

DOI: 10.5846/stxb201608021589

武国胜, 林惠花, 曾宏达. 用 RS 和 GIS 技术评价福建省长汀县土壤保持功能对生态系统变化的响应. 生态学报, 2017, 37(1): - .
Wu G S, Lin H H, Zeng H D. Responses of soil conservation function to ecosystem changes: an assessment based on RS and GIS in Changting County, Fujian Province. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(1): - .

用 RS 和 GIS 技术评价福建省长汀县土壤保持功能对生态系统变化的响应

武国胜^{1,2,*}, 林惠花^{1,2}, 曾宏达^{1,2}

1 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007

2 湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地, 福州 350007

摘要: 人类活动直接影响生态系统的变化, 而生态系统变化又改变着其土壤保持功能。通过对生态系统及其土壤保持量变化的对比分析可以发现两者间响应机制, 分析水土保持工作的得失, 并进而为下一步治理提供指导。本研究基于 eCognition 平台利用 landsat 影像解释出长汀县 2000、2010 和 2016 年的生态系统类型, 并利用 RULSE 模型定量评估土壤保持功能, 探讨土壤保持量相对于生态系统变化的响应规律。结果表明: 2000—2016 年间, 长汀县生态系统变化主要表现为两大特征: 其一是低覆盖类型向高覆盖类型转变, 表现为稀疏林大量地转为常绿阔叶林和常绿针叶林, 研究期内稀疏林减少 14729.38hm² (减幅 56.75%), 而常绿阔叶林和常绿针叶林分别增加 6791.50hm² (增幅 23.21%)、10228.07hm² (增幅 5.80%); 其二是受经济利益驱动, 大量耕地和常绿针叶林转为城镇和茶果园, 研究期内城镇、茶果园分别增加 4469.14hm² (增幅 85.43%)、1949.32hm² (增幅 69.38%)。研究期内全县土壤保持量显著提高, 单位面积土壤保持量从 2000 年 217.32t hm⁻² a⁻¹ 提高 2016 年 246.02t hm⁻² a⁻¹。各生态系统中, 常绿阔叶灌丛和常绿阔叶林土壤功能最强, 单位面积土壤保持量大于 277t hm⁻² a⁻¹, 而城镇土壤保护功能最弱, 单位面积土壤保持量低于 65t hm⁻² a⁻¹; 研究期内大部分生态系统的土壤保持能力有不同程度提高, 只有城镇和茶果园下降, 单位面积土壤保持量分别减小 21.03t hm⁻² a⁻¹ 和 16.74t hm⁻² a⁻¹, 这说明城镇和茶果园迅速扩张可能引发新的水土流失。从空间上看, 土壤保持量提高的区域占全县 96.5%, 其中东北部森林区和中南部增幅最显著, 说明了十几年的水土流失综合治理工作极具成效; 另一方面土壤保持量下降的区域散布于人类活动较频繁的各个山间盆谷, 其中汀州、大同最为集中, 迅速的城镇化与茶果园开发是造成保土功能下降的主要原因。

关键词: 生态系统; 土壤保持功能; 响应; 长汀县

Responses of soil conservation function to ecosystem changes: an assessment based on RS and GIS in Changting County, Fujian Province

WU Guosheng^{1,2,*}, LIN Huihua^{1,2}, ZENG Hongda^{1,2}

1 College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

2 Cultivation Base of State Key Laboratory of Humid Subtropical Mountain Ecology, Fuzhou 350007, China

Abstract: Soil conservation is one of the most important eco-services. Human activities which contain soil erosion control affect ecosystem changes, and ecosystem changes are also closely related to soil conservation. By comparative study of the changes of ecosystem and soil conservation, we can find out the interaction mechanism between them, understand the gain and loss of soil and water conservation work in the past, and provide guidance for further treatments. In the paper, the Landsat images are used to explain the ecosystem types of Changting County in 2000, 2010 and 2016, the whole study is

基金项目: 福建省自然科学基金(2016J01183)

收稿日期: 2016-08-02; 修订日期: 2016-11-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wguosheng@163.com

based on the eCognition platform. Then a quantitative evaluation of soil conservation is conducted through the RULSE (Revised Universal Soil Loss Equation) model, in which, the quantity of soil conservation is the difference between the potential of soil erosion and the reality of soil erosion. Further, a statistical analysis is performed to explore deep reasons of soil conservation function changes from the perspective of ecosystem changes. Results show that there are mainly two characteristics of ecosystem changes during 2000 and 2016 in the county. One is the change from low cover types to high cover types, characterized by large quantity of sparse forest turning into evergreen broad-leaved forest and evergreen coniferous forest. During the years, the area of sparse forest decreased by 14729.38 hm^2 (-56.75%), and evergreen broad-leaved forest and evergreen coniferous forest increased by 6791.50 hm^2 (23.21%) and 10228.07 hm^2 (5.80%), respectively. The other is that a large number of cultivated lands, grasslands and evergreen coniferous forest, driven by economic interests, were turned into towns and tea orchards. During the study period, towns and tea orchard increased by 4469.14 hm^2 (85.43%) and 1949.32 hm^2 (69.38%), respectively, paddy field and dryland decreased by 707.85 hm^2 (-2.65%) and 344.31 hm^2 (-13.66%) respectively. Soil conservation quantity in the county increased significantly during the study period, and soil conservation quantity per unit area is $217.32 \text{ t hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ in 2000 and $246.02 \text{ t hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ in 2016, respectively. Among all the eco-systems, the evergreen broad-leaf shrub and evergreen broad-leaved forest soil possess the greatest soil conservation quantity, which are more than $277 \text{ t hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ per unit area, but the quantity per unit area of urban function of soil conservation is the smallest, below $65 \text{ t hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$. Soil conservation per unit area of most of the ecological system has improved in different levels, while that of towns and tea orchards has slightly degraded, with soil conservation quantity per unit area decreasing by respectively $21.03 \text{ t hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ and $16.74 \text{ t hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$. It shows that a great expansion of towns and tea orchards may cause new soil and water loss. In terms of space, the areas with soil conservation improvement account for 96.5% of the county, the northeast forest area and the south-central region show the most significant improvement, suggesting that the comprehensive control of soil and water loss is highly effective; On the other hand, the area of degraded soil conservation scatters in those basins where human activity is frequent, among which Tingzhou and Datong is most prominent, suggesting that rapid urbanization and development of tea orchards is the main cause of soil conservation function decline.

