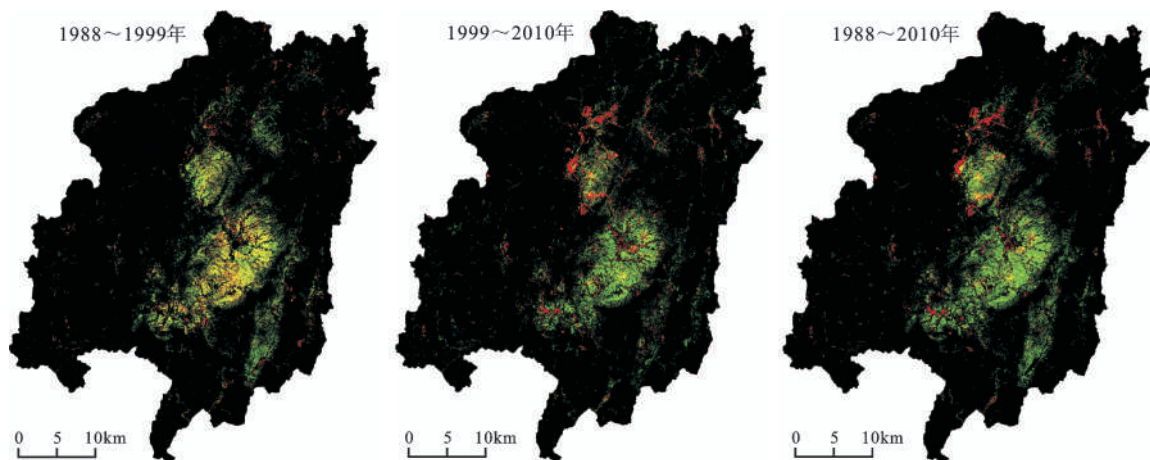


图5 长汀县裸土空间变化检测

Fig. 5 Change detection of bare soils in County Changting

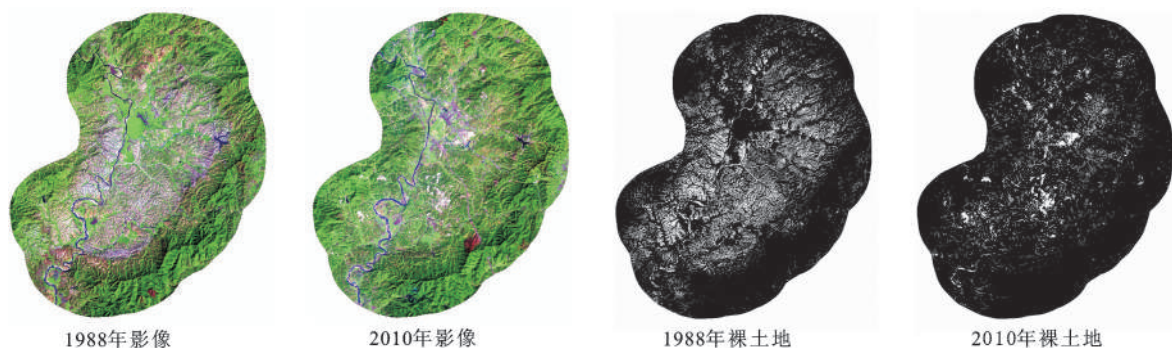


图6 1988、2010年河田盆地的遥感影像和裸土提取图

Fig. 6 TM sub-images and extracted bare soil maps of the Hetian Basin in 1988 and 2010

年5月,河田被福建省政府定为全省治理水土流失的试点,该区的水土流失才开始进入有效治理阶段。1999年11月时任福建省省长的习近平同志视察了长汀的水土保持工作,2000年2月福建省委、省政府将长汀县水土流失综合治理列为全省为民办实事项目;同年6月,长汀县政府颁布《封山育林命令》,至此,长汀县的水土流失治理进入了加速期。

