森林绿量与水土流失之间的定量关系

叶 伟，赖日文，谢雪莉，汪 琴，陈 芳，陈思雨，罗文玮

（福建农林大学 林学院，福建 福州 350002）

摘 要：以福建省长汀县为研究对象，基于遥感技术手段，运用 USLE 方程计算了区域水土流失量。在此基础上进行相关的处理获得各乡镇的水土流失率。结合各乡镇的单位面积绿量，通过相关分析与建立模型定量描述了两变量之间关系。结果表明，单位面积绿量与水土流失率呈明显的负相关，各模型的 R^2 均在 0.5 以上。研究结果可为区域的森林合理经营和水土保持提供决策支持。

关键词：USLE 方程；绿量；水土流失率；遥感技术

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2014)05-0295-04 **中图分类号**：S715.3

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.05.061

Quantitative Relationship Between Regional Green Biomass and Soil Erosion

YE Wei, LAI Ri-wen, XIE Xue-li, WANG Qin, CHEN Fang, CHEN Si-yu, LUO Wen-wei

(*College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian* 350002, *China*)

Abstract: Taking Changting County of Fujian Province as a study area, based on the geomatics technology, the amount of soil and water loss was calculated by using USLE(universal soil loss equation). Then combined with the green biomass of every town, the model of quantitative description of the relationship between these two factors was established. The result showed that the green biomass of unit area was negative correlated to soil and water loss obviously, the R^2 of each model was more than 0.5. The research conclusion can provide support for decision-making of regional forest management and soil and water conservation.

Keywords: **USLE equation; green biomass; rate of soil and water loss; remote sensing technology**

众所周知，森林植被是保持水土和改善生态环境的积极因素，植被措施是防止水土流失最有效的措施之一，在水土保持中发挥了重要的作用[1]。国内外学者就植被与水土流失之间的关系进行过大量的研究[2-14]，结果表明植被覆盖度与水土流失量、径流量呈负相关，也就是说随着区域森林覆盖的增加水土流失量逐渐减少，强烈的佐证了森林植被对保持水土以及防止水土流失的关键作用。中国在 80 年代出现了“绿量”(green biomass)这个名词[15]，是植被覆盖状况的一个评价指标，叶伟等[16]利用遥感技术计算了福建省长汀县各乡镇的叶面积层面的森林绿量，并发现它与当地的水土流失状况总体呈负相关。然而，以森林绿量作为植被覆盖的指标来研究它与水土流失之间的定量关系并建立它们之间关系的模型尚未见报。

本研究以福建省长汀县为研究对象，对研究区 HJ-1 影像通过光谱灰度阈值划分出森林类型分布、绿地分布等信息，并通过实地测得的叶面积指数(LAI)，根据绿量定义即该区域代表林分类型叶面积指数与其所占林地面积的乘积计算出森林绿量数据。水土流失量计算方面利用美国通用方程(USLE)，采用 3S 技术手段获取该模型计算的相关因子从而得到研究区域的水土流失量，在此基础上进行相关的处理获得各乡镇的水土流失率。在得到研究区域单位面积森林绿量和水土流失率的后，进行相关分析和曲线拟合的方法来确定两者之间的定量关系，从而为该地区森林生态环境保护、水土流失防治提供决策支持，为指导区域的经济发展提供参考，也为其他地区的生态重建和植被恢复提供范例。

1 研究区概况

长汀是中国福建省龙岩市下辖的一个县，位于福建省西部，地理坐标为 25°18′40″—26°02′05″N，116°00′45″—116°39′20″E，总面积 3 089.9 km^2，行政区划包括 13 个镇，5 个乡。地势由西北向中南倾斜，东北部以中山为主，西北以低山为主，系武夷山脉南段主脉，为闽赣两省水系分水岭，年平均气温 18.26 ℃，

收稿日期：2014-06-04 **修回日期**：2014-06-16

资助项目：福建省自然科学基金项目“森林碳储量遥感估测模型构建研究”(2011J01258)；福建省森林可持续经营

作者简介：叶伟(1989—)，男(汉族)，安徽省太湖县人，硕士研究生，研究方向为 3S 技术在资源环境中的应用。E-mail:yewei921@sina.com。

通信作者：赖日文(1970—)，男(汉族)，福建省政和县人，博士，副教授，主要从事 3S 技术在资源环境中的应用和森林资源经营管理研究。E-mail:fjlrw@126.com。

