

基于 USLE 模型的长株潭城市群 生态绿心区水土流失研究

陈学林, 文仕知, 杨丽丽, 何功秀, 周沁, 夏焱

(中南林业科技大学 林学院, 湖南 长沙 410004)

摘要: [目的] 研究 2018 年长株潭(长沙市—株洲市—湘潭市)城市群生态绿心区最佳植被覆盖和水土流失状况, 为区域综合治理提供理论依据。[方法] 运用 GIS 和 RS 技术, 以长株潭区域降雨、土壤、地形、土地利用等数据为基础, 采用归一化植被指数(NDVI)模型和 USLE 国际通用土壤流失方程为优选模型。[结果] 长株潭绿心区总面积为 52 287 hm², 整体植被状况较好, 高覆盖度(75%~100%)面积最大, 占绿心区总面积一半以上, 为 26 598.40 hm²; 中低覆盖度(30%~40%)面积最小, 占区域总面积的 8.61%, 为 4 501.91 hm²。长株潭城市群生态绿心区总侵蚀(不含微度)面积为 3 654.24 hm², 占总面积的 6.99%。湘潭市侵蚀比重最高, 为 8.51%, 长沙市次之, 为 6.67%, 株洲市侵蚀总比例最小, 为 5.68%。工程建设用地在禁止开发区、限制开发区和控制建设区的侵蚀面积分别为 963.92, 310.74, 735.11 hm²。[结论] 受人为因素、城市建设、产业分布等影响, 长株潭城市群生态绿心区覆盖度空间呈现西部低, 中东部高的格局, 工程建设是造成绿心区土壤侵蚀的主要原因。

关键词: 长株潭城市群; 生态绿心区; 植被覆盖度; NDVI; USLE; 水土流失评价

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)03-0118-07

中图分类号: S157, P237

文献参数: 陈学林, 文仕知, 杨丽丽, 等. 基于 USLE 模型的长株潭城市群生态绿心区水土流失研究[J]. 水土保持通报, 2020, 40(3): 118-124. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.20200628.001; Chen Xuelin, Wen Shizhi, Yang Lili, et al. A study on soil and water loss in ecological green heart area of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration based on USLE model [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(3): 118-124.

A Study on Soil and Water Loss in Ecological Green Heart Area of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan Urban Agglomeration Based on USLE Model

Chen Xuelin, Wen Shizhi, Yang Lili, He Gongxiu, Zhouqin, Xia Yan

(College of Forestry, Central South University of Forestry & Technology, Changsha, Hu'nan 410004, China)

Abstract: [Objective] The optimal vegetation coverage of the ecological green heart area of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration and the regional soil and water loss status in 2018 were studied to provide a theoretical basis for comprehensive management of regional soil erosion. [Methods] Using GIS and RS technology, based on rainfall, soil, terrain, land use and other data in the Changsha-Zhuzhou-Xiangtan area, the normalized difference vegetation index and USLE were adopted as the preferred models. [Results] The total area of the Changsha-Zhuzhou-Xiangtan green heart area was 52 287 hm², and the overall vegetation condition was above par. The high coverage (75%~100%) area was the largest, constituting more than half of the total area of the green heart area (26 869.79 hm²); the low coverage (30%~40%) area was the smallest, being only 8.61% of the total area (4 501.90 hm²). The total area of erosion (excluding microdegree) in the green heart area was 3 654.24 hm² (which was 6.99% of the total area). The proportion of erosion in Xiangtan City was the highest (8.51%), followed by Changsha City (6.67%) and Zhuzhou City (5.68%). The erosion area of construction land was 963.92, 310.74, and 735.11 hm² in the prohibited development zone, restricted

收稿日期: 2019-11-25

修回日期: 2019-12-26

资助项目: 湖南省水利厅水土保持监测总站“长株潭绿心保护区动态监测项目”(2130310)

第一作者: 陈学林(1994—), 男(汉族), 湖南省长沙市人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持。Email: 502638271@qq.com。

通讯作者: 文仕知(1958—), 男(汉族), 湖南省衡阳市人, 博士, 教授, 博导, 主要从事水土保持研究工作。Email: wenshizhi@163.com。

development zone, and the controlled construction zone, respectively. [Conclusion] The coverage space of the ecological green heart area of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration appeared to be low in the west and high in the middle-east part, which might have resulted from man-made factors, urban construction, and industrial distributions. Engineering construction was the main reason for soil and water loss in the green heart area.