本次研究所获得的裸土变化数据基本体现了以上长汀县水土流失治理重要历史时期所产生的政策效应。1988~1999年的数据反映了1983年实施“试点”后的裸土变化情况;1999~2010年的数据则代表实施“为民办实事”项目后的最新地表裸露数据。总的看来本研究获得的这2个时间段的数据反映了随着不同时期政策力度的加大,长汀县裸土面积的减少越来越多、速度越来越快。特别是后一时间段充分反映了2000年该县被纳入省政府为民办实事项目后所产生的巨大效应。

4 结 语

当前常用的遥感裸土指数法尚无法对裸土信息进行准确提取,其提取的信息中会含有建筑用地信息。通过土壤-不透水面双重指数结合的方法可以很好地分离裸土中的建筑用地信息,有效提高裸土信息的提取精度。

长汀县在过去的22 a里水土流失治理工作成效显著,主要表现为:地表裸土面积大幅减少、裸露强度大幅降低、大片裸土趋于破碎消失。在空间上,中部的河田盆地以裸土减少为主基调;北部的裸土在减少的同时,新世纪以来由于工程的建设 and 开挖出现了一些新的工程裸地。

在所观察的2个时间段里,长汀县地表裸土减少的面积和速度客观地反映了该县水土流失治理的历史重要事件所产生的效应。政策的扶持及其伴随的一系列有效措施是长汀县地表裸露程度显著改善的最主要驱动力。只要持之以恒地坚持治

理,协调好经济发展和水土保持的关系,长汀县水土流失的彻底治理或将指日可待。

参考文献:

- [1] Mulder V L, de Bruin S, Schaepman M E, et al. The use of remote sensing in soil and terrain mapping—A review [J]. *Geoderma*, 2011, **162**: 1-19.
- [2] 江洪, 王钦敏, 汪小钦. 福建省长汀县植被覆盖度遥感动态监测研究[J]. *自然资源学报*, 2006, **21**(1): 126~132.
- [3] 吴清泉, 陈明华, 陈文祥, 等. 福建省水蚀区土壤侵蚀遥感监测技术探讨[J]. *水土保持通报*, 2007, **27**(4): 49~52.
- [4] 武国胜, 林惠花, 朱鹤健, 等. 典型红壤侵蚀景观的时空变化——以福建长汀为例[J]. *应用生态学报*, 2011, **22**(7): 1825~1832.
- [5] 林晨, 周生路, 吴绍华. 30年来东南红壤丘陵区土壤侵蚀度时空演变研究——以长汀县为例[J]. *地理科学*, 2011, **32**(10): 1235~1241.
- [6] 长汀县地方志编撰委员会. 长汀县志[M]. 北京: 三联书店, 1992.
- [7] Chander G, Markham B L. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2003, **41**(11): 2674-2677.
- [8] Chander G, Markham B L, Helder D L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2009, **113**: 893-903.
- [9] Charvz P S Jr. Image-based atmospheric corrections – Revisited and revised [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1996, **62**(9): 1025-1036.
- [10] Kearney M S, Rogers A S, Townshend J R G. Developing a model for determining coastal marsh “health” [C]. *Third Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments*, Seattle, Washington, 1995: 527-537.
- [11] Rikimaru A, Roy P S, Miyatake S. Tropical forest cover density mapping [J]. *Tropical Ecology*, 2002, **43**(1): 39-47.
- [12] 杨山. 发达地区城乡聚落形态的信息提取与分形研究——以无锡市为例[J]. *地理学报*, 2000, **55**(6): 671~678.
- [13] Gluch R, Quattrochi A D, Luvall J C. A multi-scale approach to urban thermal analysis [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2006, **104**(1): 123-132.
- [14] Powell S L, Cohen W B, Yang Z, et al. Quantification of impervious surface in the Snohomish Water Resources Inventory Area of western Washington from 1972-2006 [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2008, **112**(14): 1895-1908.
- [15] Xu H Q. Analysis of impervious surface and its impact on urban heat environment using the normalized difference impervious surface Index (NDISI) [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2010, **76**(5): 557-565.
- [16] Xu H Q. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2006, **27**: 3025-3033.
- [17] 李正国, 王仰麟, 张小飞. 陕北黄土高原景观破碎化及其土壤裸露效应[J]. *生态学报*, 2005, **25**(3): 421~427.
- [18] Carlson T N, Arthur S T. The impact of land use-land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: A satellite perspective [J]. *Global and Planet Change*, 2000, **25**: 49-65.
- [19] Goetz S J, Wright R K, Smith A J, et al. IKONOS imagery for resource management: Tree cover, impervious surfaces, and riparian buffer analyses in the mid-Atlantic region [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2000, **88**(1-2): 195-208.
- [20] Melesse A M. Spatiotemporal dynamics of land surface parameters in the Red River of the North Basin [J]. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2004, **29**: 795-810.
- [21] 高江波, 蔡运龙. 区域景观破碎化的多尺度空间变异研究——以贵州省乌江流域为例[J]. *地理科学*, 2010, **30**(5): 742~747.
- [22] ERDAS. ER Mapper User's Guide [OL]. http://www.erdas.com/Libraries/Tech_Docs/ERDAS_ER_Mapper_User_s_Guide.sflb.ashx.
- [23] 赵昭明. 福建河田盆地水土流失地区用林草措施治理的研究[J]. *水土保持学报*, 1987, **1**(1): 81~89.

