

基于 GIS 的低丘缓坡建设对水土流失的影响

——以昆明市西山区花红园区块为例

张洪, 石文华 (云南财经大学城市与环境学院, 云南昆明 650000)

摘要 [目的]研究低丘缓坡建设对水土流失的影响。[方法]采用地理信息系统(GIS)和 RUSLE 模型对昆明市西山区花红园低丘缓坡项目建设区开展前、后土壤侵蚀量变化进行量化分析,对项目建设前、后在不同土地利用类型和不同坡度下的水土流失特征以及建设后水土流失对项目区周围生态环境、地表径流、未做土地平整区域的影响进行了研究。[结果]建成后项目区总体水土流失现象得到极大缓解;保留植被因景观破碎化导致土壤流失加剧;建成后坡度 $> 5^\circ$ 的区域地表径流主要是沿着道路用地分布以及向道路的两边蔓延。[结论]低丘缓坡项目建设用地建成后的侵蚀类型为极微蚀。

关键词 GIS; 低丘缓坡; RUSLE; 土壤侵蚀量; 地表径流

中图分类号 S181 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2016)16-078-05

Effects of Hilly Slope Construction Based on GIS on Soil Erosion—A Case Study of Huahongyuan Block in Xishan District in Kunming City

ZHANG Hong, SHI Wen-hua (School of Urban and Environment, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming, Yunnan 650000)

Abstract [Objective] The aim was to study effects of slope construction on soil erosion. [Method] Based on GIS and RUSLE model, the change of soil erosion amount before and after hilly slope construction in Huahongyuan, Xishan District in Kunming City was analyzed, soil erosion features of different land use type and different slope were studied, as well as effects of soil erosion on eco-environment around the project area, surface runoff and level area. [Result] The results showed that after hilly slope construction, soil erosion was greatly alleviated; due to landscape fragmentation, preserved vegetation resulted in soil loss increase; the surface runoff in the region of slope $> 5^\circ$ was mainly distributed along the road and spread to both sides of the road. [Conclusion] After construction of slope projects, soil erosion is minimal degree.

Key words GIS; Hilly slope; RUSLE; Soil erosion amount; Surface runoff

土壤侵蚀是造成水土流失的重要原因。我国是世界上水土流失最严重的国家之一,特别是云贵高原山地,水力侵蚀现象严重。云南是山地省份,山区、半山区占全省总面积的 94%,坝子(盆地、河谷)仅占 6%。为了保护坝区优质耕地,云南省实施了“城镇上山”和“工业项目上山”战略,建设开发低丘缓坡山地资源。然而,目前城镇工业建设选址在生态敏感性较高的低丘缓坡山地,对当地水土流失影响的研究较少。低丘缓坡建设开展的土地平整、基础设施建设、土地结构调整,造成建设项目区地形地貌变化,植被覆盖率降低,必然会使土壤侵蚀变化。笔者以 GIS 为技术手段,以云南省昆明市西山区花红园区块为例,运用土壤侵蚀经验模型(RUSLE),定量分析低丘缓坡建设开发前后土壤侵蚀量的变化,研究了建设后项目区保留植被的生态环境及地表径流的变化,旨在为低丘缓坡山地建设开发生态评价提供基础数据。

1 材料与方

1.1 数据来源 西山区花红园区块地处西山区团结街道办事处,东至西山区与五华区交界处,西至棋盘山山脚,南至光头山,北至大墨雨村,地理坐标为 $102^\circ 34' 46'' \sim 102^\circ 36' 52''$ E, $25^\circ 4' 23'' \sim 25^\circ 2' 17''$ N。项目区处于坝区之外,总规模 520.00 hm^2 ,开发建设规模 297.42 hm^2 ,建设类别为城镇建设。

