

重庆岩溶地区石漠化分布与地理环境因素的关系*

魏兴萍^{1,2}, 杨华^{1,2}

(1. 重庆师范大学地理与旅游学院; 2. GIS应用研究重庆市高校重点实验室, 重庆 401331)

摘要:为了理解重庆石漠化形成机理,运用 ArcGIS 栅格叠加和主成份分析功能,分析了重庆岩溶地区石漠化强度空间分布与地理环境因素的关系。得出结论:1)石漠化分布地区土层厚度较薄,厚度在 39 cm 以下的石漠化面积占 51.29%,厚度在 20 cm 的石漠化面积占 32.92%;2)石漠化严重的区域主要分布在 >15° 坡度区域;3)石漠化区域 2010 年土壤侵蚀强度等级较 1999 年有了明显降低,突出表现在极强度、中度土壤侵蚀,从面积比例来看,分别比 1999 年降低了 4.78%、2.55%;4)石漠化在高程上的分布主要集中在 500~800 m 和 1 000~1 500 m 范围;5)岩溶面积分布与农业劳动力、耕地面积呈高度正相关,相关系数达 0.7 以上。石漠化程度与土层厚度、坡度和高程呈负相关关系,石漠化程度与土壤侵蚀强度呈正相关关系。根据石漠化成因,提出了相应的石漠化治理思路。

关键词:岩溶地区;石漠化;地理环境因素;重庆

中图分类号:P714.5

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2014)05-0060-08

西南岩溶地区是世界上最大的喀斯特连片带,面积达 54 万 km²,生态环境脆弱,土壤侵蚀严重,石漠化趋势显著。石漠化是岩溶地区土地退化的极端形式,有“地球癌症”之称^[1]。石漠化问题已成为生态环境建设中亟待解决的问题。石漠化的产生,既有自然因素,也有人为因素,因此,石漠化可定义为岩溶地区脆弱的生态系统与人类不合理的社会经济活动相互作用,造成植被破坏、水土流失严重、岩石裸露等土地退化的结果^[2]。近年来,学者们对石漠化敏感性进行了分析,主要涉及的因素有坡度、植被因子和岩性^[3-12]。只有少数学者^[13]在研究石漠化时涉及地貌、岩性、降水和人口密度等因素。上述研究主要集中在贵州、广西、云南、湖南等地,国外主要集中在欧洲如南斯拉夫等一些国家,针对重庆岩溶地区的石漠化形成原因研究少,而且分析的因素有限^[9],不能很好地揭示重庆岩溶地区石漠化形成机理。重庆是构成西南岩溶地区的重点八省市之一,石漠化地区主要分布在渝东北、渝东南,我国生态环境最为敏感脆弱的三峡库区,也是石漠化土地的集中分布区。多要素研究重庆岩溶石漠化形成机理,有效治理三峡库区石漠化问题,意义十分重大。

1 研究区概况

重庆市地处大巴山断褶带、川东褶皱带和川鄂湘黔隆起褶皱带三大构造单元的交汇处,地貌以山地、丘陵为主。区域地表起伏,地形破碎。气候属于亚热带湿润季风气候,多年降雨量达 1 038~1 186 mm,且降雨主要集中在 7~9 月。重庆面积 8.24 万 km²,碳酸盐岩出露面积 32 774.82 km²,占重庆市面积比例 39.78%,主要分布在渝东北、渝东南地区,渝西低山丘陵区面积分布较少。岩溶地区由于土石界面刚性接触,土壤极易产生水土流失形成石漠化。土壤主要为水稻土、黄壤、紫色土以及石灰土。震旦系、寒武系、奥陶系地层出露灰岩或白云质灰岩互层,二叠系以石灰岩为主,三叠系以白云岩、石灰岩为主。耕地面积较广,占整个岩溶土地面积的 23.15%,耕作等人为扰动更容易加剧石漠化的形成。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

2010 年 TM 遥感影像(地理空间数据云,网址 <http://www.gscloud.cn/>)、重庆 DEM 数据(1:5 万)、重庆

* 收稿日期:2013-11-21 修回日期:2014-04-09 网络出版时间:2014-9-17 22:37

资助项目:国家自然科学基金(No. 41202135);重庆市自然科学基金(No. cstc2012jjA80008);重庆师范大学博士基金(No. 12XLB020)

作者简介:魏兴萍,女,副教授,博士,研究方向为资源环境与地理信息系统,E-mail:xingpingwei@126.com

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20140917.2237.009.html>

地质图(1:5万)、重庆土层厚度分布图(1:5万)、重庆行政区划图。农业劳动人口和耕地面积数据来自重庆市 2011 年统计年鉴。1999 年水土流失强度图来源于重庆市水利局,分级标准采用水利局发布的水土流失分类分级标准(SL190-96),数据经过野外校验,通过相关部门和专家的验收,数据精度符合要求。2010 年水土流失强度图是根据 2010 年 TM 遥感影像、DEM 数据,按照水土流失分类分级标准进行划分。水土流失强度数据通过野外验证,数据精度达到 80% 以上。

