

福建省水土流失现状分析

王振平, 汪小钦, 曾舒娇, 陈贤干, 吴佐成

(福州大学 空间数据挖掘和信息共享教育部重点实验室, 福建省空间信息工程研究中心, 福建 福州 350002)

摘要: [目的] 运用遥感技术监测福建省水土流失状况, 为研究区的水土保持工作提供一定的科学依据。[方法] 利用 2014 年 Landsat-8 OLI 等遥感数据, 基于通用土壤流失方程(USLE)定量计算得到研究区的土壤侵蚀量, 并运用 GIS 空间分析和数理统计的方法分析水土流失在地理空间上分布特征。[结果] 福建省 2014 年的水土流失总面积为 10 939.8 km², 总流失率为 8.93%, 其中以轻度流失为主, 占总流失面积的 82.3%, 境内流失等级为强度及以上的区域主要集中在北部的宁德和南平、南部的漳州和西部的龙岩一带; 其中 22 个水土流失重点县流失面积为 4 786.65 km², 占全省流失总面积的 43.76%, 平均流失率为 10.54%。[结论] 水土流失主要发生在海拔高程为 200~1 000 m 的区域, 流失面积有 8 954.35 km², 占流失总面积的 81.85%; 坡度与水土流失关系密切, 水土流失主要发生在坡度为 8°~25°的区域, 流失面积有 69 871.71 km², 占流失总面积的 57.23%; 容易发生水土流失的土地利用类型是裸地和林地, 流失比例分别达到 30.99%和 9.47%。

关键词: 水土流失; 空间分析; USLE; 福建省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)05-0169-07

中图分类号: S157

文献参数: 王振平, 汪小钦, 曾舒娇, 等. 福建省水土流失现状分析 [J]. 水土保持通报, 2017, 37(5): 169-175. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.05.029; Wang Zhenping, Wang Xiaojin, Zeng Shujiao, et al. Analysis of soil and water loss in Fujian Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(5): 169-175. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.05.029

Analysis of Soil and Water Loss in Fujian Province

WANG Zhenping, WANG Xiaojin, ZENG Shujiao, CHEN Xiangan, WU Zuocheng

(Key Laboratory of Spatial Data Mining & Information Sharing of Ministry of Education, National Engineering Research Center of Spatial Information Technology, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract: [Objective] Remote sensing technology was applied to monitor soil and water loss in Fujian Province, in order to provide certain scientific foundation for soil and water conservation in study area. [Methods] The quantitative computation of soil erosion in the study area based on universal soil loss equation (USLE) and remote sensing data of Landsat-8 OLI at 2014 can be inspected with the GIS spatial analysis and mathematical statistic methods to get the space distribution characteristics of soil and water loss in the field. [Results] The total area and rate of soil and water loss in 2014 of Fujian Province were 10 939.8 km² and 8.93%, respectively. Mild erosion played a dominant role and covered 82.3% of the erosive area. Areas having intensive erosion or more intensive level mainly concentrated in Ningde, Nanping, Zhangzhou and Longyan. The erosion area of 22 key soil erosion counties was 4 786.65 km² and the loss rate was 10.54%, accounting for 43.76% of the total erosion area in Fujian Province. [Conclusion] The total 8 954.35 square kilometers erosion area mainly located at altitude of 200~1 000 m and makes up 81.85% of the total erosion area. Slope gradient was found closely associated with soil and water loss, and soil erosion primarily happens

收稿日期: 2016-06-28

修回日期: 2016-10-11

资助项目: 国家科技支撑计划课题“南方红壤水土流失综合监测”(2013BAC08B01); 福建省高校产学研项目“集成多重时空分辨率的县域水土流失遥感协同监测”(2017Y4010)

第一作者: 王振平(1990—), 男(汉族), 湖北省孝感市人, 在读硕士, 研究方向为环境与自然资源遥感应用。E-mail: wzpfc@163.com。

通讯作者: 汪小钦(1972—), 女(汉族), 福建省古田县人, 博士, 研究员, 主要从事资源环境遥感应用研究。E-mail: wangxq@fzu.edu.cn。

in place of $8^{\circ}\sim 25^{\circ}$ slope. The loss area on that slope was 69 871.71 km², accounting for 57.23% of the total erosion area. The bare land and forest land are prone to soil erosion, 30.99% and 9.47% of the two lands were in erosion.