该研究收集的数据:项目区 2009 年 1:10 000 等高线,全国第 2 次土地调查涉及的项目区地类图斑属性,项目区功能

区分区与规划布局矢量数据,项目区土地利用总体规划(2010~2020 年)矢量面状数据,项目区 2009 年 TM 遥感影像(分辨率 30.0 m),项目区 2012 年 quickbird 遥感影像(分辨率 0.5 m)。通过项目区实地踏勘,采集项目区土壤样点,收集项目区土壤数据,收集到的降雨数据为 2000~2011 年昆明市各月降雨数据。

1.2 研究模型 土壤侵蚀量计算采用修正后的美国通用水土流失方程 USLE 模型,即 RUSLE 模型。数据的处理和获得采用 ERDAS 和 ARCGIS 软件。该模型形式简单,所需参数较易获得。其模型表达式如下:

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

式中, A 为土壤年流失量; f 为使 A 转换为代表我国单位量纲 t/km^2 的转换常数 224.2; R 为降雨侵蚀力因子; K 为土壤可侵蚀性因子; LS 为坡长坡度因子; C 为作物覆盖与管理因子; P 为侵蚀防治措施因子。其中, L 、 S 、 C 、 P 为无量纲单位因子。

1.3 因子计算

1.3.1 R 值。 运用联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United, FAO)建立的修订 Fourmier 指数求算 R 值的方法(Arnoldus H M M, 1980),既考虑年降水总量,又考虑了降水的年内分布,其计算公式如下:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} J_i^2}{J} \quad (1)$$

式中, I 为月份, J_i 为月降水量, J 为年降水量。 R 与该指数的关系为:

$$R = aF + b \quad (2)$$

式中, a 与 b 的取值为常数,取决于当地的气候条件,参考文

献[1-2], a 与 b 分别取值4.17和-152.00。将2000~2013年昆明气象站的月降雨量数据代入上述公式,计算项目区建设前的 R 值。考虑到项目区建设周期跨度较大,从2013年2期建设到2016年建设完成。该研究计算的项目区建设后的 R 值主要依据项目区建设规划产生的地形坡度、坡长,地表土地覆盖类型改变,2013年以后的月度降雨量数据也基于趋势预测计算。

1.3.2 K 值。 K 因子反映土壤对侵蚀的敏感性及降水所产生的径流量与径流速率。估算 K 值的方法很多,一般根据无植被、完全休闲、无水土保持措施的标准小区内实测的 A 值,应用通用水土流失方程反求 K 值。土壤可蚀性因子是反映土壤抗侵蚀的能力,与土壤类型有关,是指在其他条件相同时,由于土壤性质不同所引起的侵蚀量差异。参照云南大学杨树华教授等^[3]研究给出的滇池流域土壤的 K 值,结合笔者对项目区实地踏勘调研,采集土壤并以土壤类型为成图单元,再结合遥感图像、地形图、土地利用现状图,在ARCMAP中绘制土壤类型分布图,生成因子栅格图,从而得到 K 值的空间分布。项目区基岩现场踏勘判断为石灰岩,喀斯特地形分布明显。

低丘缓坡建设中,基础设施的建设,路面的硬化,土地的平整,废土、废渣的产生,必然会改变项目区表层土壤的理化性质,进而改变土壤可蚀性因子,建设后 K 值不等于未开发建设前的 K 值。

1.3.3 L,S 值。建设前项目区 L,S 值计算在RUSLE模型中进行,地形对土壤侵蚀的影响运用坡长和坡度因子(LS)计算。土壤侵蚀随坡长和坡度的增大而加强。坡长因子和坡度因子可以通过高程模型(DEM)计算获取。DEM根据项目区2009年1:10 000等高线生成,再通过ARCGIS地形统计功能(slope)提取建设前的坡度。

笔者在RUSLE模型中,运用了坡度因子(S)公式:

$$S = 10.8 \sin\theta + 0.03, \theta < 5.14^\circ$$

$$S = 16.8 \sin\theta - 0.50, 5.14^\circ \leq \theta < 10^\circ \quad (3)$$

同时,Liu(1994)对陡坡也提出了相应的公式:

$$S = 21.91 \sin\theta - 0.96, \theta \geq 10^\circ \quad (4)$$

坡长是指从地表径流源点到坡度减小直至有沉积出现的地方之间的距离,或到一个明显的渠道之间的水平距离^[4]。坡长因子(L)是在其他条件相同的情况下,特定坡长的坡地土壤流失量与标准小区坡长(在RUSLE中为22.13 m)的坡地土壤流失量的比值。