Key Words: Ecosystem; Soil Conservation; Responses; Changting County

土壤保持功能是生态系统重要的服务功能之一^[1-4],在维护区域生态安全中具有重要作用^[5],它是在水土保持过程中所采用的各项措施对保护和改良人类及人类赖以生存的自然环境条件的综合效用^[6]。水土流失治理工作的目的在于增强生态系统的水土保持功能,从而降低水土流失的危害。人类活动导致区域生态系统的变化,而不同的生态系统类型下地表径流和土壤侵蚀差异显著,也就是说生态系统类型与其土壤保持功能之间存在密切关系^[7-8]。生态系统的变化必然导致水土保持功能的反应,人类的水土保持工作很大程度上是通过改变生态系统从而实现提高其水土保持功能。因此通过对生态系统及其土壤保持功能时空变化对比研究可以找出两者间作用机制,分析前期水土保持工作的得失,并进而为今后治理提供指导。

当前对水土保持生态服务功能的研究多集中于对其价值量的评估^[9-12],在研究方法多依赖统计数据或监测数据^[13-15],难以反映水土保持功能的时空变化特征。利用 GIS 与 RS 技术从时空演变的角度探讨生态系统与土壤保持功能相互关系的研究则较为少见^[2,4,16-21]。

福建省长汀县是我国典型的南方丘陵红壤侵蚀区,历史上水土流失历史长,面积大,程度重。自上世纪四十年代就开展了水土流失治理工作,但治理效果却时有反复。从 2000 年开始福建省政府将长汀县水土流失综合治理列为福建省为民办实事项目之一,每年拨巨额资金对该地区水土流失进行持续攻坚治理。十多年来该地区土壤侵蚀问题得到根本性好转,生态系统也发生了巨大的变化。分析生态系统类型及土壤保持功能时空变化规律,揭示土壤保持功能对生态系统变化响应规律,对巩固现有的治理成效,减少不当的人类行为具有

重要的现实意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

长汀县为福建省西部内陆山区县,位于东经 116°02'—116°40',北纬 25°04'—26°02'之间,处武夷山脉南端东侧,汀江上游,土地面积 3099km²。境内地形破碎,岭谷相间,低山、丘陵占 71%。属湿润亚热带季风气候,年均降水量约 1700mm,3—6 月降水量占全年 60%以上。由花岗岩发育的红壤分布广,抗蚀力弱。由于长期受人为活动影响,原始植被几乎全部为次生森林植被所代替,常见的为针叶林、次生常绿阔叶林、灌木林等。

1.2 数据与处理

数据包括长汀及周边各雨量站近 30 年月降水量数据,研究区第二次土壤普查图(1991 年),林业调查小班数据(2009 年、2011 年),1:5 万地形图和行政区图,将其中纸质图数字化,而后全部数据统一转换为 WGS-84 坐标。遥感数据来自中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>),分别是 2000 年 1 月 27 日的 ETM、2010 年 1 月 14 日的 TM 和 2016 年 3 月 3 日 OLI,对经几何精校正、辐射校正后,利用像元二分法计算出植被覆盖度;另外基于易康软件(eCognition),借助实地调查、林业调查辅助数据,经建立判读标志、影像分割、建立分类规则集、初始分类、人机交互修改后得到生态系统类型数据,经检验 2010 年和 2016 年总精度达 91%以上,2000 年达 89%以上。

1.3 研究方法

生态系统土壤保持功能可通过其土壤保持量来反映,而土壤侵蚀量直接影响土壤保持量。目前国内外评估土壤保持量的模型主要有:通用土壤流失方程(USLE)、修正的通用土壤流失方程(RUSLE)、生态系统服务和交易的综合评价模型(In VEST)、风蚀预报模型(WEPP)、荷兰模型(LISEM)和欧洲水蚀预报模型(EROSEM)等模型,其中利用 USLE 和 RUSLE 模型评价土壤保持功能较多,应用也比较成熟。USLE 模型是经验性模型,不能描述土壤侵蚀的物理过程,存在一定的局限性,而 RUSLE 模型纠正了 USLE 分析中的错误,采用独立参数方法,打破了繁琐的参数计算,方便简便,预测结果更准确,实用性较强。于博威^[16]、蒋春丽^[17]、张静等^[18-20]众多学者利用 RUSLE 模型评估土壤保持量均取得较好效果。因此本研究采用 RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)模型计算生态系统土壤保持量,以评估其土壤功能强弱。土壤保持量为潜在侵蚀量与实际侵蚀量的差值,公式为:

$$SC = SE_p - SE_a = R \cdot K \cdot LS \cdot (1 - P \cdot C) \quad (1)$$

其中,SC 为土壤保持量(t hm⁻² a⁻¹);SE_p 为潜在土壤侵蚀量(t hm⁻² a⁻¹);SE_a 为实际土壤侵蚀量(t hm⁻² a⁻¹);R 为降雨侵蚀力因子(MJ mm hm⁻² h⁻¹ a⁻¹);K 为土壤可蚀性因子(t hm² h hm⁻² MJ⁻¹ mm⁻¹);LS 为地形因子;C 为植被覆盖因子;P 为水土保持措施因子。

1.3.1 降水侵蚀力(R)