Keywords: ecological green heart area; Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration; vegetation coverage; normalized difference vegetation index (NDVI); universal soil loss equation (USLE); soil erosion evaluation

湖南长株潭(长沙市—株洲市—湘潭市)城市群生态绿心区^[1],是该地区极为重要的生态屏障。本文以长株潭绿心区为研究区域,通过对比国内外植被盖度估算方法,最终采用归一化植被指数模型(NDVI)^[2]和 USLE 通用土壤侵蚀方程为主要方法和模型。前人研究证明,NDVI 和 USLE 土壤侵蚀模数具有模型简单,可操作性强,结果可靠,应用性强的特点^[3],结合 2018 年“湖南省长株潭生态绿心区水土流失动态监测”项目遥感数据,定量分析长株潭绿心区水土流失情况,以期进一步促进绿心区生态环境保护工作的开展。

1 研究区概况

长株潭城市群绿心区地处湖南省中部偏东北地区,是长株潭城市群交汇处的核心地带,位于株洲盆地、湘潭—湘乡盆地、长沙盆地 3 个盆地之间的边缘高地上,地貌以丘陵为主。大部分地区海拔高度在 100~300 m 之间(不含湘江),其中海拔高度 120~260 m 之间的丘陵接近一半。土壤以红壤为主,保水能力差。整个区域位于 25°~30°中低纬地区,属于亚热带季风性气候,年气候变化较大,地区降水分布不均,夏冬季旱涝及降水变化明显。全年平均气温 16 ℃,年均降水 1 400 mm 左右。区域特点明显,森林覆盖率高,植被类型丰富,水文资源充足,长江的重要支流湘江经过绿心区西部、南部。长株潭绿心区总面积达 52 287 hm²,其中,长沙 30 569.10 hm²,占 58.46%;株洲 8 235.91 hm²,占 15.75%;湘潭 13 481.99 hm²,占 25.78%^[4]。

2 研究方法

2.1 数据来源

本文的数据源自“湖南省长株潭生态绿心区水土流失动态监测”项目,包括:分辨率为 6 m 的 SPOT 7 多光谱遥感数据,建立植被盖度估算模型;最新 1:10 000 地形图,无人机影像,绿心区多年平均年降雨量数据,土地类型(耕地、非耕地等)分布图,中科院资源环境科学数据中心获取的土壤质地空间分布数据等。

2.2 研究方法

植被指数^[5]是对地表植被状况进行简单、有效的度量,能够广泛用来定性和定量评价^[6]植被覆盖度及其生长活力。全文采用数据处理及分析方法包括:

(1) 归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI),广泛应用于遥感图像的植被研究,包括植被状态、植被空间分布密度,在前人的研究中,普遍认为它是植物生长状态以及植被空间分布密度的最佳指示因子^[7]。NDVI 是指近红外波段(NIR)与红光波段(R)的反射值之差和这两个波段数值之和的比值,红色和近红外波段的差值是对植物量的一种精确衡量,因为植物叶绿素光合作用吸收红光,植物量越多,长势越好,吸收的红光就越多,反射的红外光也越多,所以 NDVI 对植被有极强的响应能力^[8]。计算公式为:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

式中:NDVI 为归一化植被指数; NIR 为近红外波段; R 为红外波段;其值变化范围在[-1, +1]区间内,植被覆盖度越高,其值越趋近于 1;如无植被覆盖,则趋近于 0。同时,因为 NDVI 值是波段比值之间的反映,会受到外在因素条件的影响,如气候、遮挡物、影响辐射反馈的干扰情况等。

(2) 植被指数反演长株潭绿心区植被覆盖度。在确定植被指数的基础上,建立盖度反演模型^[9]计算研究区域覆盖度。NDVI 可以表达为 3 种不同类型的回归方程,包括线性回归方程、一元二次回归方程、一元三次回归方程。通过对不同模型之间相互拟合,增加模型与指数之间的相关性,减少误差,并利用相应绿心区实地植被覆盖度样点数据分析验证,实现最优模型。

(3) 野外调查和建立遥感解译标识。野外调查和建立野外遥感标识^[10],是水土保持监测与研究的重要方法,可以强化现场实地情况与卫星遥感数据关联,现场验证植被盖度反演和土壤侵蚀结果。主要技术手段包括拍照、无人机航拍、人工实地测算检验等。经技术手段采集,内业处理照片 1 000 余张,共实现 77 个有效数据点,土地类型和覆盖类型包括耕地、林

地、园地、草地、建设用地等。

(4) 利用 USLE 模型进行长株潭绿心区土壤侵蚀量计算,实现水土流失定量评价。USLE(universal soil loss equation)是指美国通用土壤流失方程^[11],是国际通用的水土流失评价方法,主要通过多因子计算,综合研究区域的各地形、地类、植被、土壤、水文信息,测定土壤流失量,并结合国家《土壤侵蚀分类分级标准》^[12],确定土壤侵蚀程度分级分类治理。