运用ARCGIS 9.3中水文分析模块(Hydrology)中Flow Direction和Flow Accumulation功能提取栅格水流程向和汇流累积量。根据Wischmeier和Smith(1978)利用获得坡长因子(L)的小区资料研究表明,坡长为 λ (m)坡地上的平均侵蚀量按如下公式计算:

$$L = (\lambda/22.13)^m \quad (5)$$

式中, L 为坡长因子, λ 为坡长, m 为坡长指数,22.13是RUSLE采用的标准小区坡长。

通常情况下, m 的取值范围: $\theta < 0.75^\circ$ 时, m 取0.2;0.75°

$\leq \theta < 1.72^\circ$ 时, m 取0.3;1.72° $\leq \theta < 5.14^\circ$ 时, m 取0.4; $\theta \geq 5.14^\circ$ 时, m 取0.5。

低丘缓坡建设后坡长、坡度因子的计算关键是建设后地形地貌变化需要重新构建DEM。该研究的思路是根据项目区2013~2016年土地平整范围矢量图,项目区功能区分区与规划布局矢量图,西山区土地利用总体规划(局部)图(2010~2020年),相关工程开发技术标准,修改由开发前的项目区等高线生成的不规则三角网(TIN),生成平整范围内的DEM,而未做土地平整的地形,数字高程模型未发生变化,将2个栅格数据进行融合即生成低丘缓坡建设后的项目区DEM。参考上述低丘缓坡建设前坡度、坡长因子的计算方法,可以计算建设后坡度、坡长因子,形成因子图。

1.3.4 C 值。作物覆盖管理因子(C)是指一定条件下有植被覆盖或实施田间管理的土地土壤流失总量与同等条件下实施清耕的连续休闲地土壤流失总量的比值,为无量纲数,取值为0~1。 C 值主要受植被覆盖度和土地利用现状的制约。低丘缓坡建设前项目区 C 值计算以土地利用现状图为基础,根据西山区二调数据库现状地类图层获得。结合项目区气候特点、种植特点、农业活动、土地利用特点、植被情况,发现项目区内复种指数很高,耕地基本没有休耕期,林地冬季覆盖率仍很高,乡村道路为水泥硬化地面,道路旁修建沟渠,排水量较大,农村居民点周围耕地分布较多项目区边界为高山,拟建设区域多位于项目区盆地内。结合张秀敏等^[5]的研究,确定不同土地利用类型的 C 值,进行矢量数据栅格化后得到2009年项目区 C 值因子图。

低丘缓坡建设后项目区 C 值计算参照项目区开发前 C 值的计算方法,结合项目区规划地类和功能分区进行计算。经估算可知,项目区各地类的 C 值为耕地0.100,园地0.090,草地0.042,灌木地0.070,林地0.040,农村居民点0.020,荒地0.170,城市用地和水体均为0。

1.3.5 P 值。侵蚀防治措施因子(P)是指采用专门措施后的土壤流失量与顺坡耕作时土壤流失量的比值。参考美国农业部537号手册, P 值的确定综合土地利用类型数据和地形坡度数据,取值为0~1。未采取任何水保措施地区的 P 值为1,水土保持很好、无侵蚀风险地区的 P 值为0。