降水侵蚀力表征了降水引起土壤发生侵蚀的潜在能力,很多学者根据其研究区特点提出降水侵蚀力计算模型。为反映本研究区特点,本文采用周伏建等^[22]建立的适用于福建省的 R 值计算公式:

$$R = \left[\sum_{i=1}^n (-1.5527 + 0.1792P_i) \right] \times 17.02 \quad (1)$$

式中,P_i 为多年月均降雨量(mm),由于原公式为英制单位,因此需乘以单位转换系统 17.02,以转换成公制单位。

1.3.2 土壤可蚀性因子(k)

土壤可蚀因子反映土壤性质对侵蚀敏感程度。不同的土壤类型 K 值大小不同,其估算方法很多,应用较广泛的是 Williams 等提出的 EPIC 计算模型^[23]。方纲清等人^[24]利用该模型成功地计算出福建省主要土壤 K 值,并被众多学者采用。因此本研究参考福建土壤普查资料采用该模型并估算研究区土壤可蚀因子,公式为:

$$K = 0.1317 \times \left\{ 0.2 + 0.3 \exp \left[-0.025 SAN \frac{(1 - SIL)}{100} \right] \right\} \left(\frac{SIL}{CLA + SIL} \right)^{0.3} \cdot \left[1.0 - \frac{0.25C}{C + \exp(3.72 - 2.95C)} \right] \left[1.0 - \frac{0.7SNI}{SNI + \exp(-5.51 + 22.9SNI)} \right] \quad (2)$$

式中, SAN 、 SIL 、 CLA 、 C 分别是砂粒、粉粒、粘粒和有机碳含量(%), $SNI = 1 - SAN/100$ 。原公式 K 值为美制单位, 这里乘以转换系数 0.1317, 得到公制单位土壤可蚀因子。

1.3.3 坡长-坡度因子(LS)

坡长-坡度因子是影响土壤侵蚀的基本地理特征要素, 大区域的坡长坡度因子只能通过 DEM 数据提取。由于 RUSLE 模型中对该因子的计算方法不适合坡度大于 11.3° 的地区, 而长汀县有很多区域坡度大于 11.3° 。因此本文对该因子计算参考 McCool^[25] 和刘宝元等人^[26-27] 的坡长-坡度的修正公式, 公式为:

$$S = \begin{cases} 10.8 \sin \theta + 0.03 & \theta < 5^\circ \\ 16.8 \sin \theta - 0.5 & 5^\circ \leq \theta < 10^\circ \\ 21.91 \sin \theta - 0.96 & \theta \geq 10^\circ \end{cases} \quad (3)$$

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m$$

$$m = \beta / (1 + \beta)$$

$$\beta = (\sin \theta / 0.089) / [3.0 \times (\sin \theta)^{0.8} + 0.56]$$

式中, S 为坡度因子; L 为坡长因子; θ 为坡度($^\circ$); λ 为坡长(m)。

1.3.4 植被覆盖与管理因子(C)

植被覆盖与管理因子反映有植被覆盖和作物管理措施对土壤侵蚀的影响, 介于 0-1 之间。由于植被覆盖度和该因子之间有较强的相关性, 本文利用蔡崇法有关坡面产沙与植被覆盖度关系的关系式^[28] 计算 C 值, 公式为:

$$C = \begin{cases} 1 & f_c = 0 \\ 0.6508 - 0.3436 \lg f_c & 0 < f_c \leq 78.3\% \\ 0 & f_c > 78.3\% \end{cases} \quad (4)$$

式中, f_c 为植被覆盖度, 注意计算时只保留一个小数。

1.3.5 水土保持措施因子(P)

水土保持措施因子指采取水保措施后, 土壤侵蚀量相对于顺坡种植时土壤侵蚀量的比例, 其值在 0-1 之间。对它一般采用经验赋值, 杨冉冉^[29]、傅水龙^[21] 等人利用此方法计算出长汀县不同土地类型 P 值。长汀县是全国重点水土流失综合治理区, 全境范围内实施多种水保措施治理水土流失问题, 并涉及县域内各种生态系统类型。鉴于这种情况, 本文选取熟悉研究区水保工作情况的学者利用德尔菲法对当地不同的生态系统类型进行 P 因子赋值, 结果为: 常绿阔叶林 0.2、常绿针叶林 0.4、稀疏林 0.7、常绿灌木 0.7、草 0.7、茶果园 0.4、水田 0.01、旱地 0.4、城镇 1、裸地 1、湿地 0。

按上述方法计算出各因子图层, 并转换为栅格大小为 $30\text{m} \times 30\text{m}$ 的 GRID 数据, 应用 ArcGIS 栅格计算功能, 得到土壤保持量 SC , 单位为 $\text{t}/\text{hm}^2 \cdot \text{a}$ (图 1)。

2 结果与分析

2.1 生态系统类型构成及变化

长汀县生态系统以常绿针叶林为主, 2016 年面积 186424.85hm^2 , 占国土总面积的 60.07%; 常绿阔叶林面积第二, 面积 36057.61hm^2 , 比重 11.62%, 如加上稀疏林则比例达 75.31%, 可见研究区生态系统构成以森林为主体; 裸地和湿地的面积最小, 分别为 153.92hm^2 和 2052.96hm^2 , 占 0.05% 和 0.66%。