Dynamics of Bare Soil in A Typical Reddish Soil Loss Region of Southern China: Changting County, Fujian Province

XU Han-qiu

(College of Environment and Resources, Institute of Remote Sensing Information Engineering, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350108, China)

Abstract: Changting County of Fujian Province is one of the most typical reddish soil loss regions in southern China. Serious soil erosion has resulted in environmental and ecosystem degradation in the county. Local people and governments have been struggling for the control of the soil loss for more than two decades. To investigate and assess the changes after the effort, this study used remote sensing technology to analyze spatiotemporal dynamics of the soil exposure degree in the county during the period from 1988 to 2010. The bare soil features were estimated from the Landsat TM/ETM+ images of 1988, 1999, 2004 and 2010 based on two thematic indices-normalized difference soil index (NDSI) and normalized difference impervious surface index (NDISI). The used four images were geometrically corrected and registered to allow spatial overlay analysis between images. After the geometrical correction, the digital number (DN) values of the images were converted to at-satellite reflectance. The NDSI was used to enhance and extract soil features from the four used images with proper threshold values. However, the extracted soil features were found to have been mixed with built-up land features due largely to the spectral confusion between the two categories and the similar result in the NDSI performance. In order to improve the accuracy of the extracted soil feature, the NDISI was further used to filter out the unwanted built-up land features from the extracted soil features using a logical tree algorithm, as the NDISI is the index specially designed for the highlight of impervious surface features represented mainly by built-up lands. This significantly improved the estimate of bare soil and the extraction accuracy can reach up to 95.95%. Based on the extracted bare soil features, the exposure degree of bare soil and spatial and temporal changes of bare soil were analyzed. Results showed that the 22-year fight for treating soil loss has greatly reduced exposed bare soils in Changting County. The area of bare soil has been greatly reduced from 175.5 km² in 1988 to 85.6 km² in 2010, bare-soil exposure intensity dropped down from 0.487 to 0.383, and fragmentation degree of bare soil increased from 0.103 to 0.207. In the two observed periods (1988-1999 and 1999-2010), the decrease in bare soil area was in an accelerate speed, which was -3.74 km² per year during the 1988-1999 period and -4.34 km² per year in the duration between 1999 and 2010. This corresponds closely to the two major policies issued by the Fujian Provincial Government specially for the county's soil loss treatment. Obviously, government policies accompanied with effective actions were the major driving forces to the reduction of the exposure degree of bare soil in the county during the study period.

Key words: soil loss; bare soil; remote sensing; feature extraction; Changting County