低丘缓坡项目区建设开发前的耕地大多分布在河谷、沟谷地带,田埂是普遍采用的蓄水、保水农业技术措施。据杨子生^[6]在滇东北山区的研究,田埂水土保持效果较好, P 值为0.18。Csar^[7]的研究表明,梯田及田埂的修建质量对 P 值有直接影响,并根据梯田及田埂的修建质量,分别给 P 赋值:0.040(好),0.150(一般),0.359(差)。据此,当耕地坡度小于1°时, P 值取0.150;其余坡度时,根据项目区实际调查情况,按等高耕作取值,考虑项目区有的耕地大于24°,按24°进行取值。根据美国农业部537号手册整理的不同耕作模式,通过图形叠加,运用intersect工具将不同坡度下的耕地(包括水田和旱地)提取出来,并对 P 赋值,得到各耕地地块的 P 值图。项目区非耕地(如草地、林地等),人为干预因素很少,基本没有水土保持措施。

低丘缓坡建设后项目区 P 值计算方法类同于前述,只是 DEM 是按照建设后的地形地貌计算,用地类型也是按照规划用地对 P 赋值,得到低丘缓坡建设后的项目区 P 值因子图。

2 结果与分析

2.1 低丘缓坡建设前后土壤侵蚀量变化 将低丘缓坡建设前后各因子图层相乘,得到建设前后的项目区土壤侵蚀量图,并根据表 1 进行重分类 (Reclassify),得到建设前、后土壤侵蚀等级(图 1、2)。

表 1 项目区土壤侵蚀分级标准

Table 1 The soil erosion classification standard in the project area

序号 Serial No.	侵蚀等级 Erosion grade	平均侵蚀模数 Average erosion/ t/km^2
1	极微度	<200
2	微度	200~500
3	较轻度	500~1 500
4	轻度	1 500~2 500
5	中度	2 500~3 500
6	重度	3 500~5 000
7	较强度	5 000~6 500
8	强度	6 500~8 000
9	剧烈	>8 000

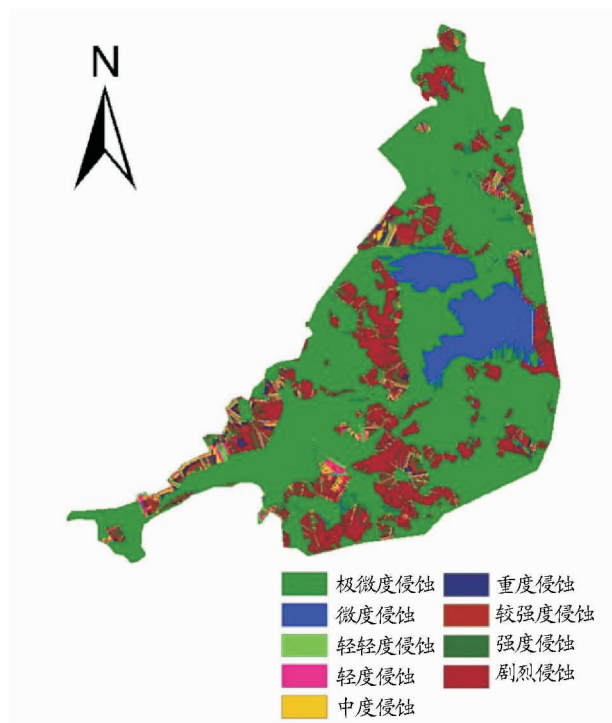


图 1 建设前项目区土壤侵蚀等级

Fig. 1 Soil erosion in the project area before construction

建设前项目区年侵蚀量为 $17\ 633.17\ t/km^2$,平均侵蚀模数为 $3\ 391.00\ t/(km^2 \cdot a)$,为中度侵蚀,远大于水利部 SL 190—2007 标准中水土壤侵蚀类型区西南土石山区的土壤允许流失量 [$500.00\ t/(km^2 \cdot a)$];建设后项目区年侵蚀量为 $165.85\ t/km^2$,项目区平均侵蚀模数为 $31.89\ t/(km^2 \cdot a)$,土壤侵蚀量仅为建设前的 0.95%。就项目区总体而言,水土流失对生态破坏的影响得到了显著改善。