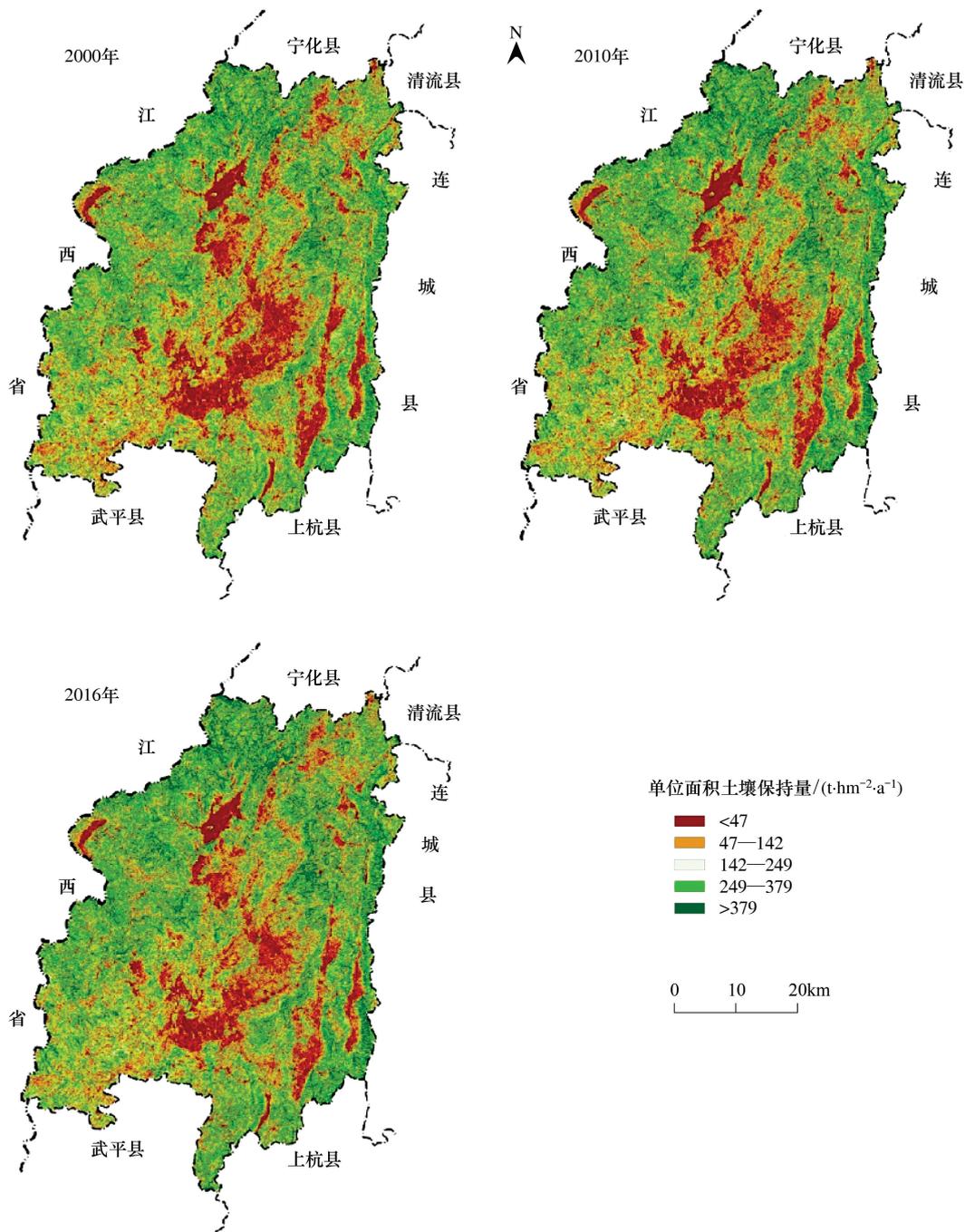


图 1 长汀县 2000、2010、2016 年单位面积土壤保持量分布图

Fig.1 The distribution of soil retention in Changting County form 2000 to 2016

十六年间,生态系统面积变化表现为持续增加的有:常绿针叶林、常绿阔叶林、城镇、茶果园,其中增量最大的是常绿针叶林,增加 $10288.07hm^2$,增幅 5.80%,其次为常绿阔叶林 $6791.50hm^2$,增幅 23.21%。另外城镇和茶果园虽然面积增加量不是最大,但增幅却分居第一和第二,分别为 85.42% ($4469.14 hm^2$)、69.38% ($1949.32 hm^2$);面积变化表现为持续减少有:稀疏林、常绿阔叶灌丛、草地、水田、旱地、湿地,其中减量最大的是稀疏林,面积减少 $14729.38hm^2$,降幅达 56.75%,其次是阔叶灌丛和草地,分别 $4257.04hm^2$ 、 $3309.99hm^2$,减幅分别是 13.22%和 46.14%;面积变化表现为波动型的只有裸地,2000—2010 年间增加 $8.01 hm^2$,2010—2016 年间减少 $42.37 hm^2$ 。(表 1)。

表 1 长汀县 2000 年至 2016 年生态系统类型构成与变化

Table 1 The composition and change of ecosystem classes between 2000 and 2016 in Changting County

生态系统类型 Ecosystem classes	2000		2010		2016	
	面积/hm ² Area	比例/% Percentage	面积/hm ² Area	比例/% Percentage	面积/hm ² Area	比例/% Percentage
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	29266.11	9.43	35335.98	11.39	36057.61	11.62
常绿针叶林 Evergreen coniferous forest	176196.78	56.78	184894.11	59.58	186424.85	60.07
稀疏林 Sparse forest	25955.46	8.36	13077.36	4.21	11226.08	3.62
常绿阔叶灌丛 Evergreen broad-leaf shrub	32192.55	10.37	28538.82	9.20	27935.51	9.00
草地 Grass	7174.08	2.31	4559.04	1.47	3864.09	1.25
湿地 Wetland	2108.07	0.68	2070.72	0.67	2052.96	0.66
水田 Paddy field	26680.14	8.60	26253.36	8.46	25972.29	8.37
旱地 Dryland	2520.99	0.81	2398.86	0.77	2176.68	0.70
茶果园 Tea orchard	2809.80	0.91	4217.22	1.36	4759.12	1.53
城镇 Cities and towns	5231.34	1.69	8781.84	2.83	9700.48	3.13
裸地 Bare land	188.28	0.06	196.29	0.06	153.92	0.05

