

云南省县域尺度的石漠化分布与区划

刘 鹏, 王 妍, 刘宗滨, 郭玉静, 张紫霞, 李乡旺, 杨 波

(西南林业大学 石漠化研究院, 云南 昆明 650224)

摘要: 云南地处中国西南石漠化中心地区, 从石漠化的影响因素展开全省石漠化分区的定量分析研究对促进石漠化治理及生态环境保护 and 可持续发展具有深远意义。运用主导因素法和叠置法, 依据地形、气候条件、地带性土壤、植被等综合因素对云南 65 个石漠化县域进行区划。将云南省 65 个石漠化县域分为 7 个区域 10 个亚区 19 个小区, 7 个区域分别为北热带低山河谷盆地石漠化区、南亚热带中低山河谷盆地石漠化区、中亚热带高原山地石漠化区、北亚热带高中山石漠化区、暖温带高中山石漠化区、青藏高原东南缘高原温带石漠化区和金沙江燥热河谷石漠化区。本研究提出的云南省石漠化区域划分新体系, 是从粗放的宏观区划向精细区划迈进的创新成果, 这一区划成果使石漠化地区综合治理技术设计更具有可操作性。图 7 表 3 参 25

关键词: 水土保持学; 县域尺度; 石漠化; 区划研究; 层次分析法; 云南省

中图分类号: S714.6; P902

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2019)05-0965-09

Distribution and division of stony desertification on county scale

LIU Peng, WANG Yan, LIU Zongbin, GUO Yujing, ZHANG Zixia, LI Xiangwang, YANG Bo

(Research Institute of Stony Desertification, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract: Yunnan is located in the center of rocky desertification area in southwest China. It is of great significance to carry out the quantitative analysis of rocky desertification distribution in the whole province, in order to promote the treatment of rocky desertification, ecological environment protection and sustainable development. Dominant factor method and superposition method were used to divide 65 rocky desertification counties in Yunnan, according to the comprehensive factors such as landform, climate, soil and vegetation. Results showed that 65 rocky desertification counties in Yunnan Province could be divided into 7 areas, 10 subregions and 19 districts. 7 areas included North Tropical Low Mountain Valley Basin Rocky Desertification Area, South Subtropical Medium Low Mountain Valley Basin Rocky Desertification Area, Central Asia Subtropical Plateau Mountain Rocky Desertification Area, North Subtropical High-medium Mountain Rocky Desertification Area, Warm Temperate High Medium Rocky Desertification Area, Temperate Rocky Desertification Area on the Southeast of Qinghai-Tibet Plateau, and Jinsha River Dry Hot Desert Valley Rocky Desertification Area. The new system of dividing rocky desertification areas in Yunnan Province proposed in this study is an innovative achievement from the extensive macro division to the intensive division. The results of this division make the technological design of comprehensive treatment of rocky desertification more operational. [Ch, 7 fig. 3 tab. 25 ref.]

Key words: science of soil and water conservation; county scale; desertification; division research; analytic hierarchy process; Yunnan Province

石漠化是指在热带、亚热带湿润或半湿润地区以及喀斯特极其发育的自然背景下, 人类活动干扰造

收稿日期: 2018-10-22; 修回日期: 2019-03-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31760245)

作者简介: 刘鹏, 从事脆弱生态系统修复研究。E-mail: 1564385618@qq.com。通信作者: 王妍, 副教授, 从事脆弱生态系统恢复研究。E-mail: wycaf@126.com

成地表植被破坏,土壤严重流失,基岩大面积裸露的地质现象^[1-3]。岩溶地区石漠化是云南省最严重的生态问题之一,影响着长江、珠江、澜沧江等河流的生态安全,制约着全省经济社会的可持续发展^[4]。目前,云南省岩溶分布面积达 $11.10 \times 10^4 \text{ km}^2$,石漠化面积达 $2.84 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[5],全省129个县(市、区)中,有118个县(市、区)不同程度存在岩溶分布,因此石漠化生态系统保护与恢复是岩溶地区急需解决的战略性难题。现阶段有关石漠化的研究主要集中在石漠化形成及演变过程^[6-8],石漠化地区土壤性质^[9-10],石漠化演变特点及影响因素^[11],石漠化地区生态系统服务功能与治理结合^[12-14]等方面,而对石漠化的区划研究分区较为粗放且主要集中在省外地区^[15-16],以县域尺度为单元则少见报道。针对云南省石漠化地区县域尺度的区划研究意义尤为重大,亟需解决。本研究在对云南65个石漠化县(市、区)现场调查的基础上,以地形、气候条件、地带性土壤、植被等自然因素为指标,将云南65个石漠化县域划分为7个区域10个亚区19个小区,旨在推动石漠化治理区划的研究,以期对云南的石漠化治理提供科学依据,并为石漠化综合治理提供决策支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