年平均降水量 1 742.8 mm，属中亚热带气候。中部丘陵以次生马尾松林为主，向四周扩展相继出现马尾松中成熟林、针阔叶混交林、常绿阔叶林和毛竹林，林木蓄积量约 1.0×10^7 m^3。长汀曾是福建省水土流失历史最久，面积最大，危害最严重的地区，也曾是中国南方红壤区水土流失最为严重的地区之一，经过20 a坚持不懈的治理，特别是近 10 a 的有效治理，从昔日的“水土流失冠军”变为“水土流失治理典范”[17]。

2 原理与方法

2.1 数据收集与预处理

收集 2012 年研究区域 HJ-1 遥感影像，空间分辨率 30 m；近几年长汀县各气象台站降雨数据；研究区域 1∶50 000 数字高程模型(DEM)；福建省土壤类型图、植被图和长汀县边界 shp 图以及前人完成的各项研究成果等。

对遥感图像进行预处理(包括辐射标定、大气校正、几何校正、直方图匹配、灰度调节、镶嵌及云去除等)，最后利用长汀县行政区划 shp 图层对预处理后的影像数据进行裁剪，获得长汀县 4 波段的 HJ-1 影像。本研究采用的主要软件有：ERDAS 9.2 遥感影像处理软件，ArcGIS 9.3 地理信息系统软件，SPSS 17.0 统计软件等。

2.2 森林绿量数据获取

国内外学者对绿量的定义和计算的方法不尽相同[18]，本文研究各乡镇森林绿量参考叶伟等[16]的计算和分析结果。在对研究区域遥感影像预处理的基础上，通过阈值探测和分类标准建立的方法获取各树种的实地覆盖面积。采用冠层分析仪 LAI 2000 测量杉木、松木、竹和阔叶树各树种的叶面积指数信息。2012 年 2—5 月，在福建省长汀县 18 个乡镇开展各主要树种叶面积指数野外调查。原则上，各镇(乡)调查不同林分类型的小斑各 3 个，并设置长期监测站点，每个小斑取 4 个测点，测点间保持 30 m 以上的距离，每个测点均进行相同的数据采集工作。测点立地质量等级以Ⅱ，Ⅲ级为主，林分龄组主要为中龄林与近熟林。

由于生长的差异性，测点郁闭度范围跨度较大，低者 0.20 以下，高者 0.90 以上。本文所用野外测定数据包括：GPS 坐标、树种种类信息和 LAI。综合野外调查结果与历史数据，选择 2010—2012 年林分健康状况较为一致的测点，得到 LAI 数据。

依据绿量公式，即绿量＝∑(各类树种面积×各类树种叶面积指数)，计算得出长汀县森林绿量数据，并对结果进行验证、分析和后处理，获得各乡镇的单位面积绿量数据(如表 1 所示)。

表 1 长汀县绿量统计结果

树木种类	竹类	杉木类	松木类	阔叶树类
叶面积指数(LAI)	5.71	2.01	1.41	7.76
森林类型面积/hm^2	31 894.5	47 484.5	123 006.0	40 951.2
叶面积绿量统计/hm^2	182 117.6	95 443.9	173 438.5	317 781.3
叶面积绿量总和/hm^2	768 781.2			

2.3 水土流失率计算

采用水土流失率来反映研究区域的水土流失状况，探讨单位面积森林绿量与水土流失率之间的定量关系。水土流失率是衡量土壤侵蚀状况的重要指标之一，其定义为轻度及轻度以上水土流失面积之和占区域总面积的百分比。基于 3S 技术手段，运用 USLE 方程计算区域水土流失量，在此基础上进行相关的处理获得各乡镇的水土流失率。USLE 方程的公式表示为：

$$A=R\times K\times LS\times C\times P$$

式中：A——多年平均水土流失量(t/hm^2)；R——降雨侵蚀力因子；K——土壤可蚀性因子(无量纲)；LS——地形因子(无量纲)；C——植被措施管理因子；P——防治措施因子。

运用 ArcGIS 9.3 和 Erdas 9.2 的空间数据管理和分析功能建立长汀县的数字高程模型(DEM)，土地利用现状图，土壤类型图，研究区域多年平均气候图等矢量图，对其属性数据进行相应的数据编码操作，再借助 ArcGIS 9.3 将上述各图栅格化，考虑到区域的尺度和计算的精度，栅格大小为 30 m×30 m，获得上述 USLE 方程的因子图后，再通过 Erdas 9.2 将各因子图叠加连乘获得长汀县的水土流失量栅格图(图 1)。