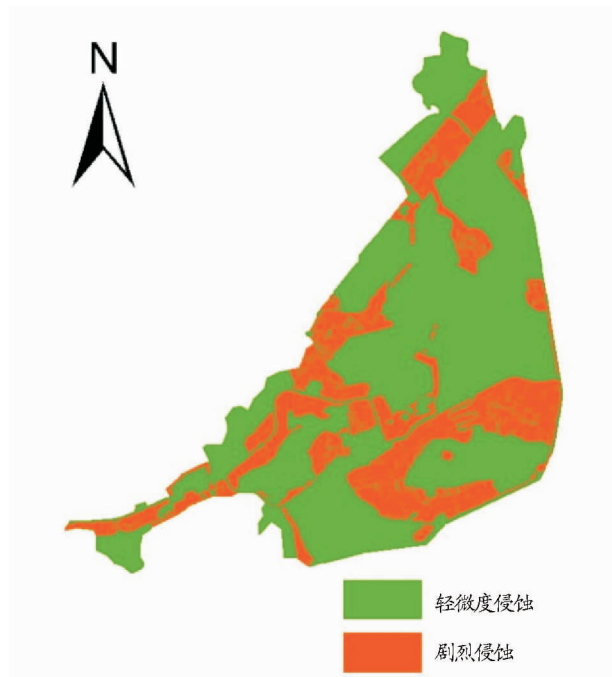


图 2 建设后项目区土壤侵蚀等级

Fig. 2 Soil erosion in the project area after construction

与此同时,低丘缓坡建设开发改变了项目区地形地貌和坡度分布。由表 2 可知,建设前项目区大部分区域为极微度和微度侵蚀,分别占项目区面积的 64.62% 和 8.34%,侵蚀等级为剧烈的区域占 13.09%;建设后项目区 69.89% 的土地为极微度侵蚀,30.11% 为剧烈侵蚀,其中平整范围内的城市用地基本为轻度侵蚀,而未做土地平整的保留林地、保留园地、保留耕地、其他草地基本为剧烈侵蚀,土地平整范围边缘的边坡、堆积坡、人工切割坡也为剧烈侵蚀。这些剧烈侵蚀区域若不开展生态防护林和绿化建设,可能将加重项目区的水土流失。因此,低丘缓坡山地建设开发必须与生态防护林、边坡绿化建设同步。

2.2 低丘缓坡建设前后项目区不同坡度级土壤侵蚀 利用 ARCGIS 地形分析功能,通过建设前后项目区 DEM,将项目区土地坡度按 $<5^\circ$ 、 $5^\circ \sim 8^\circ$ 、 $8^\circ \sim 15^\circ$ 、 $15^\circ \sim 25^\circ$ 、 $25^\circ \sim 35^\circ$ 和 $>35^\circ$ 6 个土地坡度等级进行分类,然后叠加图 1、2 进行空间分析,得到项目区建设前极微度和微度侵蚀的区域大部分位于坡度为 $<5^\circ$ 的项目区盆地,分别占各自侵蚀面积的 57.24% 和 99.38%;重度以上土壤侵蚀区域集中在 $8^\circ \sim 15^\circ$ 和 $15^\circ \sim 25^\circ$ 的土地上,这种坡度的土地人为破坏土壤因素更大,人类开发造成的边坡、堆积坡更易破坏表层土。项目区坡度 $25^\circ \sim 35^\circ$ 和 $>35^\circ$ 的土壤侵蚀面积比例很小,分别为 4.03% 和 0.81%,该坡度区域人为干扰土壤行为较少,土壤多为自然状态。

建设后项目区 $<5^\circ$ 的土地由原来占项目区面积的 46.38% 转变为 57.57%,通过开展建设平整土地,使项目区平坦地形增多,而坡度为 $25^\circ \sim 35^\circ$ 和 $>35^\circ$ 的土地由原来的 4.03% 和 0.81% 转变为 11.38% 和 18.45%,低丘缓坡建设导致项目区极陡峭地形增多。建设后项目区的水土流失受土