2.2 研究方法

2.2.1 石漠化强度分级图的提取方法 运用遥感软件(ERDAS),根据 TM 影像波段,利用植被指数计算出重庆市归一化植被指数,并根据 NDVI 的最大值和最小值得出植被覆盖度 f 分级。

$$f = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (1)$$

对 1:5 万的 DEM 图,利用 ArcGIS 软件,提取坡度和高程分级图。再对 2010 年 TM 影像 4、3、2 波段进行假彩色合成,依次赋予红绿蓝色。其中纯碳酸盐岩裸露石山为白色调,一般划为极强度石漠化;强度石漠化为灰白色或红中带白,成斑状;中度石漠化为绿红色,斑状;红中带白,成星点状者为中或强度石漠化,植被为低矮灌丛。当出现中度及以上石漠化特征且覆盖率低于 45%,为难以利用地。品红色,星状为轻度石漠化;浅红

表 1 石漠化强度分级标准

Tab.1 Rocky desertification classification standard

| 石漠化等级 | 基岩裸露/% | 植被土被覆盖/% | 坡度 | 影像特征 |
|-------|--------|----------|-----|------------|
| 无 | <10 | >75 | <15 | 暗红、大红,成块状 |
| 潜在 | 50 | 50-70 | >15 | 浅红、绿红色,星状 |
| 轻度 | 35 | 35-50 | >18 | 品红,插花状 |
| 中度 | 65 | 20-35 | >22 | 绿红、红中带白,斑状 |
| 强度 | 85 | 10-20 | >25 | 红中带白、灰白,斑状 |
| 极强度 | >90 | <10 | >30 | 白色、灰白色,斑状 |

色,斑状为潜在石漠化。暗红、大红,成块状者为无石漠化地区,植被覆盖好^[14]。根据表 1,对各分级图进行叠加分析,得到石漠化强度分级图。利用手持式 GPS 实地考察的方法,并结合同期土地利用现状图,计算了分类混淆矩阵和 Kappa 指数。结果表明,无、潜在、轻度、中度、强度和极强度石漠化的 Kappa 指数分别为 0.75、0.81、0.78、0.79、0.78 和 0.84,均达到最低允许判别精度 0.7 的要求,说明分类结果可信。

2.2.2 转移矩阵法 应用地图代数原理,利用公式(2)的地图代数方法将重庆市石漠化强度空间分布图分别与地理环境因素的岩性图、土层厚度图、坡度图、土壤侵蚀强度图(2010 年和 1999 年)以及高程图做叠加分析^[14]。

$$C_{ij} = A_{ij}^k \times 10 + A_{ij}^{k+1} \quad (2)$$

式中, C_{ij} 表示重庆市石漠化强度与地理环境因素的岩性、土层厚度、坡度、土壤侵蚀强度以及高程图的叠加(图 1-图 3); A_{ij}^k 表示重庆市石漠化强度空间分布图, A_{ij}^{k+1} 分别表示研究区土层厚度图、坡度图、土壤侵蚀强度图(2010 年和 1999 年)以及高程图,栅格单元大小为 30 m×30 m。所有数据投影均采用 Krasovsky_1940_Transverse_Mercator。其中, A_{ij}^{k+1} 对地理要素土层厚度按照 ≤10 cm、(10 cm,20 cm]、(20 cm,40 cm]、>40 cm 分 4 级(表 3),对坡度按照 [0°,5°)、[5°,15°)、[15°,25°)、[25°,35°)、>35° 依次分为 5 级(表 4),对 1999 年和 2010 年土壤侵蚀强度按照微度侵蚀、轻度侵蚀、中度侵蚀、强度侵蚀、极强度侵蚀以及剧烈侵蚀分为 6 级(表 5),对高程按照 ≤200 cm、(200 cm,500 cm]、(500 cm,800 cm]、(800 cm,1 000 cm]、(1 000 cm,1 500 cm]、>1500 cm 分为 6 级(表 6)。运用 ArcGIS 软件中的栅格叠加功能,将石漠化强度空间分布图与地理环境影响因子图叠加,得到石漠化强度与地理环境因子关系图^[15]。

3 结果与分析

3.1 石漠化空间分布与岩性的关系

石漠化严重程度受地质条件制约。研究地质岩性与石漠化的关系,对于理解石漠化发生机理以及治理石漠化有着非常重要的意义。根据重庆石漠化强度分级图与岩性图叠加分析得到表 2,重庆碎屑岩夹碳酸盐岩>石

