

海岛型城市的土壤侵蚀状况及主要影响因子分析

——以福建省平潭岛为例

赖华燕^{1,2}, 黄博强³, 吴鹏飞^{1,2}

(1. 福建农林大学 林学院, 福州 350002; 2. 海峡两岸红壤区水土保持协同创新中心, 福州 350002; 3. 厦门大学 两岸关系和平发展协同创新中心, 福建 厦门 361005)

摘 要:为研究海岛型城市建设发展过程中的水土流失状况,将地理信息系统(GIS)与通用土壤流失方程(USLE)相结合,以福建省典型海岛——平潭岛作为研究区域,运用 GIS 建立平潭岛研究区的基础地理数据库,利用 ArcGIS 的栅格数据空间分析功能,对 1990 年与 2013 年的土壤侵蚀量进行了估算和分析。结果表明:平潭岛 1990 年平均土壤侵蚀模数为 1 674.64 t/(km²·a),2013 年平均土壤侵蚀模数为 735 t/(km²·a),均属于轻度侵蚀。微度侵蚀从 1990 年的 72.38% 增加到 2013 年的 79.31%。而在轻度侵蚀、中度侵蚀、强度侵蚀、极强度侵蚀和剧烈侵蚀方面均有所下降。1990 年、2013 年均是强度以上侵蚀区域对土壤侵蚀量的贡献最大。土地利用变化、降雨量和坡度变化对土壤侵蚀的作用显著。该研究可为平潭岛的经济开发建设、土地合理利用,以及为其他典型海岛在城市化进程中提出最佳的水土保持管理措施提供参考。

关键词:USLE; GIS; 土壤侵蚀量; 平潭岛

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)01-0012-06

Analysis of the Main Impact Factors on Soil Erosion in Island City

—An Example of Pingtan Island, Fujian Province

LAI Huayan^{1,2}, HUANG Boqiang³, WU Pengfei^{1,2}

(1. College of Forestry, Fujian Agricultural and Forest University, Fuzhou 350002, China; 2. Coinnovation Center for Soil and Water Conservation in Red Soil Region of the Cross-straits, Fuzhou 350002, China; 3. Collaborative Innovation Center for Peaceful Development of Cross-strait Relations, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China)

Abstract: In order to illuminate the status of soil and water loss in the process of development and utilization of urban land, the Pingtan Island, a typical island in Southeast China, was selected as the study site. The soil erosion of Pingtan Island in 1990 and 2013 was evaluated by using geography information system (GIS) and Universal Soil Loss Equation (USLE), land use and soil erosion maps of the study area were generated based on the factors such as rainfall, vegetation, soil and topography. The results showed that annual average soil erosion amounts in 1990 and 2013 were 1 674.64 t/(km²·a) and 735 t/(km²·a), respectively, both of which were in the category of light degree erosion; from 1990 to 2013, the proportion of light degree erosion increased from 72.38% to 79.31%, while all the proportions of other degrees declined. The most contribution to the erosion was in the intensity erosion area or more severe ones in 1990 and 2013. Land use change, the rainfall and slope gradients significantly affected soil erosion. The results could provide evidence for the economic development and construction, rational land use of Pingtan Island, and make the best management practices of soil and water conservation in the process of urbanization for other typical islands.

Keywords: Universal Soil Loss Equation; geography information system; soil erosion; Pingtan Island

土壤侵蚀是由水力和风力作用引起的土壤颗粒的分离和搬运过程,可严重破坏土地资源,造成土地退化、干旱、洪涝等灾害,引起生态环境恶化^[1-2],是限制

社会经济可持续发展的重要原因之一,严重影响着人类生存与发展。中国是土壤侵蚀最为严重的国家之一,其中水蚀和风蚀总面积高达 300 万 km²,约占全国

收稿日期:2016-05-26

修回日期:2016-06-12

资助项目:国家科技支撑计划项目“强度侵蚀区退化生态系统修复关键技术的研发与集成”(2014BAD15B02)