2.2 生态系统类型转换特征

从 2000—2016 年生态系统类型转移矩阵可以看出:常绿阔叶林面积扩张,主要由于草地、常绿阔叶灌丛和稀疏林的转入,面积分别 3056.76hm²、1980.27hm²和 1734.03hm²;常绿针叶林作为十年来面积增加最大生态系统类型,主要是由于稀疏林、常绿阔叶灌丛和草地的转入,分别是 6558.75hm²、1891.53hm²和 1576.35hm²;城镇扩张是由于侵占了大量的水田和常绿针叶林,分别为 2905.56 hm²和 1095.93hm²;茶果园由于侵占了大量的水田和草地,分别是 943.56 hm²、358.02hm²,面积增幅较大;而稀疏林十年来转入较少,反而大量地转为常绿针叶林、水田和常绿阔叶林,其中仅水田就达 3678.03hm²,成为面积减少最大的生态类型;草地也由于大量转移为常绿阔叶林和针叶林,面积迅速减小(表 2)。

从 2010—2016 年生态系统类型转移矩阵来看:常绿针叶林的增加,主要是由于稀疏林、常绿阔叶林的转入所造成,面积分别为 2820.06hm²、1856.7hm²;常绿阔叶林的增加,主要来源于阔叶灌丛和常绿针叶林的转入,分别为 1598.31hm²和 1467.72hm²;城镇由于侵占大量的水田(1100.97hm²)而迅速扩张;茶果园则主要侵占了大量的常绿针叶林(889.83hm²)、水田(544.5hm²)而增加。

表 2 研究区 2000—2010 年生态系统类型/hm²转移矩阵

Table 2 The conversion matrix of ecosystem classes between 2000 and 2010

类型 Class	常绿阔叶林 Evergreen Broad leaved forest	常绿针叶林 Evergreen Coniferous forest	稀疏林 Sparse forest	常绿阔叶灌丛 Evergreen Broad-leaf shrub	草地 Grass	水田 Paddy field	旱地 Dryland	茶果园 Tea orchard	城镇 Cities and towns	其它 others
常绿阔叶林		100.17	9.36	22.5	1535.13	1.35	0.09	0	65.52	25.83
常绿针叶林	754.92		27.54	8.91	612.18	22.86	1.89	36.81	1095.93	201.51
稀疏林	1734.03	6558.75		190.89	0.81	3678.03	224.82	127.89	568.17	16.56
常绿阔叶灌丛	1980.27	1891.53	10.8		0.45	0.72	14.22	15.21	25.92	3.69
草地	3056.76	1576.35	0.99	2.07		2.34	0.99	358.02	3.42	0.09
水田	13.32	106.11	11.52	2.61	233.82		341.19	943.56	2905.56	75.33
旱地	46.17	193.14	10.71	0.63	0.09	116.1		42.3	305.37	36.72
茶果园	82.53	25.56	0.18	0.18	0	0.63	18.9		13.14	0.27
城镇	153.45	894.33	148.59	60.66	3.06	221.13	5.76	19.08		14.85
其它	8.37	113.94	2.16	0.63	0.45	163.08	21.24	5.94	88.38	

表 3 研究区 2010—2016 年生态系统类型/ hm^2 转移矩阵

Table 3 The conversion matrix of ecosystem classes between 2000 and 2010

类型 Class	常绿阔叶林 Evergreen Broad leaved forest	常绿针叶林 Evergreen Coniferous forest	稀疏林 Sparse forest	常绿阔叶灌丛 Evergreen Broad-leaf shrub	草地 Grass	水田 Paddy field	旱地 Dryland	茶果园 Tea orchard	城镇 Cities and towns	其它 others
常绿阔叶林		1856.7	186.57	462.6	87.75	215.82	13.5	101.61	28.8	8.28
常绿针叶林	1467.72		1267.38	1290.78	227.79	1703.88	53.82	889.83	227.25	105.03
稀疏林	301.77	2820.06		79.92	18.72	212.04	13.14	38.61	27.54	4.95
常绿阔叶灌丛	1598.31	738.09	73.53		73.35	40.05	6.93	29.25	3.51	3.96
草地	93.87	853.83	23.49	81.27		55.26	0.18	1.53	3.06	0.90
水田	80.73	1795.41	75.06	21.96	4.41		56.88	544.5	1100.97	40.41
旱地	14.94	59.04	6.57	5.76	0.27	379.17		107.19	52.83	7.56
茶果园	88.02	436.41	7.2	12.69	1.17	462.51	238.77		40.68	3.06
城镇	22.14	174.33	16.56	3.06	2.52	303.03	12.87	108.45		15.93
其它	15.76	30.35	9.11	5.63	2.46	67.50	15.06	11.44	92.89	

通过上述分析可以看出,长汀县各生态系统中以森林类为主,主要是常绿针叶林和阔叶林为主。十六年来生态系统构成变化表现两个明显特点:一是常绿针叶林和阔叶林这些植被覆盖度较高的类型面积逐步扩大,而稀疏林这类覆盖度较低的类型面积大幅度减少,这正是人们为治理水土流失,改造低效林,改善森林结构的直接表现;二是受城镇化和经济发展的驱使,城镇迅速扩张,而在农村农民为了追求经济效益,大力发展经济林,致使茶果园增幅显著。

2.3 各生态系统土壤保持量变化特征

研究期内长汀县生态系统土壤保持量逐步提高,单位面积土壤保持量 2000 年为 $217.32\text{t hm}^{-2}\text{a}^{-1}$,2010 年 $235.16\text{t hm}^{-2}\text{a}^{-1}$,2016 年则增加到 $246.02\text{t hm}^{-2}\text{a}^{-1}$,同期年土壤保持量分别为 6743.95 万 t、7287.57 万 t、7634.58 万 t,总增幅为 13.21%。

从各生态系统土壤保持量来看,单位面积土壤保持量以常绿阔叶灌丛和常绿阔叶林最高,2016 年分别为 $321.66\text{t hm}^{-2}\text{a}^{-1}$ 、 $285.75\text{t hm}^{-2}\text{a}^{-1}$,最低是城镇,仅为 $44.59\text{t hm}^{-2}\text{a}^{-1}$,其次为裸地,为 $76.54\text{t hm}^{-2}\text{a}^{-1}$ 。需要特别指出的是水田单位面积土壤保持量表现较低,是由于本研究所采用的遥感数据是 1-3 初月,这个时期水田基本无植被覆盖,致使其土壤保持量偏低。而实际上由于水田均有田埂包围,使之发生水土流失的程度很低,因此不将它与其他生态系统进行对比(表 4)。