Keywords: soil erosion; spatial analysis; USLE; Fujian Province

水土流失是全球性的土地退化问题,它是一种渐进性灾害,严重威胁着人类生态安全。中国是世界上水土流失最严重的国家,其中南方红壤丘陵区由于降水多且集中、母岩花岗岩较为松软,极易造成水土流失,是中国仅次于黄土高原的严重水土流失区。位于中国东南沿海的福建省属典型南方红壤丘陵地区,是侵蚀比较严重的省份之一,截止到 2012 年全国水利普查,水土流失总面积仍有 12 180.58 km², 占全省国土面积的 9.95%。水土流失现状遥感监测是科学、有效开展水土保持工作的重要前提。

自 20 世纪 20 年代以来,国内外学者就一直致力于水土流失评估的研究,取得了较大的进展,先后研究出了大量的土壤侵蚀评估模型,主要可以归纳为 3 类^[1]:经验统计模型、物理成因模型、分布式土壤侵蚀模型,其中经验统计模型应用最广、最典型的代表是由美国学者 Wischmeier 和 Smith 提出的通用土壤流失方程(USLE)^[2-3],该模型结构简洁、物理意义明确、计算简便,具有很强的适用性,目前在国内外水土流失研究领域得到广泛运用^[4-8]。Kim 等^[4]在基于 USLE 和 WEPP 对韩国土壤侵蚀进行评价。Erdogan 等^[5]在流域尺度上以 USLE 和 GIS 方法预测土耳其安纳托利亚喀山流域的土壤侵蚀风险,并规划在该流域的保护措施。原立峰等^[7]基于 GIS 和 USLE 综合评估了鄱阳湖流域土壤侵蚀敏感性。马骊驰等^[8]采用“3S”技术与野外实地调查相结合的方法,基于 USLE 模型估算抚仙湖流域 1974—2014 年的水土流失量,并探讨流域土壤侵蚀强度的时空分布规律。21 世纪以来,福建省水土流失相关研究陆续开展,陈志强等^[9]结合“3S”技术与野外调查,提取土地利用、植被覆盖度和坡度信息,计算出 1995,2000,和 2007 年福建省水土流失现状;陈哲峰等^[10]通过提取土地利用、植被覆盖度以及坡度等信息基于 GIS 技术,计算出 2008—2012 年福建省 22 个重点流失治理县的土壤侵蚀量。这两位学者均是采用土地利用、植被覆盖度以及坡度等 3 个因子进行计算,而没有考虑降雨、土壤类型等因子的影响。此外,2012 年福建省虽基于全国尺度上进行了水土流失普查,然而从 2012 年起福建省大幅增加水土治理专项经费,要想了解其治理的成效,就有必要对福建省水土流失现状进行全面、准确的监测。因此,本文拟以福建省为研

究区,以遥感、GIS 技术为支撑,采用 USLE 模型定量评估福建省 2014 年土壤侵蚀量和土壤侵蚀强度,并对相关结果进行深入分析,找出区域内水土流失分布规律,以期了解福建省土壤侵蚀的现状,并为该区域水土流失防治政策的制定、实践提供科学依据。

1 研究区概况

福建省地处中国东南沿海,介于北纬 $23^{\circ}33'$ — $28^{\circ}20'$,东经 $115^{\circ}50'$ — $120^{\circ}40'$,东与中国台湾省隔海相望,东北与浙江毗邻,西北横贯武夷山脉与江西相交,西南与广东相连。总体地势西北高,东南低,境内山地丘陵面积约占全省土地总面积的 80%,主要土地利用/覆盖类型为林地、耕地、裸地、居民地、和水体,覆盖类型以林地为主,约占全省土地面积的 2/3。境内主要土壤类型为红壤、黄壤,砖红壤性土与砖红壤化红壤也有分布。母岩多为容易侵蚀的花岗岩和砂页岩。平均海拔 1 000 m 左右,位于亚热带地区,属典型的亚热带季风气候,夏季高温多雨,冬季温和少雨,平均气温 $15.3\sim 21.9^{\circ}\text{C}$,平均雨量 $930\sim 1\ 843$ mm。

2 数据与方法

2.1 基础数据

为开展福建省水土流失定量估算,收集了降雨、地形、土地利用和土壤类型等水土流失影响因子数据,主要包括以下几类:① 2014 年降水数据收集自气象数据共享服务网的中国自动站与 CMORPH 融合的降水产品,为逐小时降雨格网数据,分辨率为 $0.1^{\circ}\times 0.1^{\circ}$;② 土地利用覆盖数据从遥感数据(2014 年 Landsat-8 OLI)专题信息提取获得,用于计算水土保持措施因子;③ 地形数据为 ASTER 下载的 30 米空间分辨率的 DEM,用于计算坡度、坡长因子;④ 2014 年 MODIS NDVI 数据为 MODIS 官网下载的 16 d 分辨率的产品,用于植被指数归一化。