灰岩>白云岩分布面积。从中度以上石漠化等级分布面积来看,碎屑岩夹碳酸盐岩>石灰岩>白云岩分布面积。从分布面积中发生中度以上石漠化等级强度的几率来看,石灰岩>碎屑岩夹碳酸盐岩>白云岩分布面积。钟万春等学者分析,石漠化形成与酸不溶物呈负相关关系。石灰岩酸不溶物含量最低^[16],成土物质少,成土速率慢,更容易发生石漠化。

表 2 石漠化与岩性关系

Tab. 2 The relationship between rocky desertification and lithology

| | 无石漠化 | | 潜在石漠化 | | 轻度石漠化 | | 中度石漠化 | | 重度石漠化 | | 极重度石漠化 | |
|-------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|
| | 面积/ km ² | 占岩溶 面积比 例/% |
| 石灰岩 | 3 961.14 | 12.09 | 2 220.80 | 6.78 | 1 325.61 | 4.04 | 1 819.85 | 5.55 | 383.05 | 1.17 | 79.07 | 0.24 |
| 白云岩 | 2 781.52 | 8.49 | 1 593.71 | 4.86 | 1 020.70 | 3.11 | 1 280.27 | 3.91 | 269.73 | 0.82 | 9.81 | 0.03 |
| 碎屑岩夹 碳酸岩 | 5 909.30 | 18.03 | 5 409.91 | 16.51 | 838.57 | 2.56 | 3 066.29 | 9.36 | 729.23 | 2.22 | 77.26 | 0.24 |
| 合计 | 12 651.96 | 38.60 | 9 224.41 | 28.14 | 3 184.89 | 9.72 | 6 166.41 | 18.81 | 1 382.01 | 4.22 | 166.14 | 0.51 |

3.2 石漠化空间分布与土层厚度的关系

土层厚度是影响石漠化发生的一个非常重要的因素。分析土层厚度的分布与石漠化强度的关系,有利于人们更清楚地认识研究区石漠化风险,及时找到缓解的手段和方法。岩溶地区土壤缺乏过渡层,土壤与母质直接接触,一旦下大暴雨土壤很容易流失殆尽,形成石漠化。岩溶地区岩石可蚀性强,碳酸盐岩酸不溶物不足 10%,致使岩溶地区土壤成土速率极低,形成 1 cm 的土壤需要成千上万年。通过分析重庆岩溶地区土壤厚度与石漠化的关系(表 3),≤10 cm、(10,20 cm]、(20,40 cm]、>40 cm 土层厚度的面积比例分别为 9.6%、23.32%、18.36%、48.71%,虽然厚度在 40 cm 以上面积比例达 48.71%,但这个面积比例中 93.71%的范围均未发生石漠化。重庆石漠化地区一半以上的范围在 40 cm 土层厚度以下,32.92%的比例面积在 20 cm 土层以下。从面积分布来看(封彩图 1),石漠化程度高,土层薄的区域主要集中在渝东北巫溪、巫山、奉节以及渝东南秀山、酉阳等地。这些地区是碳酸盐岩集中分布区域,生态环境脆弱,容易水土流失,再加上碳酸盐岩成土速率慢,所以土层相对较薄^[17]。

表 3 土层厚度与石漠化程度的关系

Tab. 3 The relationship between soil thickness and rocky desertification degree

| | ≤10 cm | | (10 cm,20 cm] | | (20 cm,40 cm] | | >40 cm | |
|--------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|
| | 面积/km ² | 占岩溶面积 比例/% |
| 无石漠化 | | | | | | | 14 865 | 45.35 |
| 潜在石漠化 | 955.6 | 2.92 | 3 400.83 | 10.38 | 3 067.25 | 9.36 | 558.95 | 1.71 |
| 轻度石漠化 | 185.63 | 0.57 | 1 510.95 | 4.61 | 1 365.48 | 4.17 | 312.51 | 0.95 |
| 中度石漠化 | 1 280.52 | 3.91 | 2 363.29 | 7.21 | 1 441.7 | 4.40 | 178.82 | 0.55 |
| 重度石漠化 | 623.34 | 1.90 | 337.74 | 1.03 | 140.38 | 0.43 | 49.46 | 0.15 |
| 极重度石漠化 | 102.77 | 0.31 | 30.25 | 0.09 | 4.34 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| 合计 | 3 147.86 | 9.60 | 7 643.06 | 23.32 | 6 019.15 | 18.36 | 15 964.75 | 48.71 |

3.3 石漠化空间分布与坡度的关系

坡度是导致土壤水土流失的一个诱发因素,所以也是影响石漠化发生的一个重要因素。将石漠化空间分布图和坡度图通过叠加分析,得到研究区坡度在[0°,5°)、[5°,15°)、[15°,25°)、[25°,35°)以及≥35°石漠化占的比例面积分别为 1.26%、16.19%、8.19%、15.21%、13.8%。按照中度及以上等级石漠化区域在坡度的分布情况,从高到低依