通用土壤流失方程,表达为:

$$A=R \cdot K \cdot S \cdot L \cdot C \cdot P \quad (2)$$

式中: A 为土壤年侵蚀量(t/hm^2); R 为降雨侵蚀力因子 $[MJ \cdot mm/(hm^2 \cdot h)]$; K 为土壤可蚀性因子 $[(t \cdot h)/(MJ \cdot mm)]$; S 为坡度因子,无量纲; L 为坡长因子,无量纲; C 为植被覆盖管理因子,无量纲; P 为水土保持措施因子,无量纲。

3 结果与分析

3.1 植被覆盖度回归模型

利用 77 个植被覆盖样地数据,选取其中 52 个样点真实数据,通过 SPSS 22.0 代入相关性分析,通过计算,归一化指数(NDVI)建立 3 种不同的回归拟合曲线,进行模型的有效性验证和精度验证。即以选取的归一化植被指数为自变量(X),植被覆盖度为因变量(Y),进行回归模型拟合,基于 NDVI 的 3 种回归曲线方程见表 1。

模型验证,检验指标选择较多,本文选取常见的确定系数(R^2)、平均绝对误差(MAE)、均方根误差(RMSE)和预估精度(P)4 个精度评价指标^[13],并利

用其他 25 个未参与模型构建的数据代入曲线方程,将所得植被覆盖度在评价指标中一一反映。其中,确定系数(R^2)表示因变量(X)与自变量(Y)之间的拟合程度,如拟合程度越好, R^2 值越接近 1;拟合程度越差, R^2 越接近 0;均方根误差(RMSE)代表着真实值与预测值之间的偏差,反映预测值的精密度,如值越小,则精密度越高;平均绝对误差(MAE)能更好反映预测值误差的实际情况,其值越小,误差越小;预估精度(P)是反映拟合真实值与预测值程度指标,如值越大,拟合程度越好^[14]。

表 1 基于 NDVI 不同形式回归曲线方程

回归模型	常量	b_1	b_2	b_3
线性回归曲线(Y_1)	-0.018	1.054		
一元二次回归曲线(Y_2)	0.039	0.626	0.465	
一元三次回归曲线(Y_3)	0.031	0.508	0.976	-0.431

结果如表 2 所示,在确定系数(R^2)中,一元三次回归曲线(Y_3)为 0.832,大于一元二次曲线(Y_2)的 0.827,大于回归曲线(Y_1)的 0.795,且最为接近 1,说明其拟合程度为三者最佳;在平均绝对误差(MAE)中,一元三次回归曲线(Y_3)为 0.089 2,小于一元二次曲线(Y_2)的 0.092 0,小于回归曲线(Y_1)的 0.096 8,其值最小,说明其存在的误差最小;在均方根误差(RMSE)中,一元三次回归曲线(Y_3)为 0.116 3,小于一元二次曲线(Y_2),小于回归曲线,其值最小,说明其精度为三者中最高;同理,预估精度(P)中一元三次回归曲线(Y_3)88.92%是 3 个曲线中最大值,拟合程度最佳。

表 2 NDVI 不同种类回归曲线结果

回归拟合曲线方程	R^2	MAE	RMSE	$P/\%$
$Y_1=1.054x-0.018$	0.795	0.0968	0.1285	86.13
$Y_2=0.465x^2+0.626x+0.039$	0.827	0.0920	0.1181	87.52
$Y_3=-0.431x^3+0.976x^2+0.508x+0.031$	0.832	0.0892	0.1163	88.92

同时,再进行从一元一次回归曲线到一元三次回归曲线的逐次拟合验证,所得的结果为:

(1) 一次回归:

$$y=0.956x-0.015, R^2=0.779, F=175.920$$

(2) 二次回归:

$$y=0.570x^2+0.383x+0.040, R^2=0.792, F=93.5$$

(3) 三次回归:

$$y=0.465x^3+0.801x^2-0.322x+0.032,$$

$$R^2=0.794, F=61.488$$

从初始次到一元三次回归曲线之间的变化,确定

系数 R^2 表明的拟合程度,仍然较一元二次和初始次更接近 1。因此,一元三次回归曲线(Y_3)为本研究最优模型(Y =植被覆盖度, X =NDVI)。

植被盖度是影响水土流失的重要因素,利用模型对长株潭绿心区植被盖度反演,从而进一步实现对区域土壤侵蚀与水土流失的具体研究分析。

3.2 绿心区植被盖度分布特征

根据水利部 2008 年颁布的《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190-2007),将不同土壤侵蚀等级对应研究区长株潭绿心不同等级植被覆盖度,将绿心区实际覆盖情况进行相应分类。标准共分为 5 个等级:覆盖度