2.2 基于 USLE 模型的水水土流失遥感监测

采用通用土壤流失方程 USLE 开展福建省土壤侵蚀模数的估算,具体公式如下:

$$A=R\times K\times L\times S\times CP\times f \quad (1)$$

式中:A——土壤侵蚀模数(t/km^2);R——降雨和径流因子 $[\text{MJ}\cdot\text{mm}/(\text{hm}^2\cdot\text{h}\cdot\text{a})]$;K——土壤可蚀

性因子 $[t \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{h}/(\text{hm}^2 \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm})]$; LS ——坡长、坡度因子; C ——植被覆盖与管理因子; P ——水土保持措施因子; f ——转换系数^[11], $f = 224.2$ 。USLE 模型中各因子的指标值,利用遥感和 GIS 技术生成。

2.2.1 降雨和径流因子 R 降雨是促成水土流失发生发展的最主要外部动力条件^[12]。由于传统的计算降雨侵蚀力因子方法需要降雨过程的数据,并且计算方法较复杂,本文选用了周伏建等^[13]提出的适用于福建省的简易算法来估算 R 值。

$$R = \sum_{i=1}^{12} (-2.6398 + 0.3046P_i) \quad (2)$$

式中: P_i ——每月的降雨量(mm)。

2.2.2 土壤可蚀性因子 K 土壤可蚀性是指土壤对侵蚀介质剥蚀和搬运的敏感性^[14-15]。福建省境内的土壤成母岩以花岗岩为主,容易受到侵蚀。本文采用方纲清等^[14]计算出的福建省主要土壤类型的 K 值并结合福建省主要土壤类型分布专题图生成 2014 年福建省 K 值的空间分布。

2.2.3 坡度坡长因子 LS 地形地貌特征对土壤侵蚀的影响集中表现在坡长和坡度两方面,二者是降雨侵蚀动力的加速因子^[16]。采用刘宝元等^[17]研究方法进行 LS 因子估算,计算公式如下:

$$L = (\lambda/22.13)^m \quad (3)$$

$$\begin{cases} m=0.2 & (\theta \leq 1^\circ) \\ m=0.3 & (1^\circ < \theta \leq 3^\circ) \\ m=0.4 & (3^\circ < \theta \leq 5^\circ) \\ m=0.5 & (\theta > 5^\circ) \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} s=108\sin\theta+0.3 & (\theta < 5^\circ) \\ s=16.8\sin\theta-0.5 & (5^\circ < \theta \leq 10^\circ) \\ s=21.9\sin\theta-0.96 & (\theta > 10^\circ) \end{cases} \quad (5)$$

式中: λ ——坡长(m); m ——坡长指数; θ ——坡度($^\circ$)。

2.2.4 植被覆盖与管理因子 C 植被覆盖管理因子 C 代表的是覆盖在地表的作物能减缓和抑制土壤侵蚀能力的大小。林草地采用马超飞等公式^[18]。

$$\begin{cases} C=1 & (V=0) \\ C=0.6508-0.3436\lg V & (0 < V \leq 0.783) \\ C=0 & (V > 0.783) \end{cases} \quad (6)$$

式中: C ——植被覆盖及管理因子; V ——植被覆盖度。

其他地类根据参考文献^[19]采用赋值法,其中水体和不透水面取 0,耕地取 0.230。

植被覆盖度的计算方法是采用基于归一化植被指数(NDVI)的像元二分模型法^[20],计算公式如下:

$$f_c = (\text{NDVI} - \text{NDVI}_s) / (\text{NDVI}_v - \text{NDVI}_s) \quad (7)$$

式中: NDVI ——影像中各像元的 NDVI 值; NDVI_v , NDVI_s ——全植被覆盖像元和全裸土覆盖像元的 NDVI 值。在应用 Landsat-8 数据计算福建全省的 NDVI 时,由于各景影像获取的季相不一致,影响了归一化植被指数 NDVI 的连续性和可比性,故引用时间分辨率较高的 Modis NDVI 产品作为辅助数据,通过 TM NDVI 季相归一化的方法^[21],将福建全省影像的 NDVI 归一化到 10 月份。归一化的公式如下:

$$T_1 = a + bT_0 \quad (8)$$

利用 T_0, T_1 时相的 MODIS NDVI 建立函数关系,求出相关的拟合系数,然后应用于 TM 影像。根据公式(6)可以算出福建省 2014 年的植被覆盖度,从而计算得到植被覆盖管理因子 C 。