地覆被现状和侵蚀防治措施因子影响较地形因子影响显著。在人类干预强、开发强度大的低丘缓坡山地区域,人类保持

水土的意识和保持水土的措施对水土流失的影响更加重要。
2.3 低丘缓坡建设对项目区周围生态环境的影响 对项目

表 2 建设前后项目区各侵蚀等级统计

Fig.2 Statistics of soil erosion grade in the project area before and after construction

阶段 Stage	侵蚀等级 Erosion grade	图斑数 Spot number//个	面积 Area//m ²	百分比 Proportion//%
建设前 Before construction	极微度	372 447	3 352 023	64.62
	微度	48 059	432 531	8.34
	较轻度	6 359	57 231	1.10
	轻度	10 621	95 589	1.84
	中度	12 308	110 772	2.14
	重度	19 098	171 882	3.31
	较强度	17 831	160 479	3.09
	强度	14 178	127 602	2.46
	剧烈	75 467	679 203	13.09
建设后 After construction	极微度	403 521	3 631 689	69.89
	剧烈	173 863	1 564 767	30.11

区低丘缓坡建设前后地类图斑、项目区周围地类图斑和项目区范围图进行叠置分析,并进行目视解译。数据源为西山区土地第 2 次调查数据库中的地类图斑图层、项目区功能分区与规划布局图。研究发现,项目区保留植被在项目区建设开发后基本为剧烈侵蚀(图 3、4),项目区的建筑物和交通道路设施建设导致城市不透水面增多,使项目区西北、西南、东南区域的植被生态景观破碎化。植被斑块数量增多,面积减小,内部生境面积减少,生物廊道被隔绝,生态周长变长,生态边缘增多,导致生态物种多样性减少。项目区建设还导致植物的蓄水能力下降,枯落物分解较以往困难,土壤抗侵蚀性降低。因此,如何充分利用地形,加强低丘缓坡山地建设开发的生态规划,在项目区保留一定数量和斑块面积的自然

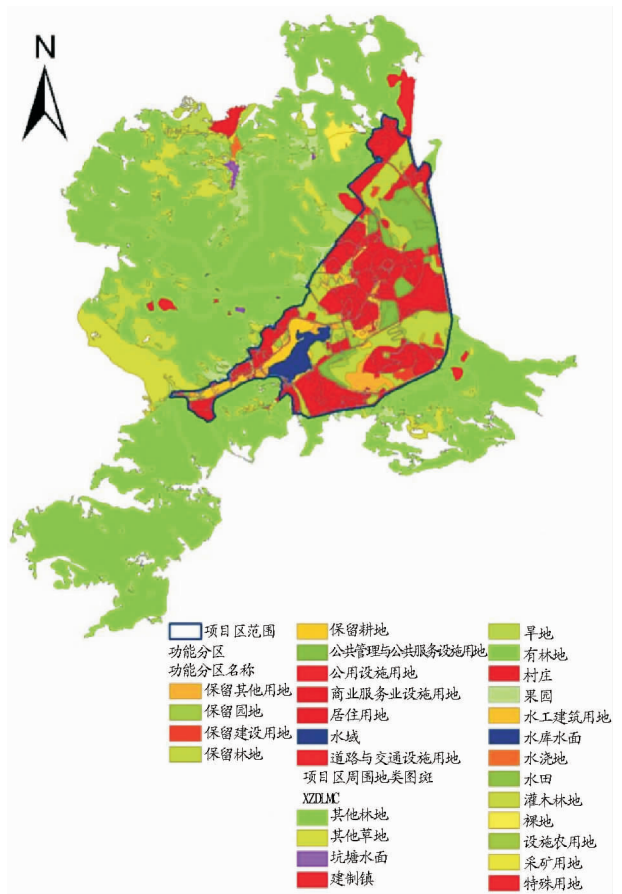


图 4 建设后项目区周围生态影响分析

Fig.4 Ecological impact around the project area after construction

植被和生态廊道,低丘缓坡山地建设开发生态可持续性重要课题,须引起高度重视。

2.4 低丘缓坡建设对地表径流的影响 通过 ARCGIS 的地形分析功能,提取出项目区建设前后的地表径流流向图,并叠加建设后的项目区坡度分级图。研究发现,项目区建设导致地表径流流向变化,建成后坡度 >5°的区域地表径流主要是沿着道路用地分布以及向道路两边蔓延。这证明了低丘缓坡建设中道路基础设施建设对当地地形构成了较显著的