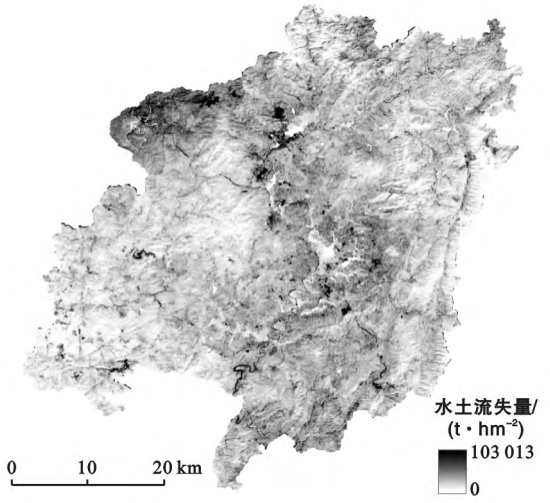


图 1 长汀县 2012 水土流失量分布

3　结果与分析

在获得长汀县水土流失量分布图的基础上,根据中华人民共和国水利行业标准《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190—2007,表 2)并结合长汀县水土流失的实际情况,将研究区水土流失状况划分为微度、轻度、中度、强度、极强度、和剧烈 6 个级别。按照水土流失率的定义进行计算,结果见表 3。

本文利用长汀县行政边界图建立 AOI 对研究区域绿量分布数据进行掩膜,统计得到长汀县各乡镇绿量如表 3 所示。

表 2　土壤侵蚀强度分级

侵蚀强度	平均侵蚀模数/($t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$)	平均流失厚度/($mm \cdot a^{-1}$)
微度	＜500	＜0.37
轻度	500～2 500	0.37～1.9
中度	2 500～5 000	1.9～3.7
强度	5 000～8 000	3.7～5.9
极强度	8 000～15 000	5.9～11.1
强烈	＞15 000	＞11.1

根据表 3 中获得的结果,运用 SPSS 软件采用 Pearson 法对单位面积森林绿量和水土流失率进行相关分析,其相关系数为－0.85,相关系数的 sig. 为 0.000,小于 0.01,说明该组数据中水土流失率与单位面积绿量呈负相关,且相关性是高度显著的。

以长汀县各乡镇单位面积绿量(x)为自变量,水土流失率(y)为因变量,对研究区域两变量通过建立模型的方法进行拟合,探索两变量之间的定量关系,并获得各拟合曲线的数学表达式(见表 4)。拟合结果表明,在几种常见的模型当中,相关系数均处于较高水平,两变量之间呈明显的负相关。

表 3　长汀县各乡镇单位面积绿量与水土流失率分布

乡 镇	单位面积绿量/($hm^2 \cdot hm^{-2}$)	水土流失率/%
铁长乡	3.38	2.30
庵杰乡	3.56	4.18
馆前镇	2.63	10.47
新桥镇	2.61	14.47
大同镇	2.58	13.59
童坊镇	2.48	7.92
古城镇	2.64	7.11
汀州镇	2.33	14.00
策武镇	1.98	23.22
河田镇	1.96	31.12
四都镇	3.35	5.43
南山镇	2.66	13.20
濯田镇	2.79	15.89
三洲镇	1.24	36.64
红山乡	3.77	4.62
涂坊镇	3.10	13.74
宣成乡	3.92	8.98
羊牯乡	3.71	3.29

表 4　模型汇总和数学表达式

方程	模型汇总					拟合曲线的数学表达式
	R^2	F	df_1	df_2	sig.	
线性	0.723	41.764	1	16	0.000	$y=44.391-11.221x$
对数	0.795	62.110	1	16	0.000	$y=420\ 190-29.386\ln x$
倒数	0.799	63.768	1	16	0.000	$y=-12.083+\frac{64.836}{x}$
二次	0.829	36.289	2	15	0.000	$y=79.175-38.583x+5.027x^2$
三次	0.839	24.257	3	14	0.000	$y=46.551+5.545x-13.267x^2+2.366x^3$
复合	0.675	33.158	1	16	0.000	$y=116.050\times0.418^x$
幂	0.662	31.280	1	16	0.000	$y=86.103x^{-2.159}$
S	0.588	22.791	1	16	0.000	$y=e^{0.579+\frac{4.476}{x}}$
增长	0.675	33.158	1	16	0.000	$y=e^{4.754-0873x}$
指数	0.675	33.158	1	16	0.000	$y=116.050e^{-0873x}$
Logistic	0.675	33.158	1	16	0.000	$y=\frac{1}{0.009\cdot e^x+1/2.394}$

4　结 论

(1) 三洲镇、河田镇和策武镇的水土流失率最高,水土流失情况较为严重,与该区域绿量数据呈负相关,即森林绿量越小的区域水土流失情况越严重,而森林绿量越大的区域水土流失情况相对缓和。例