表 4 长汀县 2000—2016 年各生态系统类型土壤保持量

Table 4 The values of soil retention of different ecosystems on Changting County between 2000 and 2016

类型 Class	年单位面积土壤保持量/ $(\text{t hm}^{-2}\text{a}^{-1})$ Soil conservation quantity per unit area			年土壤保持总量/万 t Total annual soil conservation		
	2000	2010	2016	2000	2010	2016
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	277.29	278.75	285.75	811.53	984.99	1030.34
常绿针叶林 Evergreen coniferous forest	231.24	247.94	254.28	4074.29	4584.32	4740.41
稀疏林 Sparse forest	155.61	214.90	223.10	403.89	281.03	250.45
常绿阔叶灌丛 Evergreen broad-leaf shrub	285.44	318.84	321.66	918.89	909.92	898.58
草地 Grass	230.51	276.98	278.45	165.37	126.27	107.59
湿地 Wetland	96.39	106.61	107.68	20.32	22.08	22.11
水田 Paddy field	81.87	89.36	90.96	218.43	234.60	236.24
旱地 Dryland	82.20	97.56	103.79	20.72	23.40	22.59
茶果园 Tea orchard	182.01	177.03	165.27	51.14	74.66	78.65
城镇 Cities and towns	65.63	45.06	44.59	34.33	39.57	43.26
裸地 Bare land	69.74	44.85	76.54	1.31	0.88	1.18

从研究期内单位面积土壤保持量变化来看,除城镇和茶果园外,其它生态类型均有不同程度提升,其中以稀疏林最突出,增加 $67.49\text{t hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$ 。这说明十六年来长汀水土流失治理工作取得了显著成效,大多数生态系统类型植被覆盖度升高,土壤保持功能增强。而与此相反,城镇和茶果园的单位面积土壤保持量下降,分别降低了 $21.03\text{t hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$ 和 $16.74\text{t hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$,这是由于研究期内这两类生态系统扩张迅速,大量的新建设城镇和新开垦茶果园,地形条件较差,植被覆盖度较低,致使其平均土壤保持功能有所下降。

从年土壤保持量来看,常绿针叶林无论是年保土总量还是增加量(666.12 万 t)方面均居首位,这是由于它的面积最大同时面积增量也最大所造成的;第二位是常绿阔叶林,研究期内年土壤保持量增加了 218.81 万 t,这两类生态系统对长汀土壤保持起主要作用。而稀疏林、草地和常绿阔叶灌丛的年土壤保持总量表现为减少,正是它们的面积大幅度减少结果。城镇和茶果园在单位面积土壤保持量下降情况下,年土壤保持总量却有所上升,恰恰反映了研究期内它们的面积大幅增长。

2.4 土壤保持量变化的空间分布特征

将 2000 与 2010、2016 年的单位面积土壤保持量图分别叠加分析,可以看出研究期内单位土壤保持量增加的区域占全县绝大部分,达 96.5%。空间分布广泛而均匀,但还是可以看出增加量高于 $30\text{t hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$ 有两个相对集中区,一是东北部区域,这是全县最重要的林区,集中分布大量的常绿阔叶林和针叶林;二是中南部区域,这里是全县水土流失治理项目最集中区。

单位面积土壤保持量下降的区域,面积较小,仅占全县 3.5%,空间分布占呈现大分散,小集中的特征。与地形图对比会发现,该区域主要分布于山间盆谷,这些都是人类社会经济活动集中区,城镇和茶果园多分布于此,其中北部的汀州和大同,土壤保持下降最显著,而这里正是长汀县城所在地,也是城镇化最强烈的区域(图 2)。