次为:[15°,25°)(6.08%)、[25°,35°)(5.11%)、≥35°(4.92%)、[5°,15°)(3.38%)。从表4可以看出,石漠化严重的区域主要集中在>15°坡度的区域,说明坡度是影响水土流失和石漠化发生的一个重要因素。石军南^[11]在研究邵东县岩溶地区坡度与石漠化的空间相关性时,得出该地区70%以上的石漠化发生在>15°的区域,与本文得到的结论有相似之处。造成这种现象的原因,一方面是历史上砍伐森林,毁林开荒导致水土流失带来的恶果;另一方面尽管国家提出了>15°以上的坡度退耕还林,但因为石漠化形成难以治理,因此从图上仍然得出这些区域石漠化严重。从空间分布来看,石漠化陡坡主要分布在巫溪、巫山、奉节、酉阳、秀山、彭水等地(封彩图2)。

表4 石漠化与坡度的关系

Tab. 4 The relationship between rocky desertification and slope

| | [0°,5°) | | [5°,15°) | | [15°,25°) | | [25°,35°) | | ≥35° | |
|--------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|
| | 面积/km ² | 占岩溶面积比例/% |
| 无石漠化 | 876.31 | 2.67 | 3 094.25 | 9.44 | 4 591.07 | 14.01 | 3 678.53 | 11.22 | 2 625.44 | 8.01 |
| 潜在石漠化 | 166.02 | 0.51 | 1 059.45 | 3.23 | 2 251.99 | 6.87 | 2 320.43 | 7.08 | 2 184.74 | 6.67 |
| 轻度石漠化 | 79.9 | 0.24 | 519.07 | 1.58 | 1 062.5 | 3.24 | 989.52 | 3.02 | 723.58 | 2.21 |
| 中度石漠化 | 130.69 | 0.40 | 900.12 | 2.75 | 1 625.2 | 4.96 | 1 351.61 | 4.12 | 1 256.71 | 3.83 |
| 重度石漠化 | 30.89 | 0.09 | 187.39 | 0.57 | 330.19 | 1.01 | 285.84 | 0.87 | 316.61 | 0.97 |
| 极重度石漠化 | 3.2 | 0.01 | 18.77 | 0.06 | 37.74 | 0.12 | 37.37 | 0.11 | 40.69 | 0.12 |
| 合计 | 1 287.01 | 3.93 | 5 779.05 | 17.63 | 9 898.69 | 30.20 | 8 663.30 | 26.43 | 7 147.77 | 21.81 |

3.4 石漠化空间分布与土壤侵蚀强度的关系(以2010年为例)

石漠化是水土流失长期作用的结果,水土流失是石漠化过程中某一阶段作用强度的体现,两者在成因上存在因果关系^[6]。通过分析2010年岩溶地区石漠化强度与水土流失强度等级图,可以得到石漠化与土壤侵蚀的关系。将石漠化程度与2010年土壤侵蚀强度叠加分析(表5),得到石漠化面积与土壤侵蚀面积相当,石漠化在中度以上等级面积比2010年土壤侵蚀强度相同等级面积大1 013.53 km²。石漠化和水土流失都比较严重的区域主要分布在酉阳、秀山、黔江、彭水、巫山、奉节等地。直辖以来,重庆加大水土流失治理,间接地对石漠化治理产生显著成效的具体反应。全市水土保持生态建设累计投资33.42亿元,治理小流域达514条,建设改造基本农田96.5万亩,实施封禁管护348万亩,实施农耕措施289万亩,建设水土保持林和实施退耕还林(草)629万亩,其他措施437.5万亩。累计治理水土流失面积达1.2万km²^[18]。

表5 石漠化与2010年水土流失强度关系

Tab. 5 The relationship both rocky desertification and rocky desertification in 2010