第一作者:赖华燕(1992—),女,重庆万州人,硕士研究生,研究方向:森林理水与保土工程。E-mail:lhylris15@163.com

通信作者:吴鹏飞(1982—),男,福建莆田人,副教授,博士,博导,研究方向:森林理水与森林培育。E-mail:fjwupengfei@126.com

陆地面积的 32%^[3]。其中,海岛具面积小、地貌类型和地域结构简单、生态系统的多样性指数小和稳定性不强等特点,加上海、陆、气的相互耦合作用,在全球变化及人类活动等干扰下,极易导致海岛生态环境脆弱,自然灾害频发。我国海岛开发方式粗放,由此造成了一系列生态环境问题,土壤侵蚀对人类生命财产的威胁不断加剧。有研究报道,福建湄洲岛在开发建设过程中水土流失面积达 6.08 km²,占全岛面积的 38.7%,经多年治理虽全岛水土流失面积有所减少,但新的水土流失面积仍有上升,且侵蚀强度有加剧的趋势^[4]。冉启华等^[5]对浙江舟山市摘箬山岛模拟开发后发现,地面产流明显增大,在无水泥浇灌之处,地面冲刷加剧,侵蚀深度明显增加。可见,对海岛型城市的建设发展过程中,造成土壤侵蚀的主要因素进行解析,对指导我国沿海地区水土保持工作具有重要意义。

位于福建的平潭岛属中国第五大岛,是大陆距台湾最近的县区。2010 年,福建省平潭县被确立为“福建省平潭综合试验区”,平潭作为新兴海岛型城市建设步伐明显加快。温小乐等^[6]研究发现,在平潭岛进行开发建设的过程中,全岛生态状况 2007—2013 年逐年发生严重退化,加之台风和风沙在我国沿海地区普遍发生,平潭岛生态环境日渐恶化。近年来,平潭的整个建筑和生态结构在“试验区”的建设过程中发生巨大变化。如何在平潭岛大规模的兴建之下,维持城市生态与发展之间的平衡关系,防治生态环境进一步退化已成为社会关注热点。因此,极有必要对平潭综合试验区建设之初引发的生态变化进行及时监测,为其下一阶段的建设发展提供科学的决策依据。

目前,有关海岛型城市建设过程中其生态环境变化的研究较少,而对平潭岛开发建设过程所产生的土壤侵蚀状况的评价尚未见报道,这对于科学指导平潭岛建设中的生态保护极为不利。鉴于此,本文采用 GIS 与 USLE 相结合方法,对平潭岛开发前(1990 年)与开发现状(2013 年)的土壤侵蚀量变化进行快速客观的评估,揭示其时空变化特点,并分析降雨量对海岛土壤侵蚀的影响程度,为平潭岛在进一步建设中水土保持工作提供科学理论依据。

1 研究区概况

平潭县位于福建省东部,25°15′—25°45′N,119°32′—120°10′E,与台湾隔海相望,以平潭岛(亦称海坛岛)为主的 126 个岛屿组成,主岛面积 267 km²,是福建省第一大岛,中国第五大岛;属亚热带海洋性季风气候,夏长冬短,温热湿润,霜雪罕见,多年平均气温 19.6℃,全年≥10℃的活动积温 6 563℃,多年平均降

水量 1 172 mm,蒸发量 1 300 mm;季风明显,夏季以偏南风为主,其余季节多为东北风,年平均风速 6.9 m/s。境内地势低平,中部略高,地形以海积平原为主,南北有孤丘,海岸线蜿蜒曲折,其类型有基岩侵蚀海岸、红土侵蚀海岸、沙质塘积海岸、沙泥质和混沙质塘积海岸,沿岸海域广阔。鉴于平潭县的开发建设活动主要是在主岛上进行,因此本文以平潭岛为研究区。

2 研究方法

2.1 基础地理数据库的建立

本文收集研究区月降雨量、数字高程模型(Digital Elevation Model)、土壤分布图、平潭岛 1990 年土地利用图和 2013 年土地利用现状图等数据。其中,降雨量数据来源于中国气象科学数据共享服务网;土地利用数据分别选取 1990 年 Landsat5 TM 影像和 2013 年 Landsat8 TM 遥感影像,利用 ERDAS 对 TM 卫星照片进行非监督分类解译而得,共分 9 类用地类型;土壤图取自于福建省第二次土壤普查的成果图;数字高程模型数据来源于国家基础地理信息中心,分辨率为 30 m;图形库中所有地图的投影坐标系统设置,由于涉及到面积的计算,统一采用高斯克列格投影,坐标系为北京 54 坐标,并重采样至像元大小为 30 m。