云南地处中国西南边陲($21^{\circ}08'32'' \sim 29^{\circ}15'08''\text{N}$, $97^{\circ}31'39'' \sim 106^{\circ}11'47''\text{E}$),全省土地总面积 $3.94 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。东面和北面处于东亚季风影响下的湿润气候区域,西面与南亚大陆的热带季风相邻,常年受孟加拉湾吹来的暖湿气流影响,西北部受青藏高原气候的影响,南面及东南面则受北部湾东南季风影响。气候区域差异和垂直变化明显,年温差小,日温差大,降水充沛,干湿分明,降水量分布不均。地貌受到第三纪末以来新构造运动的强烈影响,整个地势从西北向东南倾斜,形成了高山峡谷、岩溶山地、干热河谷、泥石流多发区等几大生态脆弱带同时存在的特点。土壤以砖红壤、赤红壤、红壤、黄壤、棕色土等地带性土壤为主,呈现水平地带性和垂直地带性分布。植被以热带季雨林、亚热带常绿阔叶林和寒温带针叶林为主,常见壳斗科 Fagaceae 的常绿阔叶林和云南松 *Pinus yunnanensis* 林。

云南省石漠化集中分布在滇中、滇东的岩溶断陷盆地(昆明市、宣威县、富源县、陆良县),滇东北的岩溶峡谷石漠化地区(昭通市、鲁甸县、巧家县),滇东南的峰丛洼地石漠化地区(滇东南个旧市、罗平县、开远市、蒙自县、弥勒县、建水县、文山县、砚山县、丘北县、广南县、西畴县);滇西北的中高山石漠化地区(鹤庆县、香格里拉县、德钦县、玉龙县、宁蒗县)也有部分石漠化分布^[17-18],云南省县域尺度石漠化分布见图1。

1.2 数据获取

本研究采用的气候资料依据郑景云等^[19]的中国气候划分新方案,植被数据来源于《云南植被》提供的分区图^[20],土壤数据依据云南省第2次土壤普查中的分类,云南地貌数据根据云南省数字高程模型(DEM)提取海拔高度,建立包括地形、气候条件、地带性土壤和植被的石漠化影响因素空间数据库。

1.3 研究方法

1.3.1 分区原则 ①有利于综合治理的原则。石漠化区划研究,一方面是为了揭示石漠化类型、成因、程度的区域差异,深化对区域石漠化现象和过程的认识。另一方面是为了贯彻“因地制宜”的思想,揭示区域的生态环境特点及石漠化的共性,指明石漠化防治的基本方向^[15]。②等级性原则。石漠化土地是一个复杂系统,由多个层级系统构成,需要对层级进行一个自上而下的有效划分以简化和更好地认识系统。③照顾地理单元的原则。区划过程中,要适当考虑资源保护与利用的一致性,按集中连片的原则将邻近的地理单元划分为一类。另外,应尽可能保证行政区域的完整。④综合分析主导因素相结合原则。在进行区域划分时,指标多、涉及面广,使分区工作变得十分复杂,工作量大,而且不利于揭示主

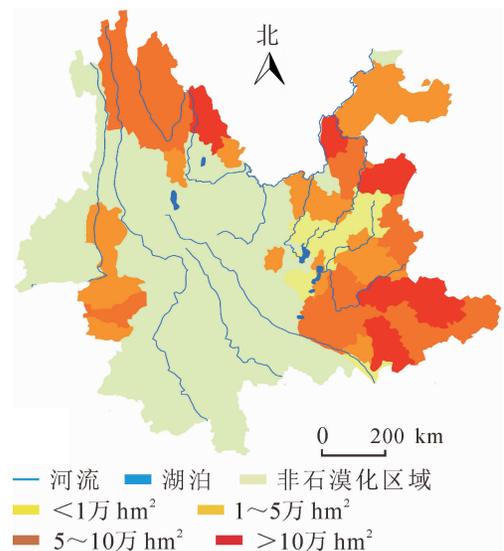


图1 云南石漠化分布示意图

Figure 1 Distribution of rocky desertification

要矛盾及其综合治理方向。因此，在进行石漠化区域划分时，必须将综合分析与主导因素相结合，了解石漠化形成和演变趋势的助推因子，确定防治方向和选择综合防治措施^[15]。