| | 微度侵蚀 | | 轻度侵蚀 | | 中度侵蚀 | | 强度侵蚀 | | 极强度 | | 剧烈 | |
|--------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|
| | 面积/km ² | 占岩溶面积比例/% |
| 无石漠化 | 7 729.78 | 23.58 | 1 825.14 | 5.57 | 2 479.37 | 7.56 | 2 327.03 | 7.10 | 411.99 | 1.26 | 92.48 | 0.28 |
| 潜在石漠化 | 5 216.93 | 15.92 | 1 029.55 | 3.14 | 763.20 | 2.33 | 773.44 | 2.36 | 161.59 | 0.49 | 34.43 | 0.11 |
| 轻度石漠化 | 1 899.75 | 5.80 | 472.69 | 1.44 | 433.75 | 1.32 | 517.55 | 1.58 | 46.43 | 0.14 | 5.21 | 0.02 |
| 中度石漠化 | 2 866.16 | 8.75 | 620.65 | 1.89 | 841.38 | 2.57 | 817.52 | 2.49 | 109.33 | 0.33 | 12.76 | 0.04 |
| 重度石漠化 | 629.06 | 1.92 | 135.79 | 0.41 | 177.84 | 0.54 | 179.93 | 0.55 | 20.14 | 0.06 | 5.98 | 0.02 |
| 极重度石漠化 | 65.24 | 0.20 | 22.12 | 0.07 | 25.44 | 0.08 | 22.06 | 0.07 | 3.00 | 0.01 | 0.12 | 0.00 |

3.5 石漠化空间分布与高程的关系

通过石漠化与高程叠加,石漠化面积分布在高程中的比例从高到低的顺序依次是(表 6):1 000~1 500 cm (29.18%),500~800 cm(24.10%),800~1 000 cm (16.54%),>1 500 cm(15.56%),200~500 cm(14.09%), ≤ 200 cm(0.53%)。但中度及以上等级石漠化发生在各高程分布的比例从高到低依次是 500~800 m(5.73%),1 000~1 500 m(5.67%),800~1 000 m(3.63%),200~500 m(2.68%),>1 500 m(2.19%)以及 ≤ 200 m (0.09%)。 ≤ 200 m 高程的地区一般是低缓平地,水土流失少,故基本无石漠化发生。在>1 500 m 海拔的地区由于植被覆盖好,因此石漠化发生率也不高。500~800 m,1 000~1 500 m 高程范围石漠化现象比例高,这些地区岩溶面积分布广,加之人们不合理利用土地资源,导致石漠化的形成。

表 6 石漠化与高程的关系

Tab. 6 The relationship between the rocky desertification and elevation

| | ≤ 200 m | | (200 m,500 m] | | (500 m,800 m] | | (800 m,1 000 m] | | (1 000 m,1 500 m] | | >1 500 m | |
|------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|
| | 面积/ km ² | 占岩溶 面积比 例/% |
| 无石漠化 | 88.64 | 0.27 | 2 676.33 | 8.17 | 3 531.26 | 10.77 | 2 422.82 | 7.39 | 4 090.2 | 12.48 | 2 056.35 | 6.27 |
| 潜在石漠化 | 45.38 | 0.14 | 662.05 | 2.02 | 1 624.67 | 4.96 | 1 219.87 | 3.72 | 2 663.51 | 8.13 | 1 767.15 | 5.39 |
| 轻度石漠化 | 9.45 | 0.03 | 403.35 | 1.23 | 866.47 | 2.64 | 586.99 | 1.79 | 951.55 | 2.90 | 556.76 | 1.70 |
| 中度石漠化 | 22.14 | 0.07 | 683.88 | 2.09 | 1 500 | 4.58 | 955.03 | 2.91 | 1 505.43 | 4.59 | 597.85 | 1.82 |
| 重度石漠化 | 6.96 | 0.02 | 171.54 | 0.52 | 325.11 | 0.99 | 206.35 | 0.63 | 329.67 | 1.01 | 111.29 | 0.34 |
| 极重度 石漠化 | 1.79 | 0.01 | 21.93 | 0.07 | 52.12 | 0.16 | 28.89 | 0.09 | 23.54 | 0.07 | 9.1 | 0.03 |
| 合计 | 174.36 | 0.53 | 4 619.08 | 14.09 | 7 899.63 | 24.10 | 5 419.95 | 16.54 | 9 563.9 | 29.18 | 5 098.5 | 15.56 |

3.6 石漠化空间分布与农业劳动力、耕地面积的关系

石漠化现象的发生与农业劳动力、耕地面积关系密切。根据统计年鉴数据,将重庆市 38 个区县岩溶面积数据分别与相应各区县岩溶地区农业劳动力人口数和耕地面积数用 EXCEL 进行线性相关性分析(图 4 和图 5),回归方程通过了显著性检验($sig=.000<0.5$)。从图 4、图 5 中看出,岩溶区面积与农业劳动力的相关系数达 0.79,岩溶面积与耕地面积的相关系数达 0.75,为高度正相关。农业劳动力越多,耕地面积越大,人们在土地上耕作的力度越大,水土流失的强度越大,石漠化发生的几率就越大。同时表明,在脆弱的岩溶环境下,如果人为地过度干预土地,石漠化现象更容易发生。