2.2 土壤侵蚀量的预测

2.2.1 USLE 模型与运算基本流程 Wischmeier^[7]于 20 世纪 50 年代提出的通用土壤流失方程(Universal Soil Loss Equation, USLE),具有经典性,形式非常简单,所需参数较易获得等优点,目前已在世界范围内广泛运用,在定量评估土壤侵蚀强度、土地资源合理利用和水土保持规划等方面起了重要作用。因此,运用 GIS 和 USLE 方程可以有效预测平潭岛土壤侵蚀变化情况。该方程的表达式为:

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

式中: A 为年土壤流失量[t/(hm²·a)]; R 为降雨和径流因子[(MJ·mm)/(hm²·h·a)]; K 为土壤可蚀性因子[(t·hm²)/(MJ·mm)]; L, S 为坡度坡长因子,无量纲; C 为植被与经营管理因子,无量纲; P 为水土保持因子,无量纲。

运用 ArcGIS 的空间数据管理和分析功能,建立研究区的数字高程模型(DEM)、土壤图、土地利用类型图、植被覆盖等矢量图,对其属性数据进行相应的数据编辑等操作,并将其转化为 30 m×30 m 的栅格(Grid 格式)数据,求得 USLE 方程的各因子图。再根据方程的形式,利用 ArcGIS 的栅格计算功能,将各因子值相乘,获得平潭岛 1990 年与 2013 年的土壤侵蚀强度分级。

2.2.2 USLE 各因子值的确定

(1) 降雨侵蚀因子 R 值的估算。降雨侵蚀力是土壤的水蚀动力,具有引起土壤流失的潜在动力,而降雨侵蚀因子反映了降雨对土壤的潜在侵蚀能力。该值由于与降雨量、降雨强度、历时、雨滴的大小以及雨滴下降速度等多项因素有关,因此难以直接测定,目前大多用雨强、雨量等降雨参数来估算降雨侵蚀力。周伏建等^[8]基于福建省降雨数据提出的月降雨量简易方程,对南方地区的降雨侵蚀力有一定的针对性,因此本文选择了该方程:

$$R=\sum_{i=1}^{12}(-1.15527+0.1792P_i)$$
 (2)

式中: P_i 为月降雨量(mm); R 为全年降雨侵蚀力 $[(MJ\cdot mm)/(hm^2\cdot h\cdot a)]$ 。本文采用平潭气象站 1990 年与 2013 年的逐日降雨量数据,然后根据上述方程,计算出该站点的 1990 年与 2013 年的年降雨侵蚀因子 R 值分别为 $256.33 (MJ\cdot mm)/(hm^2\cdot h\cdot a)$ 和 $184.24 (MJ\cdot mm)/(hm^2\cdot h\cdot a)$ 。

(2) 土壤可蚀性因子(K 值)的获取。 K 因子反映了土壤对侵蚀的敏感性及降雨所产生的径流量与径流速率的大小,该因子受土壤结构及水稳定性、黏粒含量、渗透性、有机质含量和厚度等多方面因素的影响,其大小与土壤质地、土壤有机质含量有较高的相关性^[9]。根据福建省第二次土壤普查成果^[10],获得平潭岛各类土壤质地和有机质含量,查找 Wischmeier 等建立的土壤可蚀性 K 值诺莫图^[7],近似确定出平潭岛不同土壤类型的可蚀性因子 K 值,并以土壤质地为成图单元,生成 K 值分布图(表 1)。

(3) 坡长坡度因子(L, S)的确定。在平潭岛研究区数字高程模型的基础上,利用 ArcGIS 的水文模块进行 DEM 的地形特征分析,提取坡度坡长图。采用通用土壤流失方程中的坡长指数 L 的计算方法计算坡长因子^[11]: $L=(\lambda/22.1)^m$,其中, L 为坡长因子,无量纲; λ 为坡长(m); m 为坡长指数,其取值范围为:

$$m=\begin{cases} 0.2 & \theta<1\% \\ 0.3 & 1\%\leq\theta<3\% \\ 0.4 & 3\%\leq\theta<5\% \\ 0.5 & \theta\leq5\% \end{cases}$$
 (3)