范围在 0~30% 为第 1 级(裸地、低覆盖), 30%~45% 为第 2 级(中低覆盖), 45%~60% 为第 3 级(中覆盖), 60%~75% 为第 4 级(中高覆盖), 75%~100% 为第 5 级(高覆盖)^[15]。

3.2.1 植被覆盖度空间分布特征 根据模型计算, 覆盖度的空间分布情况如图 1 所示。越趋近于 1 则覆盖程度越高, 越趋近或等于 0 则无植被覆盖, 如湘江水系默认为 0。由图 1 可以明显看出, 湘江沿岸地区即洞井镇与暮云镇南部、昭山乡西部, 荷塘乡西北部植被覆盖度明显较其他地区偏低; 白马垄、昭山乡南部、柏加镇及云田乡北部植被覆盖度较区域内其他地区偏高。呈现此空间分布, 主要是因为湘江沿岸及附近地区依水而居, 人口聚集度较大, 适宜开展生产生活及城市建设开发, 受人为因素干扰, 植被破坏程度较高, 而绿心区中部以林地林业为主, 植被天然保护程度较好。

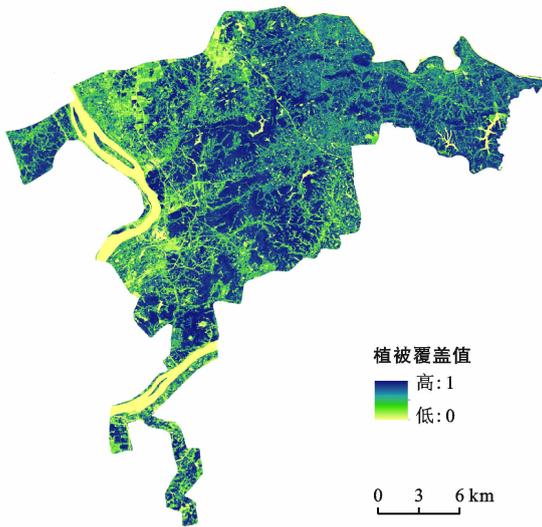


图 1 植被覆盖度空间分布

3.2.2 不同覆盖等级面积分布特征 将研究区域植被覆盖度等级按面积进行计算, 主要分布特征如图 2 所示。第 V 级(高覆盖度)区域面积在长株潭绿心区总面积中比重最大, 占 50.87%, 为 26 598.40 hm^2 , 第 II 级(中低覆盖度)区域面积最小, 占区域总面积的 8.61%, 为 4 501.91 hm^2 。各覆盖面积等级占比顺序为, 第 V 级(高覆盖度)占 50.87%, 第 I 级(低覆盖度)次之, 为 18.83%, 第 IV 级(中高覆盖度), 12.54%, 第 III 级(中覆盖度)较低, 为 9.15%, 第 II 级(中低覆盖度)面积最少, 为 8.61%。

从植被覆盖面积上分析, 第一, 长株潭绿心区整体植被覆盖度较高, 高覆盖度地区面积占总面积一半以上, 比重优势明显; 二是结合空间特征, 除小部分地

区外, 整体受人为因素扰动程度较低; 三是研究区整体地形平坦, 高植被覆盖度和地理优势有利于减轻土壤侵蚀强度, 便于水土保持措施的开展, 良好的植被是实现绿心区保护的重要前提^[16]。

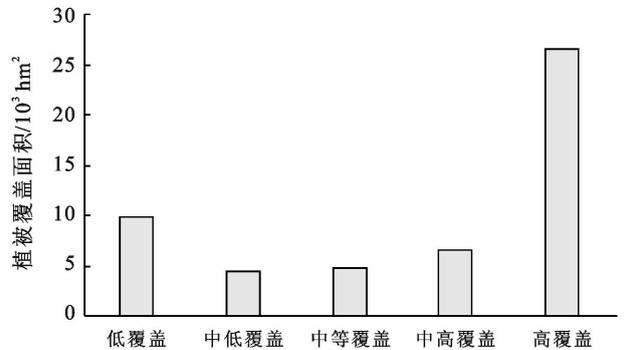


图 2 不同植被覆盖等级面积比例分布特征

3.3 绿心区土壤侵蚀因子估算

3.3.1 降雨侵蚀力因子 R 降雨是水力侵蚀的重要原因, 而绿心区处亚热带季风气候, 雨季集中, 降雨充沛, 加强了侵蚀发生。以全国降雨监测站点数据, 制成站点图层, 加权平均后裁剪研究区域降雨矢量图, 依照水利部水土流失监测要求, 使用统一土壤侵蚀 R 因子计算公式, 计算研究区 R 因子空间分布, 其范围在 6 181.64~6 725.33 $[\text{MJ} \cdot \text{mm}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})]$ 之间。降雨 R 因子区域内分布, 呈现绿心区由西南向东北逐渐增加, 西低东高, 降雨侵蚀力越大, 侵蚀强度越大。