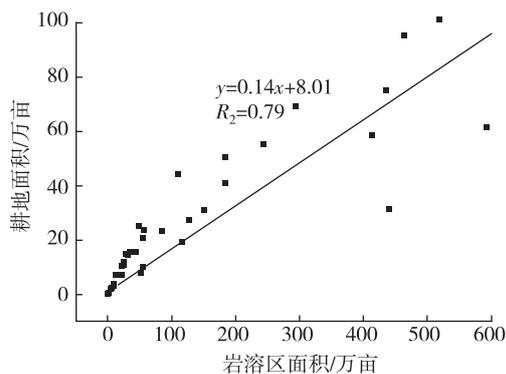


图 4 岩溶区土地面积与耕地面积的相关性分析图

Fig. 4 The correlation analysis chart between karst area and cultivated land area

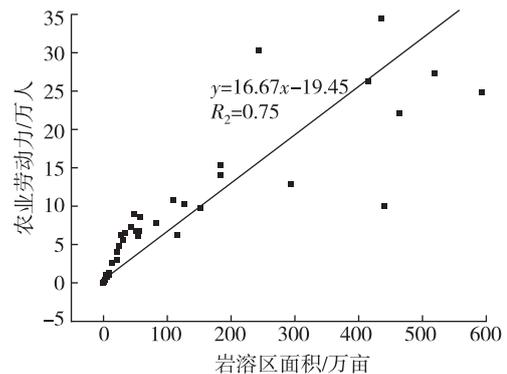


图 5 岩溶区面积与农业劳动力相关性分析图

Fig. 5 The correlation analysis chart between agricultural population and karst area

3.7 重庆岩溶石漠化程度与土层厚度、土壤侵蚀强度、坡度与高程的相关性分析

运用 ArcGIS 软件,将重庆岩溶石漠化程度与土层厚度、土壤侵蚀强度、坡度与高程进行主成份分析,得到重庆岩溶地区石漠化强度 y 与土层厚度 X_1 ,土壤侵蚀强度(2010年) X_2 ,坡度 X_3 与高程 X_4 的相关关系, $y = -0.147X_1 + 0.098X_2 - 0.044X_3 - 0.149X_4$ 。此方程通过了回归方程的显著性检验($\alpha=0.05$),也通过了回归系数显著性检验($\alpha=0.05$),拟合优度 $\overline{R^2} = 0.61$ 。从回归系数来看,石漠化强度与土层厚度、坡度以及高程呈负相关关系。土层越厚,坡度越大,高程越高,石漠化强度越低。土层厚,有利于抵御石漠化发生。高程高,人类干预土地的机会少,石漠化发生率低。坡度的高低也与石漠化程度呈负相关关系,原因是坡度在达到一定度数时,农作干预少,植被覆盖率高,抵御石漠化的能力更强。石漠化强度与土壤侵蚀程度呈正相关关系,即土壤侵蚀程度越大,石漠化强度越高。

4 结论与讨论

自然因素和人为因素导致石漠化。通过分析发现,在自然因素中岩性是石漠化发生的基础,石灰岩中酸不溶物含量最低,可成土物质少。由于土壤成土速率低,如果农户在耕作中不注重水土流失的保护,流失的土壤难以短期再生,很容易形成石漠化。 $>15^\circ$ 坡度区域易引起水土流失,主要原因是岩溶地区人多可利用耕地少,在这些区域还存有大量耕地,人类的劳作引起水土流失,导致容易发生石漠化。根据1999年和2010年水土流失强度在空间上的分布,发现2010年水土流失等级降低主要体现在极强度和中度侵蚀范围,其中极强度土壤侵蚀面积2010年(324.56 km^2)比1999年($1\ 180.18 \text{ km}^2$)低 855.62 km^2 ,中度侵蚀面积2010年($4\ 143.48 \text{ km}^2$)比1999年($4\ 599.37 \text{ km}^2$)低 455.89 km^2 。虽然水土流失强度降低了,但石漠化程度不会立刻降低。因为水土流失是石漠化形成过程的阶段性表现,石漠化是水土流失长期作用的结果。两者在成因上存在因果关系,但在生态治理恢复过程中,水土流失减弱面积与石漠化减弱面积并不同步,在时间上存在滞后性,主要是石漠化治理恢复时间比水土流失治理时间长。所以石漠化一旦发生,难以在短期内得到恢复。从回归系数来看,石漠化程度与土层厚度、坡度以及高程呈负相关关系,与土壤侵蚀强度呈正相关关系,农业人口、耕地面积与岩溶地区面积呈高度正相关关系。岩溶地区水土流失容易引起石漠化是不争的事实,控制好岩溶地区水土流失,使水土流失量在石漠化允许范围之内,这才是治理石漠化的根本。