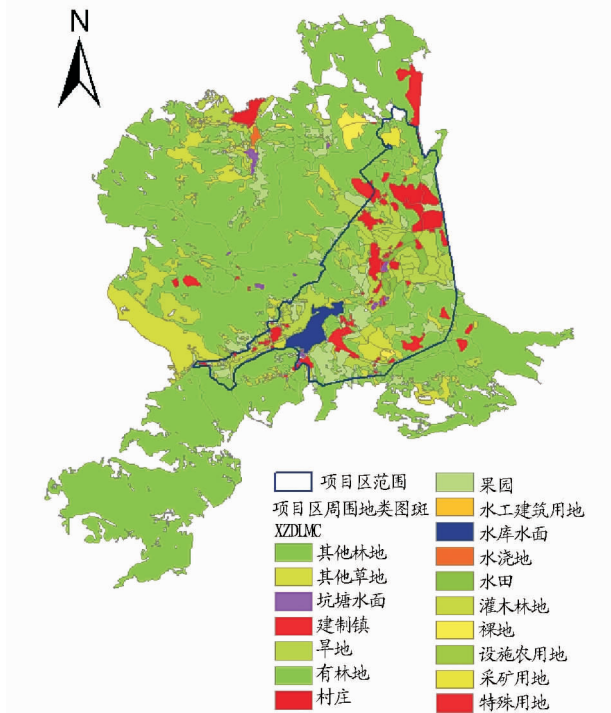


图 3 建设前项目区及周围土地利用现状

Fig.3 The land use status in project area and surrounding area before construction

影响,直接改变了原项目区的道路设施占用区域的地表径流向,从而对项目区及其周围的水土流失产生影响。

2.5 建成后项目区保留未建设区域侵蚀情况 叠加项目区范围矢量图和项目区平整范围图,通过擦除(ERASE)分析得到项目区未做土地平整的保留未建设区域,再与图2做掩膜分析(Exact by Mask)得到图5,然后与建成后项目山脊线图进行叠置分析。研究发现,项目区保留未建设区域坡度为 $8^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 的地形陡峭及山地开发利用潜力较大的区域,极微蚀区域与项目区的山脊线高度重合;山谷、河谷等凹形坡的水土流失比山头、山腰等凸形坡的水土流失现象严重。这说明地形坡度坡长因子对水土流失的影响在坡度为 $8^{\circ} \sim$