3.3.2 土壤可蚀性因子 K 不同土壤质地和土壤有机质对土壤侵蚀程度产生影响, 土壤可蚀性主要体现在对土壤的破坏和搬运。以土壤质地和有机质全国普查数据, 包括砂土, 粉砂土和黏土, 用栅格计算得出, 土壤质地越细或越粗, 则 K 值越小, 质地越适中, 则 K 值越大。区域内存在明显差异, 范围值在 $[0, 0.039](\text{t} \cdot \text{h})/(\text{MJ} \cdot \text{mm})$, 总体分布呈西部低, 中部高, 绿心区西部有湘江水系, 值为趋近于 0, 中部地势相对高, 可侵蚀值增大。

3.3.3 坡长坡度因子 LS 坡长坡度因子 LS 以 DEM 高程图为基础计算, 同时也是两者叠加作用, 是先计算两者后的乘积, 范围值在 $[0.018, 18.21]$, 总体呈现中部高, 四周低, 与 DEM 高程数据相吻合。坡度越大, 冲刷力越强, 坡长越长, 增加坡面径流, 从而影响土壤侵蚀的发生。

3.3.4 植被覆盖管理因子 C 本文基于 SPOT7 多光谱遥感数据, 在前文已验证 NDVI 归一化植被指数和最优一元三次回归方程基础上, 计算植被覆盖度, 再将植被覆盖度在 ArcGIS 上转为栅格, 求植被覆盖管理因子, 因为 C 值与植被覆盖度存在明显数学关

系,参考蔡崇法等^[17]建立的植被覆盖度和 C 值的公式计算,其值在 $[0,1]$,分辨率为 6 m,代表了植被和管理因素对区域的综合作用。

3.3.5 水土保持措施因子 P 水土保持措施因子 P 是水土保持措施之下,土壤流失量与对应顺坡耕作条件下的流失量之比,是水土保持措施对土壤流失发生的影响。其值在 $0\sim 1$ 之间,此因子主要是依据前期土地利用类型斑块进行赋值,支撑项目中水利部对不同地类赋值有明确标准,一般措施程度越强,值越高,可为 1,赋值后转换栅格数据计算。

3.4 绿心区土壤侵蚀特征

3.4.1 土壤侵蚀强度空间分布特征 依据《区域水土流失动态监测技术规定》和水利部《土壤侵蚀分级分类标准》(SL190-2007),运用遥感和 USLE 土壤侵蚀模型进行图层栅格乘积计算,得出长株潭绿心区土壤侵蚀量即侵蚀模数^[18]。根据不同侵蚀量,确定侵蚀等级,一共 6 级,包括微度、轻度、中度、强烈、极强烈和剧烈。本研究区域主要为水力侵蚀地区,标准微度即 $500\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 以内,属于可允许侵蚀范围内,默认为未发生侵蚀^[19],得到绿心区水土流失总面积及各侵蚀强度面积情况。

长株潭绿心区土壤侵蚀面积为 $3\,654.24\text{ hm}^2$,占绿心区总面积的 6.99% 。其中,长沙市土壤侵蚀面积 $2\,038.62\text{ hm}^2$,占长沙市总面积的 6.67% ,占绿心区土壤侵蚀面积的 55.79% ;株洲市土壤侵蚀面积 467.98 hm^2 ,占株洲市总面积的 5.68% ,占绿心区土壤侵蚀面积的 12.81% ;湘潭市土壤侵蚀面积 $1\,147.64\text{ hm}^2$,占湘潭市总面积的 8.51% ,占绿心区土壤侵蚀面积的 31.41% 。

总侵蚀面积上,符合植被覆盖反演的结果,绿心区总体侵蚀面积较小,占比不到总面积 7% ,在可控

范围内;同时,长株潭 3 市侵蚀面积,长沙市土壤侵蚀面积最大,湘潭次之,株洲最小,在比重上,湘潭市的土壤侵蚀面积占该市总面积比例最高,长沙次之,株洲最小。一方面,长沙土壤侵蚀总面积最大与长沙市在绿心区范围内所占面积最大紧密相关,可统计范围大造成实际计入的侵蚀面积增加,符合逻辑,虽不能完全说明长沙市的土壤侵蚀状况,但该数据侧重的是长沙市的总体侵蚀面积较其他两市面积大,需要进行的预防和治理投入应该更多;另一方面,进行内部比较,湘潭市土壤侵蚀面积占市区总面积明显较大,土壤侵蚀情况较长沙、株洲更为突出。株洲无论是总侵蚀面积或侵蚀面积占市区面积比重均为 3 市中最低,可以判断整体水土流失状况较好。