表 1 平潭岛 K 因子取值

土壤类型	K 值/ ($t\cdot hm^2\cdot MJ^{-1}\cdot mm^{-1}$)	土壤类型	K 值/ ($t\cdot hm^2\cdot MJ^{-1}\cdot mm^{-1}$)
水域	0	黄泥土	0.21
居民地	0	酸性石质土	0.13
黄红壤	0.21	酸性粗骨土	0.13
黄壤	0.21	黄壤性土	0.21

由 Renard, McCool 等的研究表明,通用土壤流

失方程允许计算的最大坡度为 18% ^[11-12]。而平潭岛研究区坡度 $\geq 18\%$ 的占 66.2%,因此借鉴刘宝元等对坡度在 $9\%\sim 55\%$ 的陡坡土壤侵蚀的研究^[13]。本文坡度因子 S (无量纲)的计算通过分段考虑,即:缓坡采用 McCool 坡度公式,陡坡采用刘宝元的坡度公式并表示如下:

$$S=\begin{cases} 10.8\sin\theta+0.03 & \theta\leq5^\circ \\ 16.8\sin\theta-0.5 & 5^\circ<\theta<10^\circ \\ 21.9\sin\theta-0.96 & \theta\geq10^\circ \end{cases}$$
 (4)

(4) 植被与经营管理因子(C 值)的确定。 C 因子反映的是所有有关覆盖和管理变量对土壤侵蚀的综合作用,其值范围在 $0\sim 1$ 之间,大小取决于具体的作物覆盖、轮作顺序及管理措施的综合作用等,无量纲。因此, C 值的取值主要与植被覆盖和土地利用类型有关。参考 Wischmeier 原始 C 因子取值对照表的定义及相关研究文献^[7,9,14-15],对平潭岛各土地利用类型 C 值进行率定(表 2),如 C 因子取 1,表示标准状态;取 0,表示不产生水土流失;农耕地取 0.2,旱地 0.31。

表 2 平潭岛 C 因子取值

土地利用类型	C 值	土地利用类型	C 值
水体	0	草地	0.06
交通用地	0.2	林地	0.017
沙滩裸地	1	耕地(农田)	0.2
居民点	0.2	滩涂	0
园地	0.04		

(5) 水土保持因子(P 值)的确定。侵蚀防治措施因子 P 是采用专门措施后的土壤流失量与顺坡种植时的土壤流失量的比值,其范围在 $0\sim 1$ 之间,无量纲。通常的侵蚀控制措施有:登高耕作、修筑梯田等。由于没有设小区试验,主要参照美国农业部手册 703 号和流域据卫片解译出的土地利用现状图及相关的文献来进行 P 值的率定^[7,9,14-15](表 3),将土地利用图与 P 值属性库文件记录项建立链接,再分别将 P 值赋给土地利用图,得到 P 值因子图,如裸地无任何植被覆盖为 1,沟谷地带为 0.15,柑橘园梯地为 0.8,林地发生侵蚀概率较小,因此数值较小。

表 3 平潭岛 P 因子取值

土地利用类型	P 值	土地利用类型	P 值
水体	0	草地	0.70
交通用地	0	林地	0.80
沙滩裸地	1	耕地(农田)	0.35
居民点	0	滩涂	0.10
园地	0.8		

(6) 土壤侵蚀量的计算运用。ArcGIS 的栅格计算功能,将各因子图(Grid 数据)进行连乘,得到像元土壤侵蚀量图,乘以 224.2 将英制单位转化为 $t/(km^2\cdot a)$ 的

公制单位,得到像元土壤流失图。根据水利部颁布的侵蚀强度标准^[16]确定土壤侵蚀分级指标,进行重分类,得出平潭岛的土壤侵蚀强度。

3 结果与分析

3.1 平潭岛土壤侵蚀量变化及其分析

对像元土壤侵蚀图的统计结果表明,平潭岛研究区 1990 年平均土壤侵蚀模数为 1 674.64 t/(km²·a),2013 年平均土壤侵蚀模数为 735 t/(km²·a),均属于轻度侵蚀[土壤侵蚀模数 500~2 500 t/(km²·a)],但两者均明显大于水利部规定的南方红壤丘陵区土壤允许流失量 500 t/(km²·a)的标准。根据水利部颁布的侵蚀强度标准(1986)确定的土壤侵蚀分级标准,通过再分类得出了平潭岛土壤侵蚀强度模数分级表(表 4),表 4 为平潭岛 1990 年与 2013 年不同土壤侵蚀强度级别的面积及比例。