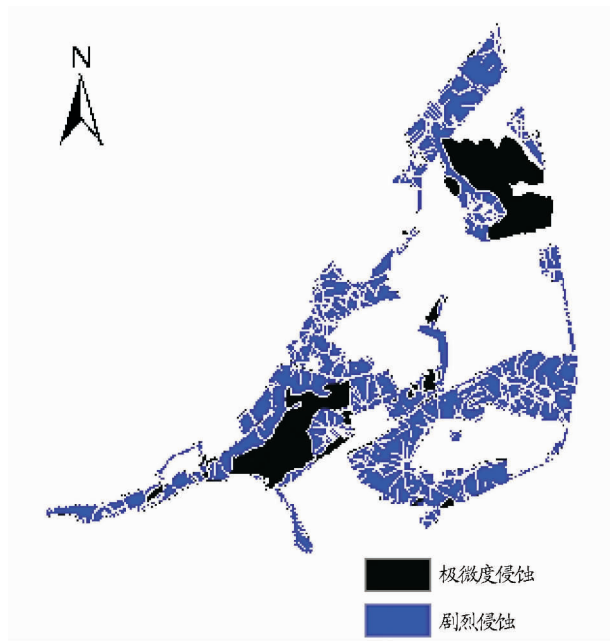


图5 项目区保留区域的土壤侵蚀等级

Fig.5 Soil erosion grade of reserve area in project area

25° 的区域比对坡度在 $<5^{\circ}$ 区域的影响大。

3 结论与讨论

(1)该研究模拟了低丘缓坡项目建成后项目区水土流失情况,结果表明:建设用地建成后的侵蚀类型为极微蚀。但是在城市化进程中,建筑物地基挖建、土地平整等基础设施建设必不可免地产生了大量废渣、废土。山地城市由于地形起伏较大,沟谷纵横易造成水土流失,对当地的水安全和居民的生命安全造成威胁。因此,应该由项目实施单位在特定地点修建护坡、挡土坡,将建设工程中产生的废土、废渣倾倒在其中。同时,在下雨时还要铺盖帆布,防止雨水直接冲刷造成水土流失。具体建设实施方案中,土地平整的填挖方量应尽量平衡,使废土、废渣尽快用于填充土地凹陷处,并夯实。

(2)该土壤侵蚀评价模型主要有2个问题:一是尺度的转换问题,坡面、小流域、各区域不同评价尺度之间土壤侵蚀评价指标的选择和建立缺乏有机联系,不同空间尺度之间的评价模型难以进行有效的信息交换;二是评价模型具有特定的地域性,不同区域之间缺乏统一高效的评价模型,各评价因子的选择和计算方法也会对评价结果产生影响。

参考文献

- [1] 袁克勤. 基于GIS岩溶山地小流域土壤侵蚀量计算:以重庆市南川区木渡河小流域为例[D]. 重庆:西南大学,2009:21-25.
- [2] 倪九派,袁道先,谢德体,等. 基于GIS的岩溶槽区小流域土壤侵蚀量估算[J]. 应用基础与工程科学学报,2010,18(2):219-220.
- [3] 杨树华,杨桂华. 滇池流域土地利用结构及其生态评价的初步研究[J]. 云南大学学报(自然科学版),1992(2):202-210.
- [4] WISEHMEIER W H, SMITH D D. Rainfall energy and its relationship to soil loss[J]. Trans Am Geophys Union, 1958, 39:285-291.
- [5] 张秀敏,陈娟,杨树华. 滇池水生植被恢复规划研究[J]. 云南环境科学,1998(3):39-41.
- [6] 杨子生. 滇东北山区坡耕地土壤侵蚀的水土保持措施因子[J]. 山地学报,1999,17(A05):22-24.
- [7] CSAR. Erosion hazard assessment [M]//Second land resource evaluation and planning project (LREP-II)part C. Technical report No. 16, Version 1.0, Bogor, Indonesia, 1995:7-12.

(上接第45页)

3 结论与讨论

综合来看,ROC22、台糖92-2668这2个品种前期生长较快,后期茎长、茎重突出,产量较高,是参试品种中较优良的品种,但台糖92-2668后期虫节率高、糖分较低;ROC16糖分较高,在生产中加强水肥管理,其产量亦可显著提高,有一定的推广价值。台糖0237、良糖2号、台糖978这3个品种产量中等、糖分不高,且大田种植表现不稳定,不建议推广应用。粤糖60出苗率、分蘖率表现均较好,前期生长较快,

但后期病虫害严重,产量不高,但其为高糖品种,可小面积种植。台糖97/5569出苗差、分蘖率低、糖分不高且宿根性表现也不佳,因此不适宜推广。

参考文献

- [1] 孙少华,陈超君,宋日云,等. 几个甘蔗新品种(系)一些农艺性状的研究初报[J]. 广西蔗糖,2008(1):3-4.
- [2] 谢廷林,姜爽,梁灿衡. 甘蔗品种试验初报[J]. 广西蔗糖,2010(3):3-4.
- [3] 黄标,李江平,陈植基,等. 东方红农场2013年甘蔗品种比选试验初报[J]. 甘蔗糖业,2014(5):10-14.
- [4] 徐建云,陈超君. 甘蔗栽培学[M]. 南宁:广西科学技术出版社,2009:36,54,219.