3.4.2 长株潭各地区土壤侵蚀特征 如表 3 所示,研究区中度侵蚀面积与所占比重均为最大,为 $1\,279.12\text{ hm}^2$,强烈侵蚀面积次之,为 $1\,037.23\text{ hm}^2$,随后极强烈侵蚀为 619.39 hm^2 ,轻度侵蚀为 382.42 hm^2 ,剧烈侵蚀面积最小,为 336.08 hm^2 。以中度侵蚀和强烈侵蚀为主,最为严重的极强烈侵蚀和剧烈侵蚀整体面积较小,两者之和比例尚未超过总侵蚀面积 30% ,说明整体侵蚀强度不大,在可控范围内,同时类似于采矿用地和裸土地等地类,极强烈及以上极端侵蚀状况较少,这与进行土地利用数据(矢量)处理时的情况保持一致,现场土地利用验证亦可证明。

同时,对长株潭 3 市比较分析,湘潭市在前文表明侵蚀比重为三市中最大,长沙市与湘潭市均以中度侵蚀为主,占 31.97% 和 42.26% ,是湘潭市土壤侵蚀的主要方面;株洲市虽然整体土壤侵蚀情况较好,但必须注意,极强烈侵蚀为严重侵蚀,所占株洲地区侵蚀总面积的 21.94% ,大于长沙的 19.94% 和湘潭的 9.61% ,须进行水土流失重点预防和治理,防患于未然。

表 3 长株潭绿心区土壤侵蚀强度分级面积

项目	区域 总面积/ hm^2	项目	侵蚀强度分级				
			轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈
绿心区	52 287.00	侵蚀面积/ hm^2	382.42	1 279.12	1 037.23	619.39	336.08
		占土地总面积/%	0.73	2.45	1.98	1.18	0.64
		占侵蚀总面积/%	10.47	35.00	28.38	16.95	9.20
长沙市	30 569.10	侵蚀面积/ hm^2	233.58	651.73	594.41	406.44	152.46
		占土地总面积/%	0.76	2.13	1.94	1.33	0.50
		占长沙侵蚀总面积/%	11.46	31.97	29.15	19.94	7.48
湘潭市	13 481.99	侵蚀面积/ hm^2	105.01	485.00	314.13	110.29	133.21
		占土地总面积/%	0.78	3.60	2.33	0.82	0.99
		占湘潭侵蚀总面积/%	9.15	42.26	27.37	9.61	11.61
株洲市	8 235.91	侵蚀面积/ hm^2	43.83	142.39	128.69	102.66	50.41
		占土地总面积/%	0.53	1.73	1.56	1.25	0.61
		占株洲侵蚀总面积/%	9.37	30.43	27.50	21.94	10.76

3.4.3 空间分区管制下土壤侵蚀特征 根据《湖南省长株潭绿心区总体规划》(2010-2030)将湖南省长株潭绿心区划分为禁止开发、限制开发和控制建设3个区,其面积分别为 26 368.88,19 955.76,5 962.36 hm^2 。空间范围内主要分为非耕地、坡耕地和工程建设用地^[20]。

(1) 禁止开发区。如表 4 所示,在禁止开发区,长沙市面积为 12 987.78 hm^2 大于湘潭市 7 628.92 hm^2 和株洲 5 752.18 hm^2 ,但却发生了占 51.18%的

总侵蚀面积,侵蚀占比更高,更加显著;3个城市中,长沙非耕地和工程建设用地发生侵蚀比例最大,分别为 49.75%和 53.52%,湘潭市在坡耕地发生的侵蚀比重最大,为 43.19%;长沙市与湘潭市在工程建设用地土壤侵蚀面积更广,为 515 hm^2 和 330.60 hm^2 分别大于两市的非耕地和坡耕地。说明在禁止开发区,侵蚀主要源头在工程建设用地,即便暂未开发,但无保护裸露状态下,也必然侵蚀加重,应加强控制,减少侵蚀发生。