从表 4 可以看出,平潭岛土壤侵蚀类型主要是以

微度侵蚀为主,约占研究区总面积超过 70%。在微度侵蚀强度变化方面,从 1990 年的 72.38%增加到 2013 年的 79.31%。而在轻度侵蚀、中度侵蚀、强度侵蚀、极强度侵蚀和剧烈侵蚀方面均有所下降,分别从 1990 年的占研究区面积的 17.23%,5.25%,1.95%,1.44%和 1.76%下降到 2013 年的 14.98%,3.40%,1.23%,0.56%和 0.51%。这说明与 1990 年相比,平潭岛的土壤侵蚀状况有所改善。1990 年占研究区面积 94.86%的中度及以下侵蚀区域对土壤侵蚀量的贡献率为 25.8%,而占研究区面积 5.15%的强度及以上侵蚀区域对土壤侵蚀量的贡献率达 74.19%。2013 年占研究区面积 97.69%的中度及以下侵蚀区域[土壤侵蚀模数<5 000 t/(km²·a)]对土壤侵蚀量的贡献率为 45.06%,而占研究区面积 2.3%的强度及以上侵蚀区域[土壤侵蚀模数>5 000 t/(km²·a)]对土壤侵蚀量的贡献率已达 54.93%。

表 4 平潭岛 1990 年与 2013 年土壤侵蚀强度的分级

侵蚀等级/ (t·km ⁻² ·a ⁻¹)	1990 年				2013 年			
	面积/km ²	百分比/%	总侵蚀量/10 ³ t	百分比/%	面积/km ²	百分比/%	总侵蚀量/10 ³ t	百分比/%
微度侵蚀(<500)	200.73	72.38	8.32	1.79	225.34	79.31	9.89	4.73
轻度侵蚀(500~2500)	47.78	17.23	60.72	13.07	42.57	14.98	50.63	24.24
中度侵蚀(2500~5000)	14.56	5.25	50.82	10.94	9.66	3.40	33.61	16.09
强度侵蚀(5000~8000)	5.40	1.95	34.00	7.32	3.50	1.23	21.72	10.40
极强侵蚀(8000~15000)	3.98	1.44	42.68	9.19	1.59	0.56	16.11	7.71
剧烈侵蚀(>15000)	4.87	1.76	267.88	57.68	1.46	0.51	76.91	36.82

3.2 平潭岛土壤侵蚀量变化的主要影响因素分析

3.2.1 土地利用类型的影响 土壤侵蚀作为一个复杂的过程,受包括土地利用变化、降雨量、坡度等多个因素交互作用。其中,土地利用是影响区域土壤侵蚀最重要的敏感因素之一^[17],它通过改变土壤表层的植被覆盖、土壤理化性质、径流特征及区域气候状况对土壤侵蚀产生影响^[18-21]。由表 5 可知,平潭岛 1990—2013 年土地利用类型发生了明显变化。平潭岛土地利用类型主要以耕地、草地和林地为主,耕地、草地的面积百分比 1990—2013 年分别减少了 16.88%,4.1%,而林地增加了 1.47%。裸地、水体、果园和居民用地的面积百分比分别减少 4.06%,3.94%,3.48%,1.31%,滩涂和交通用地的面积百分比有所增加,分别增加了 3.72%,0.48%。

从各用地类型的总侵蚀量来看,1990 年裸地、耕地和草地对总侵蚀量的贡献最大,分别贡献了 52.97%,20.05%,13.64%,而 2013 年这 3 种用地类型的总侵蚀量百分比明显下降,分别为 1.27%,15.74%,13.56%,其中裸地的降幅最大,减少了 51.7%。其他用地类型的总侵蚀量百分比均略有增加,其中林地的增幅最大,增加

了 8.26%。平潭岛在 1990 年时处于尚未开发利用的状态,整个岛屿的裸露地表占地面积较大,林地自然存活状况较差。在社会经济快速发展的大背景下,生态环境受到严重的破坏,自 1980 年以来大量的土地资源主要包括林地、草地被开垦成农业用地^[22],土壤表层的植被受到严重的破坏,造成水土流失越来越严重。人们也越来越认识到环境的重要性,随着越来越强调环境保护的重要性,土地的开垦现象也逐渐减少,在 2000 年后更多集中在未利用地的开发利用^[23],因此裸地面积大量的减少。