上述研究结果表明,减少岩溶地区石漠化发生几率,应尽量避免在纯石灰岩地区进行耕作,或者减少纯石灰岩地区的人口压力。对于 $>15^\circ$ 坡度地区应进行退耕还林,若确因耕地受限,应该将耕地修成水平梯地(田),配置坡面蓄水池。重庆岩溶地区面积分布广,农业人口多且耕地多,石漠化分布面积大,证实了岩溶地区生态脆弱,在人类的干预下,容易被破坏而引起石漠化。中国成为全世界石漠化问题最严重的地区,主要原因之一就是人口密度太大。我国岩溶地区的人口密度 $208 \text{ 人}/\text{km}^2$,相当于全国平均人口密度的 153.3% ,是岩溶地区适宜人口承载量的两倍。曹建华学者在欧洲岩溶地区做过一个测试,当人口密度不超过 $100 \text{ 人}/\text{km}^2$ 时,岩溶地区不会出现石漠化问题。因此,我国岩溶地区除了可以根据该地区的生态环境栽种适合本地区的生态作物,如花椒树、金银花、核桃树等之外,还应该积极进行生态移民,减少人口压力,达到岩溶地区人口承载允许标准,通过自然修复改善岩溶地区的生态环境。同时,应健全组织机构,加强管理监督,广泛开展预防石漠化知识宣传教育,从自然和人为两方面着手,综合治理石漠化问题,保护生态平衡。

参考文献:

- [1] 陶玉莲. 遏制“地球癌症”重庆石漠化土地现已减少43万亩 [N/OL]. 新华网重庆频道, 2013-04-12. [Http://www.zxxk.com/m/articleinfo.aspx?infoID=234380](http://www.zxxk.com/m/articleinfo.aspx?infoID=234380).
- [2] 蒋忠诚, 杨德生, 曹建华. 中国水土流失防治与生态安全——西南岩溶区卷[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- Tao Y L. The area of rocky desertification land in Chongqing has been decreased by 43 acres for containing earth cancer [N/OL]. Chongqing Channel of Xinhua internet, 2013-04-12. [Http://www.zxxk.com/m/articlein-fo.aspx?infoID=234380](http://www.zxxk.com/m/articlein-fo.aspx?infoID=234380).

- Jiang Z C, Yang D S, Cao J H. Soil erosion prevention and ecological safety in China-southwest karst area volume [M]. Beijing: Science Press, 2010.
- [3] 覃小群, 朱明秋, 蒋忠诚. 近年来我国西南岩溶石漠化研究进展[J]. 中国岩溶, 2006, 25(3): 234-238.
- Qin X Q, Zhu M Q, Jiang Z C. A review on recent advances in rocky desertification in southwest China karst region[J]. Carsologica Sinica, 2006, 25(3): 234-238.
- [4] 王世杰. 喀斯特石漠化概念演绎及其科学内涵的探讨[J]. 中国岩溶, 2002, 21(2): 101-105.
- Wang S J. Concept deduction and its connotation of karst rocky desertification[J]. Carsologica Sinica, 2002, 21(2): 101-105.
- [5] 张殿发, 王世杰, 李瑞玲, 等. 土地石漠化的生态地质环境背景及其驱动机制——以贵州省喀斯特山区为例[J]. 农村生态环境, 2002, 18(1): 6-10.
- Zhang D F, Wang S J, Li R L, et al. Eco-geo-environment of rocky desertification and its driving mechanism a typical example in karst mountainous areas of Guizhou province [J]. Rural Eco-environment, 2002, 18(1): 6-10.
- [6] 曹建华, 中国地质科学院岩溶地质研究所, 国土资源部岩溶动力学重点实验室. 受地质条件制约的中国西南岩溶生态系统[M]. 北京: 地质出版社, 2005.
- Cao J H. Karst ecosystem of southwest China constrained by geological setting [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005.
- [7] 李瑞玲, 王世杰, 熊康宁, 等. 贵州省岩溶地区坡度与土地石漠化空间相关分析[J]. 水土保持通报, 2006, 26(4): 82-86.
- Li R L, Wang S J, Xiong K N, et al. Correlation between Rocky desertification and slope degree in karst area of Guizhou[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2006, 26(4): 82-86.
- [8] 李瑞玲, 王世杰, 周德全, 等. 贵州岩溶地区岩性与土地石漠化的相关分析[J]. 地理学报, 2003, 58(2): 314-320.
- Li R L, Wang S J, Zhou D Q, et al. The correlation between rock desertification and lithology in karst area of Guizhou [J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(2): 314-320.
- [9] 王艳强, 朱波, 王玉宽, 等. 重庆市石漠化敏感性评价[J]. 西南农业学报, 2005, 18(1): 70-73.
- Wang Y Q, Zhu B, Wang Y K, et al. Sensitivity assessment on rock desertification in Chongqing[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2005, 18(1): 70-73.
- [10] 杨明德. 贵州高原地貌的结构及演化规律[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- Yang M D. The structure and evolution rules of the plateau landform in Guizhou[M]. Beijing: Science Press, 1985.
- [11] 石军南, 卢海燕, 唐代生, 等. 岩溶地区坡度与土地石漠化的空间相关性分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(10): 84-88.
- Dan J N, Lu H Y, Tang D S, et al. Correlation analysis between Rocky desertification and slope degree in karst area of Shaodong County[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2012, 32(10): 84-88.
- [12] 张信宝, 王世杰, 白晓永, 等. 贵州石漠化空间分布与喀斯特地貌、岩性、降水和人口密度的关系[J]. 地球与环境, 2013, 41(1): 1-6.
- Zhang X B, Wang S J, Bai X Y, et al. Relationships between the spatial distribution of karst land desertification and geomorphology, lithology, precipitation, and population density in Guizhou province[J]. Earth and Environment, 2013, 41(1): 1-6.
- [13] 熊康宁, 黎平, 周忠发, 等. 喀斯特石漠化的遥感——GIS 典型研究——以贵州省为例[M]. 北京: 地质出版社, 2002.
- Xiong K N, Li P, Zhou Z F, et al. Remote sensing of karst Rocky desertification-typical GIS research-case in Guizhou province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002.
- [14] 何春阳, 史培军, 陈晋, 等. 北京地区土地利用/覆盖变化研究[J]. 地理研究, 2001, 20(6): 679-687, 772.
- He C Y, Shi P J, Chen J, et al. A study on land use/cover change in Beijing area[J]. Geographical Research, 2001, 20(6): 679-687, 772.
- [15] 李月臣, 刘春霞, 袁兴中. 三峡库区重庆段水土流失的时空格局特征(英文)[J]. Journal of Geographical Sciences, 2009, 63(1): 81-94.
- Li Y C, Liu C X, Yuan X Z. Spatiotemporal features of soil and water loss in the Three Gorges Reservoir Area of Chongqing[J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 63(1): 81-94.
- [16] 钟望春, 王进鹏, 罗艳芳, 等. 滇东碳酸盐岩酸不溶物含量与石漠化关系研究[J]. 吉林水利, 2013, 368(1): 1-3.
- Zhong W C, Wang J P, Luo Y F, et al. Relationship of carbonate rocks insoluble residues and Rocky desertification study in Dian Dong plateau[J]. Jilin Water Resources, 2013, 368(1): 1-3.
- [17] 肖荣波, 欧阳志云, 王效科, 等. 中国西南地区石漠化敏感性评价及其空间分析[J]. 生态学杂志, 2005, 24(5): 551-554.