表 4 长株潭绿心区禁止开发区土壤侵蚀地类面积及比例

统计单位	区域总面积/ hm^2	禁止开发区		侵蚀地类		非耕地		坡耕地		工程建设用地	
		面积/ hm^2	比例/%	面积/ hm^2	比例/%	面积/ hm^2	比例/%	面积/ hm^2	比例/%	面积/ hm^2	比例/%
绿心区	52 287.00	26 368.88	100	1 842.99	100.00	755.64	100.00	123.43	100.00	963.92	100.00
长沙市	30 569.10	12 987.78	49.26	943.20	51.18	375.93	49.75	51.34	41.59	515.93	53.52
株洲市	13 481.99	5 752.18	21.81	334.85	18.17	198.68	26.29	18.78	15.22	117.39	12.18
湘潭市	8 235.91	7 628.92	28.93	564.94	30.65	181.03	23.96	53.31	43.19	330.60	34.30

(2) 限制开发区。如表 5 所示,长沙市限制开发区情况较为突出,总侵蚀面积大,为 405.18 hm^2 ,占比 51.86%;在非耕地和坡耕地中,侵蚀程度也明显高于株洲和湘潭,分别为 72.64%和 55.45%;值得注

意的是,株洲与湘潭工程建设用地发生侵蚀面积均大于非耕地和坡耕地,为 40.6 和 171.8 hm^2 ,且湘潭工程建设用地所占比例更高,为 55.28%,尤其需要加强湘潭市在特定区域的土壤侵蚀治理。

表 5 长株潭绿心区限制开发区土壤侵蚀地类面积及比例

统计单位	区域总面积/ hm^2	限制开发区		侵蚀地类		非耕地		坡耕地		工程建设用地	
		面积/ hm^2	比例/%	总面积/ hm^2	比例/%	面积/ hm^2	比例/%	面积/ hm^2	比例/%	面积/ hm^2	比例/%
绿心区	52 287.00	19 955.76	100	781.27	100	267.18	100	203.35	100	310.74	100
长沙市	30 569.10	14 105.17	70.68	405.18	51.86	194.09	72.64	112.75	55.45	98.34	31.65
株洲市	13 481.99	2 212.84	11.09	114.14	14.61	38.33	14.35	35.21	17.31	40.60	13.07
湘潭市	8 235.91	3 637.75	18.23	261.95	33.53	34.76	13.01	55.39	27.24	171.80	55.28

(3) 控制建设区。如表 6 所示,控制建设区整体侵蚀情况与禁止开发区相近,长沙市有 58.30%的控制建设区面积,侵蚀发生面积达 67.01%,且长沙、湘

潭两市均为 3 种地类侵蚀比重最高的地区,长沙市占非耕地侵蚀比例 79.29%,工程建设用地 64.68%,湘潭占坡耕地侵蚀 48.76%。

表 6 长株潭绿心区控制建设区土壤侵蚀地类面积及比例

统计单位	区域总面积/ hm^2	控制建设区		侵蚀地类		非耕地		坡耕地		工程建设用地	
		面积/ hm^2	比例/%								
绿心区	52 287.00	5 962.36	100	1 029.98	100	239.99	100	54.88	100	735.11	100
长沙市	30 569.10	3 476.15	58.30	690.24	67.01	190.30	79.29	24.45	44.55	475.49	64.68
株洲市	13 481.99	270.89	4.54	18.99	1.84	3.35	1.40	3.67	6.69	11.97	1.63
湘潭市	8 235.91	2 215.32	37.16	320.75	31.14	46.34	19.31	26.76	48.76	247.65	33.69

3 种空间区域,长沙和湘潭均侵蚀状况较差,长沙市主要集中在非耕地和工程建设用地发生侵蚀,湘潭市主要集中于坡耕地;同时 3 种空间范围内,工程建设用地是侵蚀发生共同地类,面积与比例远远高于非耕地和坡耕地。因此,针对不同市域,湘潭市应重

点关注坡耕地治理,对坡耕地现场勘查,长沙市应侧重非耕地侵蚀情况。

4 结论与讨论

植被覆盖度、植被覆盖面积是研究区域水土流失

的重要部分。本文通过建立与验证植被覆盖度回归模型,确定一元三次回归曲线(Y_3)为最优模型(Y =植被覆盖度, X =NDVI),反演植被覆盖度,计算不同等级植被覆盖面积。长株潭绿心区总面积为 52 287 hm^2 ,整体植被状况较好,高覆盖度(75%~100%)面积占绿心区总面积占 50.87%,为 26 598.40 hm^2 ,中低覆盖度(30%~40%)面积最小,占区域总面积的 8.61%,为 4 501.91 hm^2 ,高盖度等级面积占比超其他四个等级面积的总和,良好的原生植被能有效削弱侵蚀强度,保持水土;空间上植被覆盖呈现为绿心区西部低,中部、东部高,其西部有湘江水系(默认为 0)经过,且人口密度较大,植被受生产生活等人为因素破坏,中东部以林业生产为主,植被较好。