为了减少水土流失增加植被的覆盖度,中国政府在 1999 年开始在全国范围内实施“退耕还林”政策,林地面积逐渐增加,同时平潭岛作为典型的海岛,为了防风固沙种植大量的沿海防护林,也是林地面积增加的重要原因。很显然,对土壤侵蚀贡献最多的裸地的大量减少和对水土保持效果最佳的林地面积的不断增加是平潭岛土壤侵蚀量大量减少的一个重要原因。随着经济发展,人口增加和城市化的进程,大量的耕地转化成建设用地,耕地面积也呈现出大量下降的趋势,而建设用地面积急剧增加。

表 5 平潭岛 1990 年与 2013 年土地利用结构的变化

用地类型	1990 年				2013 年			
	面积/km ²	百分比/%	总侵蚀量/10 ³ t	百分比/%	面积/km ²	百分比/%	总侵蚀量/10 ³ t	百分比/%
居民	20.56	7.43	3.70	0.80	16.64	8.48	10.43	8.17
林地	42.90	15.50	38.06	8.21	46.84	23.89	33.00	25.84
果园	17.13	6.19	13.98	3.01	7.35	3.75	6.37	4.99
交通过地	4.80	1.73	1.11	0.24	6.01	3.07	2.30	1.80
水体	17.53	6.33	0.98	0.21	6.48	3.31	2.44	1.91
滩涂	16.87	6.09	3.03	0.65	26.71	13.62	11.83	9.26
裸地	14.26	5.15	246.23	53.10	2.97	1.52	2.54	1.99
耕地	95.55	34.52	93.19	20.10	47.89	24.42	31.58	24.73
草地	47.22	17.06	63.40	13.67	35.21	17.95	27.21	21.31

3.2.2 降雨的影响 土壤侵蚀除了受到土地利用变化外,还受到其他因素的强烈影响,降雨是影响土壤侵蚀的一个内在因素,当降雨到达地面时通过溅散和径流的方式产生土壤侵蚀^[24]。丰沛的降雨为土壤侵蚀提供了强大的侵蚀潜在动力,是产生土壤侵蚀、引起水土流失的动力因子。在影响水土流失的诸多因素中,降雨对水土流失的影响起着决定性的作用。平潭岛研究区 1990 年的年降雨量为 41.3 mm,比 2013 年的年降雨量多 11.02 mm,降雨量上的差距也是 2013 年土壤侵蚀量明显小于 1990 年的一个重要原因。虽然研究区 2013 年土壤侵蚀量相对于 1990 年有了明显的改善,但根据相关报道,自设立平潭综合试验区以来,研究区的生态环境在一定程度上受到破坏,生态脆弱性明显降低。林明等^[20]研究发现,由于平潭综合试验区步入大开发,大量的基础设施建设破坏了岛内原有的植被、地形,开山采石、取土挖沙,随意倾倒弃土、弃渣现象严重,人为造成大量的水土流失,加剧了岛内生态环境恶化。因此,在开发过程中应适当平衡开发利用与保护的关系,及时恢复裸地植

被,同时加强防护林的保护,防止水土流失再度发生。

3.2.3 坡度的影响 坡度是影响土壤侵蚀水平的另一个重要因素^[25-26],为定量分析不同坡度对平潭岛的影响,本文将坡度分为四个级别,分别为<5°,5°~15°,15°~25°和>25°,见图 1,平潭岛在这 4 个坡度的土壤侵蚀率分别占研究区面积的 54.67%,32.57%,9.42%和 3.33%。从坡度分别对 1990 年与 2013 年侵蚀强度的影响规律来分析,两者变化趋势大致相同:微度侵蚀占土壤侵蚀率最高,随着坡度的升高,微度侵蚀从坡度<5°的大于 80%下降到坡度>25°的 30%;轻度侵蚀的土壤侵蚀率在坡度<5°的区域最小,随着坡度的升高侵蚀率逐渐增大,在>25°区域略微减小;而中度强度以上的土壤侵蚀率随着坡度的增加表现出明显增加的趋势。有研究表明,发生在梯田的土壤侵蚀量比草地和林地高出 10~20 倍,但三者 在坡度>25°的土壤侵蚀率均极大,而坡度在 15°~25°区域的年均土壤侵蚀模数为 5 000~6 000 t/(km²·a)^[27],这与本研究结果基本一致。综上所述,随着坡度的增加,平潭岛的土壤侵蚀率明显提升。