2.2.5 水土保持措施因子 p 水土保持措施因子 p 是指特定水保措施下的土壤流失量与相对应未实施水保措施的顺坡耕作地块的土壤流失量的比值。一般采用经验赋值,无量纲,取 0~1 之间。本文参照黄金良等^[22]在福建省九龙江流域的 p 值率定,并结合遥感影像解译出来的土地利用现状图对 p 因子进行赋值(表 1)。

表 1 不同土地利用类型下的 p 值

土地利用类型	林地	耕地	裸地	水体	不透水面
p 值	1	0.3	1	0	0

2.2.6 土壤侵蚀模数的计算 将各因子带入公式(1)中得到研究区土壤侵蚀模数,再根据水利部颁布的《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190-2007)进行分级,得到福建省 2014 年土壤侵蚀强度空间分布结果。

2.2.7 精度验证 利用福建省长汀县 2014 年的野外调查数据以及根据 2011 年福建省 22 个水土流失重点县的野外判读经验,从 2014 年遥感影像上目视解译随机选取样本,进行精度验证作出水土流失误差矩阵(表 2),其中,判对数指的是估算结果与实测的土壤侵蚀强度等级相同或仅相差一个等级的个数,从表 2 中结果显示,总体精度达到 81.60%,能够满足应用的精度要求。表 3 是本文计算的 2014 年福建省水土流失结果与 2012 年省水保站普查的结果比对,轻度流失面积有大幅增加可以反映水土流失治理收到成效,可能是流失等级较高的地区经过治理转变为轻度流失,其他 4 个等级都相应的减少,总流失面积减少了 1 240.78 km^2 ,减少 10.18%。可以看出本文计算结果较为准确。

表 2 2014 年福建省水土流失估算误差矩阵

强度等级	微度	轻度	中度	强度	极强	剧烈	合计	判对数	用户精度/%
微度	10	2	1				13	12	92.31
轻度	30	56	7	5	1		99	93	93.94
中度	12	30	37	14	3	1	97	81	83.51
强度	5	9	12	23	10	3	62	45	72.58
极强	—	3	9	10	16	2	40	28	70.00
剧烈	1	2	4	3	7	9	26	16	64.54
合计	58	102	70	55	37	15	337	275	81.60
判对数	40	88	56	47	33	11	275		
生产者精度/%	68.97	86.27	80.00	85.45	89.19	66.67	81.60		

表 3 2014 年计算结果与 2012 年省水土保持公报对比

强度等级	水土流失面积/km ²					
	轻度	中度	强度	极强	剧烈	合计
2014 年	9 005.40	1 169.50	400.47	240.71	123.70	10 939.8
2012 年全省普查	6 654.73	3 215.00	1 615.00	427.55	268.30	12180.58

3 结果与分析

3.1 福建省流失情况分析

按照行政区划统计出各地市的土壤侵蚀面积(表 4)可知,全省水土流失较严重的地区位于闽北和闽西南,从各地级市来看流失较严重的市是漳州和宁德,流失面积为 1 334.52 和 1 592.46 km²,流失率分别为 10.63% 和 12.18%,宁德和漳州境内地形多为山地丘陵,宁德果园种植广泛,漳州茶园种植普遍,易于造成水土流失。流失率最小的是厦门市,为 1.19%,厦门市经济较发达,城镇化普及,土地利用/覆盖类型

主要为不透水面,流失较轻。莆田市的流失也低于 5%,其他 5 个地级市的流失率均在 5%~10% 之间。统计表明:研究区水土流失面积达 10 939.8 km²,占国土总面积的 8.93%,其中以轻度和中度流失为主,占水土流失总面积的 93.01%。强度及其以上程度的水土流失较少,仅占研究区总面积的 6.99%。福建东北部的部分县市(柘荣县、蕉城区、周宁县等)流失率超过 15%,流失面积较大,主要是由强降雨引起的。查证气象资料知此区域 8—10 月间有“风神”、“海鸥”等多次大型台风登陆,全年的降雨量相比其他区域较大,相应的降雨侵蚀力因子 R 较大。