长株潭绿心区总侵蚀面积为 3 654.24 hm^2 ,占区域总面积 6.99%,湘潭市土壤侵蚀面积占地区总面积 8.51%,长沙次之,为 6.67%,株洲侵蚀总比例最小,为 5.68%。土壤侵蚀结合植被状况,绿心区整体侵蚀状况在可控范围内,地区分布特征显著,侵蚀强度以中度侵蚀和强度侵蚀为主,占绿心区总面积 2.45%和 1.98%,剧烈侵蚀面积最小为 0.64%。长沙市与湘潭市均以中度侵蚀为主,分别占各自地区侵蚀面积 31.97%和 42.26%。株洲市虽整体侵蚀程度较低,但极强烈侵蚀发生比重为 3 个城市中最高,21.94%大于长沙市 19.94%和湘潭市 9.61%。株洲市应加强预防特定程度侵蚀发生,如采石采矿。工程建设用地在不同地市范围和不同空间类型,均为侵蚀面积最大,究其根源,一方面是土地开发建设,造成的必然破坏与水土流失,另一方面,结合实地验证,地类荒弃、停工、无保护措施反而加重侵蚀发生。作为植被破坏和水土流失主要发生地,更应该加强施工区域采取治理措施,对绿心区生产建设行为,加大监督执法力度,实现地区生态常青。

[参 考 文 献]

- [1] 杨丽丽,文仕知,邢元军.长株潭城市群生态绿心区域土壤侵蚀研究[J].中南林业科技大学学报,2018,38(1):81-87.
- [2] 李智广.《全国水土流失动态监测规划(2018—2022年)》的编制原则与目标任务[J].中国水土保持,2018(5):20-23.
- [3] 牛俊文.国内土壤侵蚀预报模型研究进展[J].中国人口·资源与环境,2015,25(S2):386-389.
- [4] 李乐蓉,段建南,杨威,等.长株潭城市群“绿心”区土地

利用变化特征:基于土地功能视角[J].江苏农业科学,2018,46(15):275-279.

- [5] 龚文峰,曹凯华,周莹.基于 RS 和 GIS 的甘南县 2006—2016 年植被覆盖度时空演变分析[J].湖北农业科学,2019,58(12):52-57.
- [6] 侯鹏敏,廖顺宝,姬广兴,等.中比例尺土地覆盖遥感制图质量的野外验证与评价:以河南省为例[J].河南大学学报(自然科学版),2016,46(2):139-148.
- [7] 杨英,喻喜良,文敏,等.基于 RS 的长株潭绿心区植被覆盖动态变化研究[J].湖南林业科技,2016,43(5):71-76.
- [8] 郭妮.植被指数及其研究进展[J].干旱气象,2003,21(4):71-75.
- [9] 魏春雨,彭姗妮,焦胜.长株潭“绿心”示范区规划构想[J].湖南大学学报(社会科学版),2010,24(6):156-160.
- [10] 喻送霞,杨波,宾津佑,等.长株潭城市群土地资源承载力评价[J].中南林业科技大学学报(社会科学版),2019,13(1):37-43.
- [11] 阎世杰,王欢,焦珂伟.京津冀地区植被时空动态及定量归因[J].地球信息科学学报,2019,21(5):767-780.
- [12] Easdale M H, Farina C, Hara S, et al. Trend-cycles of vegetation dynamics as a tool for land degradation assessment and monitoring [J]. Ecological Indicators, 2019,107:105545.
- [13] 邝高明,刘超群,俞国松,等.土壤侵蚀分类分级标准和 RUSLE 模型间的差异研究[J].人民珠江,2014,35(1):15-18.
- [14] 张雅春,那晓东,臧淑英.多端元光谱解混模型的改进及对植被盖度的反演[J].东北林业大学学报,2018,46(1):68-71.
- [15] 于秀娟,燕琴,刘正军,等.三江源区植被覆盖度的定量估算与动态变化研究[J].长江流域资源与环境,2013,22(1):66-74.
- [16] 吴海龙,余新晓,张振明,等.基于多种植被指数的土壤含水量估算方法[J].光谱学与光谱分析,2014,34(6):1615-1618.
- [17] 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.
- [18] 罗为群,张辉旭,蒋忠诚,等.岩溶峰丛洼地不同环境水土流失差异及防治研究:以广西果化岩溶生态研究基地为例[J].地球学报,2014,35(4):473-480.
- [19] 张利华,蒋金龙,梁俊,等.湖北丹江口水库库区土壤侵蚀定量分析[J].中国水土保持,2006(11):28-30.
- [20] 黄静波,肖海平,李纯,等.湘粤赣边界禁止开发区域生态旅游协调发展机制:以世界自然遗产丹霞山为例[J].地理学报,2013,68(6):839-850.