- Xiao R B, Ou Yang Z Y, Wang X K, et al. Sensitivity of Rocky desertification and its spatial distribution in south-western China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24 (5):551-554.
- [18] 市水利局. 我市直辖以来水土流失治理成效显著[N/OL]. 重庆市政府公众信息网, 2006-06-06. <http://www.cq.gov.cn/zwgk/zfxx/20060606160.htm>.

Water Conservancy Bureau of Chong Qing. Significant results in soil erosion governing since the city territory. Public Information Network of Chongqing Municipal Government, 2006-06-06. [Http://www.cq.gov.cn/zwgk/zfxx/20060606160.htm](http://www.cq.gov.cn/zwgk/zfxx/20060606160.htm).

Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

Relationships between the Stony Desertification and Geographical Environments Factors at the Karst Region in Chongqing

WEI Xingping^{1,2}, YANG Hua^{1,2}

(1. College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 401331;

2. Key Laboratory of GIS Application, Chongqing Normal University, China)

Abstract: The relationship between rocky desertification intensity and geographical environment factors in karst area in Chongqing was studied by using raster overlay analysis (ArcGIS) and principal component analysis to facilitate our understanding of the rocky desertification formation mechanism in this area. Our results concluded: 1) The soil layers in the rocky desertification area tended to be thin, with 51.29% of them below 39 cm, and 32.92% below 20 cm; 2) The more seriously decertified rocky region mainly distributed in areas with a slope above 15 °; 3) The level of soil erosion intensity in the rocky desertification region decreased significantly in 2010 when compared to 1999. This was especially true in the extremely strong and moderate erosion areas, and the erosion decreased by 4.78% and 2.55% respectively; 4) the rocky desertification mostly distributed in areas with elevation in the ranges of 500-800 meters and 1 000-1 500 meters; 5) the karst area was positively correlated with agricultural labor and farmland area with a correlation coefficient above 0.7. The rocky desertification was negatively correlated with soil depth, slope and elevation, and positively correlated with the soil erosion intensity. Rocky desertification control measures were proposed based on the causes of rocky desertification.

Key words: karst region; rocky desertification; geographical environment factors; Chongqing

(责任编辑 陈 琴)