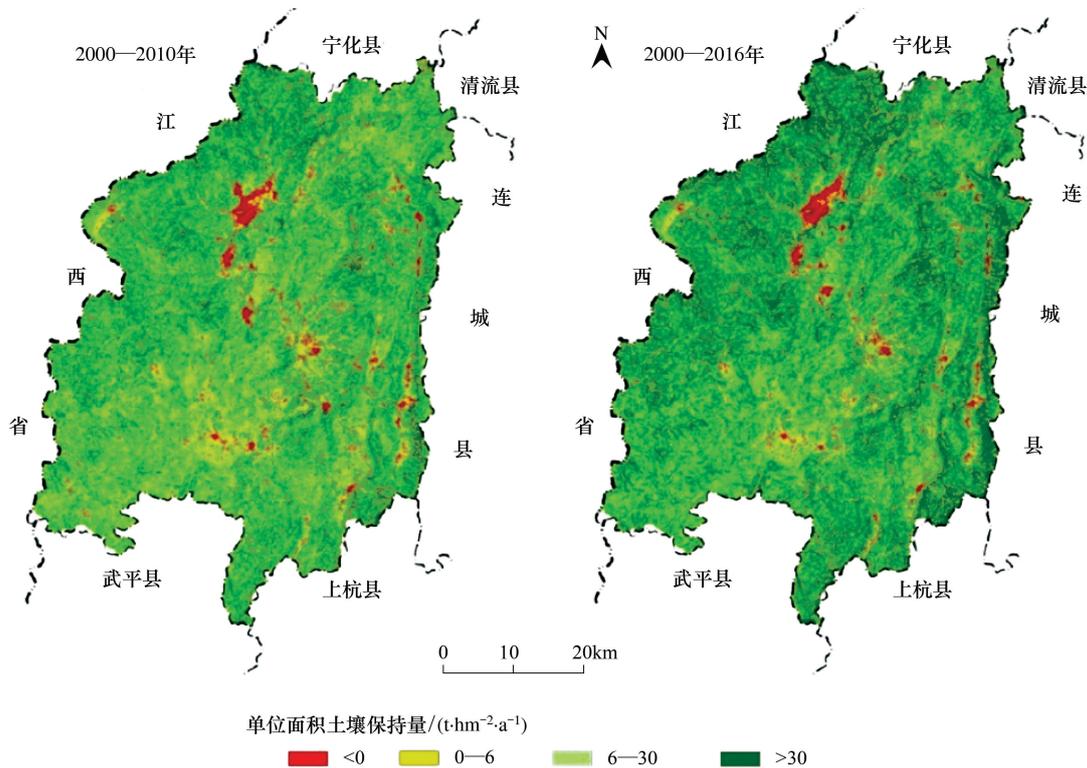


图 2 长汀县 2000—2010 年和 2000—2016 年单位面积土壤保持变化量
 Fig.2 The change of soil retention per unit area during 2000—2010 and 2000—2016

3 讨论

(1)当前,国内外关于土壤保持功能评估的模型有很多类型,包括 USLE、RUSLE、In VEST 和 WEPP 等等,基于不同区域特征和不再的空间尺度,适用的模型也不同,实际运用中必须根据当地情况采用相关的模型进行估算,其中重点是各模型因子的算法选取以及模型参数的“本地化”。本研究在分析研究区实际情况基础上,经过对比分析,选择基于 RUSLE 模型进行生态系统保土功能评价方法,并从众多的因子算法中选定比较适合长汀的计算方法。如将本研究结果与福建省水土保持监测站公布的 2000、2010 年长汀土壤侵蚀强度数据对比,可发现两者在空间分布上存在较强负相关,另外也同笔者实地调查情况相吻合,这说明了本研究方法是可行。

(2)本研究从生态系统变化角度探讨了土壤保持功能对它的时空响应特点,这也是本研究特色。而研究中发现不同生态系统土壤保持能力有一定差异,表现为常绿阔叶灌丛>常绿阔叶林>草地>常绿针叶林>稀疏林、茶果园>旱地>城镇,城镇和茶果园的土壤保持能力较弱。将旱地改造成茶果园有助于提高土壤保持量,但实际上茶果园的扩张主要来自于常绿针叶林,而城镇的扩张主要靠侵占水田和常绿针叶林,这必然会导致这一部分区域的土壤保持功能减弱,可见快速城镇化和大量开垦茶果园对于水土保持来说存在一定的生态风险。另外常绿阔叶灌丛和草地的保土能力均优于常绿针叶林。但这两种生态类型的经济效益较低,而常绿针叶林多是用材林,具有较高经济效益。研究期内就有 1290.78hm²常绿阔叶灌丛转变为常绿针叶林。这种为追求经济效益,人为毁掉灌草改植用材林的行为对水土保持并无益处。

(3)研究表明,在大部分生态系统土壤保持功能增强的情况下,城镇和茶果园平均单位面积土壤保持量却有不同程度下降。造成这现象的原因并不是这两类用地水土保持措施标准降低了,事实上作为全国重点水土流失治理区的长汀县一直对各类用地配套相应有水保措施,但由于研究期内城镇、茶果园迅猛扩张,大量新建城镇和园地地形条件较差,植被覆盖也未跟上。据分析研究期内城镇的植被覆盖度降低了 3 个百分点,平均坡度升高了 0.4°,茶果园平均坡度升高了 0.6°。这样就拉低了城镇和茶果园的坡长-坡度因子及植被覆盖因子条件,从而使单位面积平均保土量呈下降态势。要改变这种情况就须及时提高它们植被覆盖度,避免在地形条件较差的区域进行开发建设,另外对在坡度建设项目应当适当提高它们水保措施标准。

(4)本研究仍存在不足:对水保措施因子是采用相同的生态系统类型统一赋值的方法,事实上在不同的区域的同类生态系统水保措施是不一样的,最好应根据实际情况对不同区域同类生态系统分别赋值;降水侵蚀力估算使用的雨量站点较少,如采用更多雨量站数据,计算精度可进一步提高;坡度因子计算是采用刘宝元计算模型,该方法是基于黄土高原坡面数据而得,运用于南方丘陵区,精度还需检验。以上不足,将在进一步实地调查基础上进行完善。

4 结论

(1)研究区在 2000—2016 年间,生态系统类型结构变化明显,常绿针叶林、常绿阔叶林面积增长最大,达 17019.57hm²,占国土面积比例提高了近 5 个百分点,而稀疏林面积下降最显著,共减少 14729.38 hm²,比例下降了 5 个百分点。总体上表现为森林结构趋于优化,覆盖率提高。另一方面受城镇化和农民经济利益驱动,城镇和茶果园迅速扩张,侵占大量的水田、常绿针叶林,面积共增加 6418.46hm²,而且增幅居前二。

(2)十六年来,研究区平均单位面积土壤保持量和年土壤保持总量均提高 13.2%。除城镇、茶果园外,各生态系统土壤保持能力均有不同程度提高,其中稀疏林最显著,提高了 43.37%。在长汀许多的稀疏林是以稀疏马尾松(*Pinus massoniana*)为主林分,植被结构简单,林下水土流失严重,土壤贫瘠,林木生长缓慢甚至严重退化,被称为“小老头树”,长期以来对它的改造一直是水土流失治理的难点。而本研究结果说明了近年来水土流失综合治理工作取得巨大的成效,主要生态系统抵抗侵蚀的能力增强,困扰长汀多年的“小老头松”林区土壤侵蚀问题有较大的改善。

(4) 城镇、茶果园的单位面积土壤保持量分别下降了 32.1% 和 9.2%, 致使长汀县各生态系统保土功能呈现“整体好转, 局部恶化”^[29] 的现象, 人类活动集中分布的山间盆谷特别是汀州、大同, 土壤保持能力下降。这些警示我们在今后的非农建设和开垦茶果园时, 必需及时完善相应的水土保持措施, 避免水土流失问题再次恶化。