如铁长乡、庵杰乡、红山乡、涂坊镇、宣成乡、羊牯乡、四都镇等乡镇。说明丰富的森林绿量对整体生态效益有良好的促进作用。在森林覆盖程度较高的地区，整体的水土流失程度比较轻，强烈佐证了森林对水土流失方面治理的重要性，为今后的森林经营提供决策性支持。

(2) 单位面积绿量与水土流失率之间定量关系各模型的 R^2 均在 0.5 以上，说明两变量之间的相关性明显，其中三次多项式模型相关系数最高为0.839，二次多项式模型相关系数次之为 0.829，倒数模型、对数模型和线性模型相关系数分别为 0.799，0.795 和 0.723。

(3) 本研究所建立的模型定量化地揭示了森林与水土流失的关系，并且验证了植物对水土保持功能的作用，推动了人们对森林保持水土作用的认识，有助于提高人们对保护大自然的意识。森林植被是保持水土和改善生态环境的积极因素，研究并探索森林与水土流失之间的关系对于正确指导人类活动和社会发展具有重要意义。

(4) 本研究从宏观角度分析了区域单位面积绿量与水土流失率之间的定量关系，在一定程度上反映了两者之间的关系。然而，所选取的样本数量较少，导致模型在验证方面缺少足够的数据支撑，考虑将在后期的工作中研究区域绿量与水土流失量在影像上的 DN 值之间的差异，探索两者之间的定量关系，以解决样本数量较少的问题。

(5) 南方的马尾松和桉树林地往往出现“远看绿油油，近看水土流”的现象，尽管其森林绿量高，但在生产实践中，其水土流失程度并不一定轻，鉴于研究区域的局限性，相关问题有待进一步研究。

[参 考 文 献]

[1] 罗兴录，樊吴静，杨鑫，等. 不同植被下水土流失研究[J]. 中国农学通报，2013，29(29)：162-165.

[2] 黄宇，邹冬生，王华，等. 龙须草的水土保持效益研究[J]. 中国生态农业学报，2004，12(2)：152-154.

[3] 崔铁成. 森林植被与洪水、水土流失等灾害的关系综述[J]. 西北林学院学报，1993，8(1)：95-99.

[4] Gilley J E. Narrow grass hedge effects on runoff and soil loss [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000, 55(2):190-196.

[5] Eghabll B, Gllley J E, Kramer L A, et al. Narrow grass hedge effects on phosphorus and nitrogen in runoff following manure and fertilizer application [J]. Soil and Water Conservation, 2000, 55(2):172-176.

[6] 余新晓，毕毕兴. 黄土地区森林植被水土保持作用研究[J]. 植物生态学报，1997，21(5)：433-440.

[7] 陈廉杰. 乌江中下游低效林水土保持效益分析[J]. 水土保持通报，1991，11(6)：17-22.

[8] 肖波，赵台格，邵明安. 黄土高原侵蚀区生物结皮的人工培育及其水土保持效应[J]. 草地学报，2008，16(1)：28-33.

[9] 邓湘雯，康文星，田大伦，等. 不同年龄阶段杉木人工林生态系统的径流规律[J]. 林业科学，2007，43(6)：1-6.

[10] 袁正科，田育新，李锡泉，等. 缓坡梯土幼林下植被覆盖与水土流失[J]. 中南林学院学报，2002，22(2)：21-24.

[11] 盛炜彤. 杉木人工林水土流失及养分损耗研究[J]. 林业科学研究，2000，13(6)：589-597.

[12] 谢影，张金池. 黄河、长江流域水土流失现状及森林植被保护对策[J]. 南京林业大学学报，2002，26(6)：88-92.

[13] 刘福云，王准，周永丽，等. 岩桂人工林水土流失监测及效益评估[J]. 中南林学院学报，2005，25(1)：15-20.

[14] 吴钦孝. 森林保护水土机理及功能调控技术[M]. 北京：科学出版社，2005.

[15] 张杭. 基于 RS 的武汉城市乔木绿化三维量测算研究[D]. 武汉：华中农业大学，2007.

[16] 叶伟，赖日文，池毓锋，等. 基于 HJ-1 的长汀县森林绿量分析[J]. 中南林业科技大学学报，2014，34(5)：33-37.

[17] 兰思仁. 加快生态文明体制机制创新[EB/OL]. [2014-05-08]. http://Fujian.people.com.cn/changting/n/2014/0508/c355599-21162986.html.

[18] 康峰峰. 北京西南山地森林绿量遥感反演的研究[D]. 北京：北京林业大学，2011：8-11.