1.3.2 分区方法与等级体系 采用图幅叠置法和指标判读法相结合，“从上而下，逐级划分，定性定量相结合”进行石漠化分区，具体步骤见图 2。图层叠加分析是在统一空间参考系统下，通过对多层数据的叠置，分析提取出新的空间和属性关系。考虑到云南石漠化区域自然地理条件的复杂性，石漠化分区采用“区、亚区、小区”三级区划制度。

1.3.3 分区参考因子及评价 在前人研究的基础上选取了地形、气候、土壤、植被 4 个影响因子做为划分基础，主要参考因子为活动积温和干燥度，辅助因子为其他气候条件、地带性土壤和植被。各影响因子对土地石漠化影响程度不一。本研究运用层次分析法(AHP)确定各因子的权重^[21]，计算步骤如下：建立递阶层次结构模型。构造判断矩阵邀请生态功能区划专家进行指标间两两重要性的判评，构建判断矩阵 C ；矩阵 C 的最大特征根 λ_{max} 和其对应的特征向量 W ，满足 $CW=\lambda_{max}W$ ，其中特征向量 W 的分量就是各影响因子的权重。计算一致性指标(consistency index, C_1)为 $C_1=(\lambda_{max})/(n-1)$ ，其中 n 是矩阵的阶数，根据 n 查表的平均随机一致性指标(R_1)。当 $C_1/R_1 \leq 0.100$ 时，认为判断矩阵的一致性是可以接受的，否则应对判断矩阵作适当修正；经过上述步骤即可得出其权重集： $W=[W_1, W_2, \dots, W_n]$ 。

1.3.4 分区命名 采用叠加命名法对分区命名。区用“气候带+地形地貌组合”命名，亚区用“地带性土壤”命名，小区用“地名(或方位)+水热组合+植被类型”命名。

2 结果与分析

2.1 影响云南石漠化分区的划分因子及评价

2.1.1 地形 云南地形为山地高原，地势西北高、东南低，从西北向东南呈阶梯状逐步下降，省内最高点为梅里雪山的卡格博峰，海拔达 6 740.0 m；最低点为河口县红河出水口处，海拔 76.4 m。地形影响水土流失的速率及土壤条件，形成不同的立地条件及植被类型，是划分石漠化区域必须考虑的因素。根据地形特征(图 3)，云南省石漠化分布区域可划分为低山河谷盆地、中高山地、高原山地、青藏高原东南缘高原和燥热河谷 5 种地形。

2.1.2 气候条件 表 1 可知：云南 65 个石漠化县(市、区)中，河口县及耿马(孟定)及其他 4 个县的零星地段属于北热带气候，10 个县(市、区)及 5 个县的南部属于南亚热带气候，35 个县(市、区)及 5 个县的北部属于中亚热带气候，7 个县(市、区)属于北亚热带气候，6 个县(市、区)属于暖温带气候，2