表 4 2014 年福建省各地市土壤侵蚀面积统计

行政区域	总流失/km ²	流失率/%	轻度/km ²	中度/km ²	强度/km ²	极强度/km ²	剧烈/km ²
福州市	1 073.586 6	9.18	917.246 7	99.724 5	32.593 5	16.848 9	7.173
莆田市	175.599 9	4.57	154.739 7	13.942 8	4.297 5	1.918 8	0.701 1
泉州市	569.502 3	5.09	496.945 8	47.645 4	15.395 4	6.582 6	2.933 1
厦门市	19.150 2	1.19	17.532	1.240 2	0.264 6	0.093 6	0.019 8
漳州市	1 334.520 8	10.63	1 051.964	160.856 1	61.512 3	39.24	20.948 4
宁德市	1 592.467 2	12.18	1 323.621	166.727 7	53.511 3	33.952 5	14.654 7
东部沿海	4 764.827 0	8.83	3 962.049	490.136 7	167.574 6	98.636 4	46.430 1
南平市	2 309.036 0	8.78	1 935.707	232.29	72.978 3	46.840 5	21.220 2
三明市	1 933.312 1	8.43	1 541.201	229.795 2	81.652 5	50.245	30.418 2
龙岩市	1 931.318 3	9.20	1 565.579	217.189 8	78.192 9	44.757	25.599 6
西部内陆	6 173.666 4	8.79	5 042.487	679.275	232.823 7	141.843	77.238
全省	10 939.8	8.93	9 005.40	1 169.50	400.47	240.71	123.70

3.2 22 个重点县流失情况分析

2011 年福建省水利厅设立了 22 个水土流失治理重点县,按流失严重程度划分为 I 类县:长汀、安溪、宁化、平和、诏安;II 类县:永泰、南安、大田、清流、建瓯、寿宁和 III 类县:建宁、连城、永定、南靖、华安、长泰、永春、德华、闽清、政和、福安。分别统计出 3 类重点县的流失情况如表 5 所示。

表 5 22 个重点县流失情况

类别	流失率/%					
	无流失	轻度	中度	强度	极强度	剧烈
I 类县	92.04	6.49	0.87	0.32	0.19	0.10
II 类县	89.17	8.86	1.18	0.40	0.25	0.13
III 类县	89.06	8.88	1.22	0.44	0.27	0.14

从 2012 年起福建省大幅增加水土保持专项经费,每年安排长汀 5 000 万元,其他 4 个 I 类县各

3 000 万元,各 I 类县平均综合治理面积约 6 376.16 hm^2 ,安排 II 类县各 1 600 万元,各县平均综合治理面积 3 242.58 hm^2 ,安排 III 类县各 300 万元,各县平均综合治理面积约 605.93 hm^2 ^[23]。I 类县投入资金最为庞大,综合治理面积较大,治理效果显著,至 2014 年整体流失率为 7.96%,低于 II 类县整体流失率 10.83%和 III 类县的整体流失率 10.94%(表 4)。平和县、寿宁县,政和县和华安县的流水较严重,流失率超过 15%,平和县土壤类型属风化黄红壤土,土体结构性差,抗蚀抗冲和蓄水能力较差,极易造成水土流失。寿宁县坡地多,平地少,坡度较陡,地面切割破碎,生态环境十分脆弱,水土流失治理起来难度大。政和县近 10 a 来锥栗园生产迅速发展,目前种植面积已达 11 200 hm^2 ^[24],不合理的开发致使水土流失严重。华安县大面积种植桉树,取代原有的传统作物,带来巨大经济效益的同时,也造成严重的水土流失。长泰县和南安市的流失率低于 5%,分别为 4.80%和 1.45%。这 2 个县近年来都投入大量的资金,合理地开展水土流失防治工作,效果显著。强度及以上流

失等级较多的县有平和县、清流县和南靖县,流失面积为 50.98,20.93,28.21 km^2 ,流失率分别为 11.36%,11.12%,10.91%。其中 22 个重点县流失总面积为 4 786.65 km^2 ,占全省流失总面积的 43.76%。