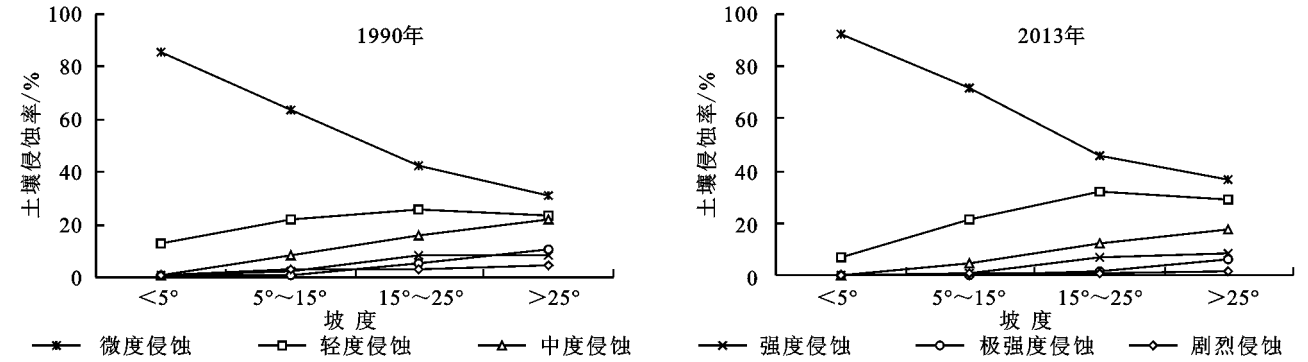


图 1 平潭岛 1990 年与 2013 年不同坡度土壤侵蚀率比较

4 结论

(1) 平潭岛 1990 年和 2013 年的年均土壤侵蚀模数分别为 1 674.64 t/(km²·a)和 735 t/(km²·a),属于轻度侵蚀,虽然水土流失一定程度上得到改善,但仍受近年来海岛城市快速开发的影响,以致土壤侵蚀模数仍大于水利部规定的南方红壤丘陵区土壤允许流失 500

t/(km²·a)的标准,水土流失治理任务还相当艰巨。

(2) 土地利用变化对平潭岛的土壤侵蚀具有重要的影响,研究区不同土地利用类型下的土壤侵蚀强度差异显著。裸地、林地和农田是控制研究区整体土壤侵蚀状况的关键土地利用类型。平潭岛的土壤侵蚀状况,明显受包括人为开发利用活动,国家的“退耕还林”等土地利用政策的影响。

(3) 研究区不同坡度梯度下,随着坡度增大,土壤侵蚀强度呈递增的趋势, $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 和 $>25^{\circ}$ 是平潭岛土壤侵蚀重点预防的区域。此外,降雨量的差异也是造成1990年与2013年平潭岛土壤侵蚀量差异的重要原因。

综上,平潭岛城市快速发展中,在短时间内新增的大片建筑裸地将不可避免地对局部的生态环境带来不利影响。因此,在开发建设的同时,应及时对裸露地表进行植被恢复,以避免在强降雨的时候直接对地表进行冲刷。可见,大力推广集绿化和美化为一体的四旁绿化规划显得尤为突出;同时,生产建设项目要严格执行水土保持方案制度,减少地貌植被破坏和可能的水土流失。按照水土保持的要求,大于 25° 的坡耕地应退耕还林,小于 25° 坡耕地改造为梯田,应采取修梯田的方式防治水土流失。

参考文献:

- [1] 潘美慧,伍永秋,任斐鹏,等. 基于 USLE 的东江流域土壤侵蚀量估算[J]. 自然资源学报,2010,25(12):2154-2164.
- [2] 潘竞虎,冯兆东,魏宏庆. 长江上游小流域土壤侵蚀动态模拟与分析[J]. 测绘科学,2009,34(2):93-96.
- [3] MWR, NBS, P. R. C. Ministry of Water Resources, P. R. C. National Bureau of Statistics. Bulletin of First National Census for Water [M]. Beijing: China Water & Power Press, 2013.
- [4] 林明太,孙虎. 福建旅游型海岛水土保持措施研究:以妈祖圣地湄洲岛为例[J]. 中国水土保持科学,2010,8(1):99-104.
- [5] 冉启华,李蔚,梁宁,等. 人类活动对海岛土壤侵蚀影响的数值模拟[J]. 浙江大学学报:工学版,2013,47(7):1199-1224.
- [6] 温小乐,林征峰,唐菲. 新兴海岛型城市建设引发的生态变化的遥感分析:以福建平潭综合试验区为例[J]. 应用生态学报,2015,26(2):541-547.
- [7] Wischmeier W H. A soil erodibility nomograph farm land and construction sites[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1971,26:189-193.
- [8] 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,1995,9(1):13-18.
- [9] 游松财,李文卿. GIS 支持下的土壤侵蚀量估算:以江西省泰和县灌溪乡为例[J]. 自然资源学报,1999,14(1):62-68.
- [10] 福建省土壤普查办公室. 福建土壤 [M]. 福州:福建科学技术出版社,1991.
- [11] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, et al. Predicting soil erosion by water:a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation(RU-SLE) [M]. Handbook NO. 703. U. S, Washington: Department of Agriculture, 1997.
- [12] McCool D K, Foster G R, Mutchler C K, et al. Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation [J]. Transactions of the ASAE, 1989,32(5):1571-1576.
- [13] Liu B Y, Nearing M A, Risse L M. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes[J]. Transactions of the ASAE, 1994,37(6):1835-1840.
- [14] 蔡崇法,丁树文,史志华,等. 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[J]. 水土保持学报,2000,14(2):19-24.
- [15] 孙峰. 基于 GIS 的官厅水库流域非点源污染负荷计算研究[J]. 北京:北京师范大学,2002.
- [16] 中华人民共和国水利部标准. 水土保持试验规范 SD239-97[S]. 北京:水利电力出版社,1986.
- [17] Fullen M A. Effects of grass ley set-aside on runoff, erosion and organic matter levels in sandy soils in east Shropshire, UK[J]. Soil and Tillage Research, 1998, 46(1):41-49.
- [18] Kosmas C, Danalatos N, Cammeraat L H, et al. The effect of land use on runoff and soil erosion rates under Mediterranean conditions[J]. Catena, 1997,29:45-59.
- [19] Hernández A J, Lacasta C, Pastor J. Effects of different management practices on soil conservation and soil water in a rainfed olive orchard[J]. Agricultural Water Management, 2005,77(1/3):232-248.
- [20] Wei O. Y, Hao F. H, Skidmore A. K, et al. Soil erosion and sediment yield and their relationships with vegetation cover in upper stream of the Yellow River[J]. Science of the Total Environment, 2010,409(2):396-403.
- [21] Ouyang W, Skidmore A K, Hao F, et al. Soil erosion dynamics response to landscape pattern[J]. Science of the Total Environment,2010,408(6):1358-1366.
- [22] Zuo L, Zhang Z, Zhao X, et al. Multitemporal analysis of cropland transition in a climate-sensitive area: A case study of the arid and semiarid region of northwest China[J]. Regional Environmental Change, 2014,14 (1):75-89.
- [23] Wang X, Zhao X, L, Zhang Z. X, et al. Assessment of soil erosion change and its relationship with land use/cover change in China from the end of the1980s to2010[J]. Catena, 2016,137:256-268.
- [24] Kinnell P I A. Raindrop-impact-induced erosion processes and prediction: A review[J]. Hydrological Processes, 2005, 19(14):2815-2844.
- [25] Liu S. L, Dong Y. H, Li D, et al. Effects of different terrace protection measures in a sloping land consolidation project targetingsoil erosion at the slope scale[J]. Ecological Engineering,2013,53:46-53.
- [26] Cui J. L, Chen L, Fang X. J. Soil erosion characteristics of different slope gra-dients and aspects in Song-huaba Watershed of Kunming. Journal of West China Forestry Science,2012,41(6):63-67.
- [27] 黄双喜,石国钰,许全喜. 嘉陵江流域水土保持措施蓄水减蚀指标研究[J]. 水土保持学报,2002,16(5):38-42.