参考文献 (References):

- [1] 胡胜, 曹明明, 刘琪, 张天琪, 邱海军, 刘闻, 宋进喜. 不同视角下 InVEST 模型的土壤保持功能对比. 地理研究, 2014, 33(12): 2393-2406.
- [2] 孙文义, 邵全琴, 刘纪远. 黄土高原不同生态系统水土保持服务功能评价. 自然资源学报, 2014, 29(3): 365-376.
- [3] 饶恩明, 肖燧, 欧阳志云, 郑华海. 海南岛生态系统土壤保持功能空间特征及影响因素. 生态学报, 2012, 33(3): 746-755
- [4] 李和平, 郭海祥. 贵州省生态系统土壤保持功能时空分布演变研究. 地理空间信息, 2014, 12(4): 81-84
- [5] 杨渺, 谢强, 谭晓蓉, 刘孝富. 基于 GIS/RS 的地震灾区流域水土保持功能恢复效应评价. 四川环境, 2013, 32(1): 39-45.
- [6] 余新晓, 吴岚, 饶良懿, 刘孝富. 水土保持生态服务功能评价方法. 中国水土保持科学, 2007(2): 110-113.
- [7] Anderson H W, Trobitz H K. Influence of some watershed variables on a major flood. Forestry, 1949, 47(5): 347-356.
- [8] Dieterich M. Dynamics of a biotic parameters, solute removal and sediment retention in summer-dry headwater streams of western Oregon. Hydrobiology, 1998, 379: 1-5.
- [9] 盛莉, 金艳, 黄敬峰. 中国水土保持生态服务功能价值估算及其空间分布. 自然资源学报, 2010, 25(7): 1105-1113.
- [10] 余新晓, 吴岚, 饶良懿, 周健, 李静锐, 杨永强. 水土保持生态服务功能价值估算. 中国水土保持科学, 2008, 61(1): 83-86.
- [11] 张璐, 解翼阳. 南水北调中线工程水土保持林草措施生态服务功能价值研究. 中国水土保持, 2014, (4): 46-49.
- [12] 倪兵, 田红卫, 杨磊, 张麟君, 彭艳平. 高速公路水土保持生态服务功能价值评估浅析——以陕西省不同区域三条高速公路为例. 干旱环境监测, 2014, 28(1): 31-35.
- [13] 王甜甜, 付登高, 阎凯, 曹晶潇, 张龙, 张岩, 张亚杰, 段昌群. 滇池流域山地富磷区常见植物的水土保持功能比较. 水土保持学报, 2014, 28(3): 67-71.
- [14] 方海东, 潘志贤, 岳学文, 彭辉, 奎建蕊, 刘刚才, 纪中华. 元谋干热河谷银合欢人工林水土保持功能研究. 西南农业学报, 2014, 27(1): 387-390.
- [15] 黎燕琼, 龚国堂, 郑绍伟, 陈俊华, 慕长龙, 朱志芳, 吴雪仙, 牛牧. 低效柏木纯林不同改造措施对水土保持功能的影响. 生态学报, 2013, 33(3): 934-843.
- [16] 于博威, 饶恩明, 晁雪林, 史建康, 张翠萍, 徐卫华, 肖燧, 欧阳志云. 海南岛自然保护区对土壤保持服务功能的保护效果. 生态学报, 2016, 36(12): 3694-3702.
- [17] 蒋春丽, 张丽娟, 张宏文, 姜春艳, 于洋, 潘涛. 基于 RUSLE 模型的黑龙省土壤保持量评价 2000—2010 年. 中国生态农业学报, 2016, 23(5): 642-649.
- [18] 张静, 曹生奎, 蒋刚, 张涛, 曹广超, 汉光昭, 陈克龙, 林阳阳. 青海湖流域土壤保持量动态变化. 水土保持通报, 2016, 36(2): 326-331.
- [19] 刘睿, 周李磊, 彭瑶, 嵇涛, 李军, 张虹, 戴技才. 三峡库区重庆段土壤保持服务时空分布格局研究. 长江流域资源与环境, 2016, 25(6): 932-942.
- [20] 刘金巍, 靳甜甜, 刘国华, 李宗善, 杨荣金. 黑河中上游地区 2000—2010 年土地利用变化及水土保持服务功能. 生态学报, 2014, 34(23): 7013-7025.
- [21] 傅水龙, 梁娟珠, 黄路平. 基于 RUSLE 模型的长汀县水土流失评估. 水土保持通报, 2016, 36(1): 196-200.
- [22] 周伏建, 陈明华, 林福兴, 黄炎和, 卢程隆. 福建省降雨侵蚀力指标 R 值. 水土保持学报, 1995, 9(1): 13-18.
- [23] Williams J R, Jones C A, Dyke P T. Modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1984, 27(1): 129-144.
- [24] 方纲清, 吴雄海, 郭志明. 福建省主要土壤可蚀性特征初探. 福建水土保持, 1997, (2): 19-23.
- [25] McCool D K, Brown L C, Foster G R, Mutchler C K, Meyer L D. Revised slope steepness factor for the universal soil loss equation. Transactions of the ASAL, 1987, 30(5): 1388-396.
- [26] 刘宝元, 谢云, 张科利. 土壤侵蚀预报模型. 北京: 中国科学技术出版社, 2001, 140-142.
- [27] Wischmeier W H, Smith D D, Predicting rainfall erosion losses. United States Department of Agriculture (USDA). Washington D C: USDA Agricultural Handbook, 1978.
- [28] 蔡崇法, 丁树文, 史志华, 黄丽, 张光远. 应用 USLE 模型与地理信息系统 IDRISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究. 水土保持学报, 2000, 14(2): 19-26.
- [29] 杨冉冉, 徐涵秋, 林娜, 何慧, 曾宏达. 基于 RUSLE 的福建省长汀县河田盆地区土壤侵蚀定量研究. 生态学报, 2013, 33(10): 2974-2982.