3.3 地形坡度对土壤侵蚀空间差异的影响

根据《水利水电工程水土保持技术规范》标准^[25],将坡度划分为 6 级,分别为 $0^\circ\sim 5^\circ$, $5^\circ\sim 8^\circ$, $8^\circ\sim 15^\circ$, $15^\circ\sim 25^\circ$, $25^\circ\sim 35^\circ$, $>35^\circ$,然后与水土流失强度空间分布图叠加分析,得到它们之间的相关特征统计(表 6)。研究区地形以山地丘陵为主,坡度主要集中在 $8^\circ\sim 25^\circ$ 范围内,占研究区总面积的 56.95%,缓坡地区分布面积相对较小,坡度范围在 $0^\circ\sim 5^\circ$ 范围内的地区只占研究区总面积的 17.79%,此区域对农业生产、社会经济活动影响较大。从表 5 中可以发现水土流失主要集中在 $8^\circ\sim 25^\circ$ 的坡度上,其侵蚀面积占到了 57.23%,其中坡度为 $15^\circ\sim 25^\circ$ 的侵蚀面积最大,达到了 37.37%。在坡度为 $8^\circ\sim 35^\circ$ 的区域内易于发生极强度和剧烈等级的水土流失,两种等级水土流失分别占研究区相同等级流失总面积的 82.68%和 84.81%。

表 6 各坡度带水土流失面积分布特征

类型	$<5^\circ$		$5^\circ\sim 8^\circ$		$8^\circ\sim 15^\circ$		$15^\circ\sim 25^\circ$		$25^\circ\sim 35^\circ$		$>35^\circ$	
	面积/ km^2	同等级流失率/%	面积/ km^2	同等级流失率/%	面积/ km^2	同等级流失率/%	面积/ km^2	同等级流失率/%	面积/ km^2	同等级流失率/%	面积/ km^2	同等级流失率/%
无流失	21 570.61	19.30	12 233.88	10.95	30 649.39	27.43	32 961.81	29.50	11 855.74	10.61	2 476.58	2.22
轻度	222.92	2.48	457.65	5.08	1 745.37	19.38	3 383.58	37.57	2 463.97	27.36	731.91	8.13
中度	22.14	1.89	62.39	5.34	254.13	21.73	430.46	36.81	296.41	25.34	103.97	8.89
强度	6.94	1.73	19.91	4.97	84.65	21.14	146.56	36.60	105.53	26.35	36.88	9.21
极强度	3.99	1.66	13.48	5.60	53.46	22.21	83.93	34.87	61.61	25.60	24.23	10.07
剧烈	1.42	1.15	7.72	6.24	34.20	27.65	44.15	35.69	26.07	21.07	10.14	8.20
总流失百分比/%	2.35		5.13		19.85		37.37%		27.00		8.29	

3.4 高程对土壤侵蚀空间差异的影响

将水土流失强度分布图(图 1)与数字高程模型(DEM)分级图进行叠置分析,并统计分析各不同海拔高程段内水土流失强度类型的分布特征。从表 7 可发现研究区内的水土流失随海拔高度的变化也表现出明显的垂直分异特征:①水土流失主要集中分布在 200~500 m 的丘陵和 500~1 000 m 的山地,这两个高程带内的水土流失面积分别占全区水土流失总面积的 36.09%和 45.76%,该区域气候适宜种植果园、茶园,坡度陡峭,极易造成水土流失;②海拔 $>1 000$ m 的高山地带水土流失较轻,是因为此区域为茂密的高山森林,林下植被发育。林下植被和林木的落叶层具有很强的蓄水保土作用,再者海拔较高交通不便,农业生产经营成本较高,人为活动较少,所以水土流失较小;③海拔在 0~200 高程分带内的水土流失也较轻,只占了全区水土流失

面积的 9.74%,此区域多为东南沿海的城区,土地覆盖为建筑物或者居民地,水土流失较少;④从图 1 可知,土壤流失率随高程的变化在 0~200 m 内急速增加,200~1 000 增加速度较缓,1 000 以后趋于平和,在高程 1 700 m 以后,流失率逐渐下降。

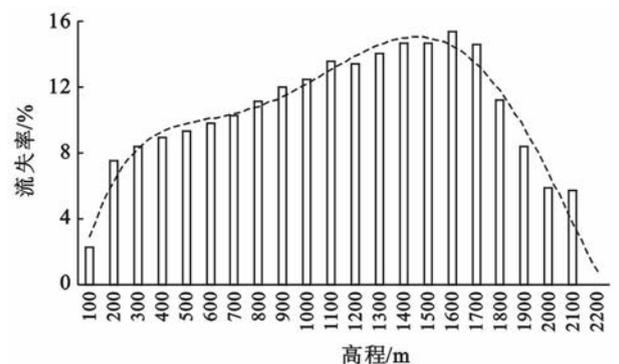


图 1 土壤流失率随高程的变化

表 7 各高程带内水土流失面积分布特征

高程/m	水土流失等级												分区流失 面积/km ²	比例/ %
	微度		轻度		中度		强度		极强度		剧烈			
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%		
0~200	24 106.64	95.77	906.04	3.60	101.98	0.41	31.62	0.13	17.56	0.07	8.56	0.03	1 065.77	9.74
200~500	40 352.03	91.09	3 275.13	7.39	413.42	0.93	136.54	0.31	80.45	0.18	42.84	0.10	3 948.38	36.09
500~1 000	41 415.38	89.22	4 089.25	8.81	546.10	1.18	192.36	0.41	118.05	0.25	60.23	0.13	5 005.97	45.76
>1 000	5 873.85	86.46	734.98	10.82	107.99	1.59	39.96	0.59	24.65	0.36	12.07	0.18	919.66	8.40

3.5 土地利用对土壤侵蚀的影响

将水土流失分级图与土地利用分类图层进行叠置分析,获取不同土地利用类型的水土流失分布数据(表 8)。结果表明,水土流失主要发生在林地和裸地,流失比例分别达到 30.99%和 9.47%。不透水面和

水土流失等级主要以轻度为主,中度及以上的流失等级只占到流失总面积的 17.38%。耕地的流失状况相对较轻,流失率只有 5.21%,主要是因为其植被覆盖较好,坡度平缓。裸地的流失相对较严重,中度及以上的流失等级占 20.67%,所以裸地应该是水土流失重点关注的土地利用类型。

表 8 水土流失与土地利用的相关分析

土地利用 方式/m	水土流失等级												分区流 失面积/ km ²	比例/ %	流失面积 总百分 比/%
	微度		轻度		中度		强度		极强度		剧烈				
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%			
耕地	12 801.79	94.79	630.50	4.67	68.04	0.50	4.907	0.04	0.039	0	0	0	703.49	5.21	6.43
林地	88 527.66	90.53	7 603.72	7.78	976.27	1.00	358.17	0.37	215.77	0.22	110.29	0.11	9 264.21	9.47	84.68
不透水面	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
水体	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
裸地	2 164.35	69.01	771.18	24.59	125.19	3.99	37.39	1.19	24.90	0.79	13.42	0.43	972.09	30.99	8.89

4 结论

(1) 福建省 2014 年的水土流失总面积为 10 939.8 km²,流失率为 8.93%,以轻度流失为主,占总流失面积的 82.3%;其中 22 个重点县流失面积为 4 786.65 km², 占全省流失总面积的 43.76%;

(2) 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 200~1 000 m 的区域,流失面积有 8 954.35 km²,占水土流失面积的 81.85%。坡度与水土流失关系密切,水土流失主要集中在 8°~25°,其侵蚀面积占到了 57.23%,其中坡度带为 15°~25°的侵蚀面积比例最大,占到了 37.37%。容易发生水土流失的土地利用类型主要是裸地和林地,流失比例分别达到 30.99%和 9.47%。

本文定量估算出 2014 年福建省的水土流失量,分析了福建省 9 个地级市以及 22 个重点县的水土流失的空间分布特征,以及水土流失与地形坡度、DEM 高程、土地利用之间的关系,为科学开展水土流失治理与保护提供了基础数据。

[参 考 文 献]

[1] 王娇,程维明,祁生林,等. 基于 USLE 和 GIS 的水土流

失敏感性空间分析:以河北太行山区为例[J]. 地理研究, 2014,33(4):614-624.

[2] Wischmeier W H. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation[J]. Soil Science Society of America Journal, 1959,23(3):246-249.

[3] Wischmeier W H. Predicting Rainfall-erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountain[C]// Guide for Selection of Practices for Soil and Water Conservation. Agricultural handbook, 1965,282.

[4] Kim M K, Flanagan D C, Frankenberger J R, et al. Regional scale application of USLE and WEPP for soil erosion assessment in Korea[C]// 2007 ASAE Annual Meeting. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2007:1.

[5] Erdogan E H, Erpul G, Bayramin (I): Use of USLE/GIS methodology for predicting soil loss in a semiarid agricultural watershed[J]. Environmental monitoring and assessment, 2007, 131(1): 153-161.

[6] 周伟东,汪小钦,吴佐成,等. 1988—2013 年南方花岗岩红壤侵蚀区长汀县水土流失时空变化[J]. 中国水土保持科学,2016,14(2):49-58.

[7] 原立峰,杨桂山,李恒鹏,等. 基于 GIS 和 USLE 的鄱阳湖流域土壤侵蚀敏感性评价[J]. 水土保持通报,2013,33(5):196-201.

- [8] 马骊驰,王金亮,李石华,等. 抚仙湖流域土壤侵蚀遥感监测[J]. 水土保持研究,2016,23(3):65-70.
- [9] 陈志强,陈志彪,陈明华. 福建省水土流失强度的地统计分析[J]. 自然资源学报,2011,26(8):1394-1400.
- [10] 陈哲锋. 福建省水土流失地理国情监测研究与应用:以22个重点县为例[J]. 环境保护科学,2014,40(5):45-50.
- [11] 潘剑君,张桃林,赵其国. 应用遥感技术研究余江县土壤侵蚀时空演变[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(4):81-84.
- [12] 贾志伟,江忠善,刘志. 降雨特征与水土流失关系的研究[J]. 水土保持研究,1990(2):9-15.
- [13] 周伏建,黄炎和. 福建省降雨侵蚀力指标 R 值[J]. 水土保持学报,1995(1):13-18.
- [14] 方纲清,阮伏水. 福建省主要土壤可蚀性特征初探[J]. 福建水土保持,1997(2):19-23.
- [15] 陈明华,黄炎和. 土壤可蚀性因子的研究[J]. 水土保持学报,1995,9(1):19-24.
- [16] 李雪莹,杨俊,薛忠跃,等. 基于 GIS 和 RUSLE 的锦州市水土流失定量空间特征分析[J]. 安徽农业科学,2013,41(20):8589-8593.
- [17] Liu Baoyuan, Nearing M A, Shi P J, et al. Slope length effects on soil loss for steep slopes[J]. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64(5):1759-1763.
- [18] 马超飞,马建文,布和敖斯尔. USLE 模型中植被覆盖因子的遥感数据定量估算[J]. 水土保持通报,2001,21(4):6-9.
- [19] Fu Guobin, Chen Shulin, McCool D K. Modeling the impacts of no-till practice on soil erosion and sediment yield with RUSLE, SEDD, and ArcView GIS[J]. Soil and tillage research, 2006,85(1):38-49.
- [20] 程红芳,章文波,陈锋. 植被覆盖度遥感估算方法研究进展[J]. 国土资源遥感,2008,1(1):13-18.
- [21] 陈贤干,汪小钦,陈芸芝. 大区域 TM 影像归一化植被指数季相归一化处理方法[J]. 遥感信息,2015,30(6):81-88.
- [22] 黄金良,洪华生,张路平,等. 基于 GIS 和 USLE 的九龙江流域土壤侵蚀量预测研究[J]. 水土保持学报 2004, 18(5):75-80.
- [23] 吴洪. 福建省全面推进 22 个水土流失重点县治理[N]. 福建日报,2012-03-01(3).
- [24] 黄子元,戴文远,杨扬. 基于 GIS 的政和县锥栗种植地的可持续利用分析[J]. 高师理科学刊,2013,33(1):54-57.
- [25] 中华人民共和国水利部. 中华人民共和国行业标准(SL575-2012)水利水电工程水土保持技术规范[S]. 北京:中国水利水电出版社,2012.

(上接第 168 页)

- [20] 郝仕龙,李璧成,于强. PRA 和 GIS 在小尺度土地利用变化研究中的应用[J]. 自然资源学报,2005,20(2):309-315.
- [21] He Xiubin, Xu Yibei, Zhang Xinbao. Traditional farming system for soil conservation on slope farmland in southwestern China[J]. Soil & Tillage Research, 2007,94(1):193-200.
- [22] 严冬春,文安邦,史忠林,等. 川中紫色丘陵坡耕地细沟发生临界坡长及其控制探讨[J]. 水土保持研究,2010, 17(6):1-4.
- [23] 严冬春,龙翼,史忠林. 长江上游陡坡耕地“大横坡十小顺坡”耕作模式[J]. 中国水土保持,2010(10):8-9.
- [24] 邵景安,邵全琴,芦清水,等. 农牧民参与政府主导生态建设工程的初始行为响应:以江西山江湖和青海三江源为例[J]. 自然资源学报,2012, 27(7):1075-1088.
- [25] 徐阳春,沈其荣,冉炜. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响[J]. 土壤学报,2002,39(1):89-96.
- [26] 李玲玲,黄高宝,张仁陟,等. 免耕秸秆覆盖对旱作农田土壤水分的影响[J]. 水土保持学报,2005,19(5):96-98,118.
- [27] 洪兰,韦杰,李进林,等. 三峡库区水土保持工程农户参与与行为调查[J]. 水土保持通报,2016,36(2):244-249.