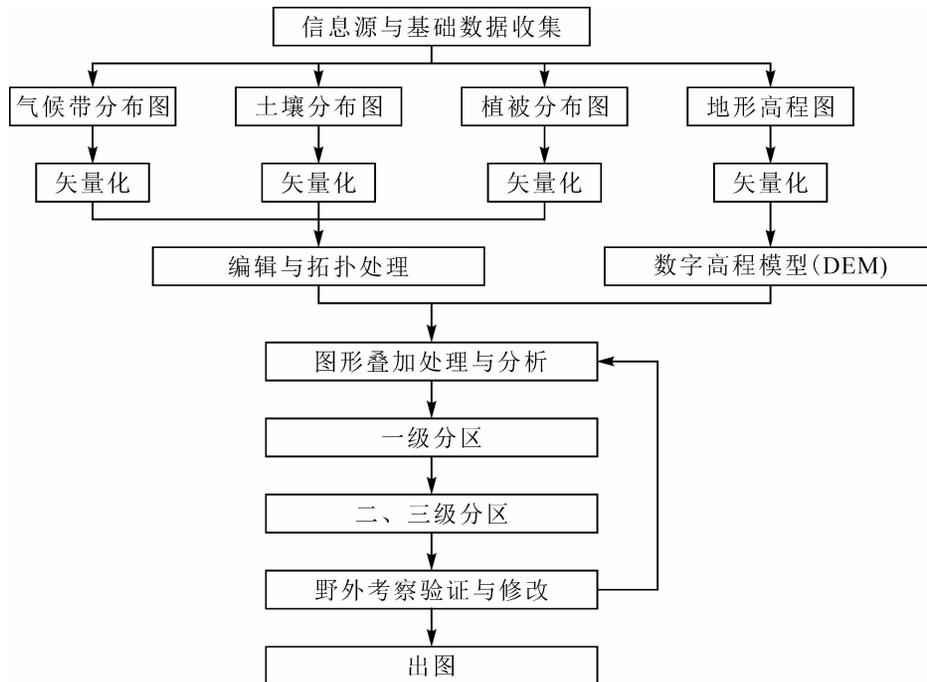


图 2 石漠化区划流程图

Figure 2 Flow chart of the division of rocky desertification

个县(市、区)属于青藏高原温带气候带(图4)。

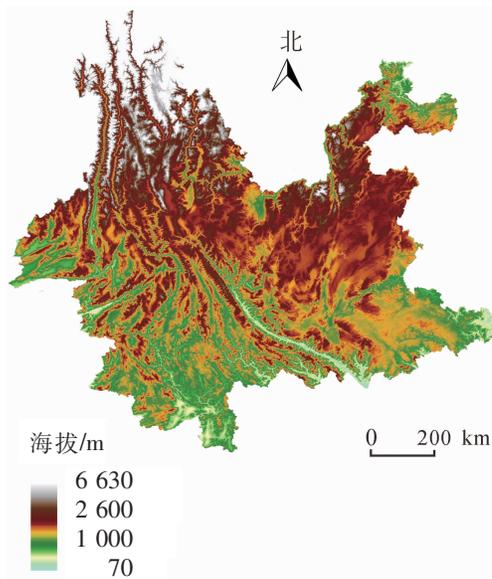


图3 云南地形示意图

Figure 3 Topographic map of Yunnan Province

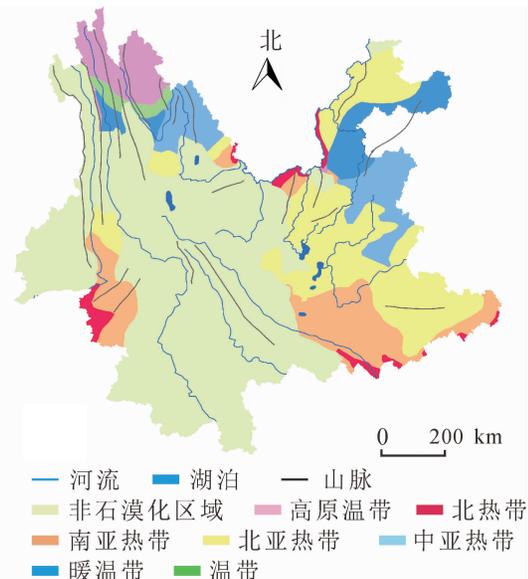


图4 云南石漠化区域与气候带分布叠加示意图

Figure 4 Superposition of rocky desertification area and climate zone distribution

表1 65个石漠化县域气候带划分表

Table 1 Climate zone division tab of 65 rocky desertification counties

气候带	所属县(市、区)
北热带	勐腊、景洪(城南)、河口县、瑞丽、盈江、镇康、耿马、富宁、麻栗坡、马关的部分边境地区
南亚热带	盈江、瑞丽、潞西、南涧、耿马、沧源、孟连、西盟、澜沧、思茅区、景东、景谷、宁洱、镇沅、云县、墨江、江城、绿春、金平、凤庆(南部)、永平(南部); 开远、建水、蒙自, 以及文山、屏边、富宁、马关、麻栗坡、广南等县大部
中亚热带	腾冲、六库、泸水、漾濞(南部)、大理、祥云、牟定、南华、楚雄、禄丰、双柏、广南、丘北、砚山、西畴、个旧、罗平、泸西、弥勒、红塔、通海、华宁、江川、易门、澄江、西山、官渡、五华、盘龙、石林、呈贡、嵩明、富民、禄劝、寻甸、宜良、麒麟、沾益、陆良、隆阳、鹤庆、华坪、彝良、大关、盐津、永善县, 以及富宁、马关、麻栗坡、广南、屏边等县北部
北亚热带	师宗、富源、宣威、马龙、玉龙、古城、宁蒗
暖温带	昭阳、鲁甸、威信、镇雄、会泽、维西
青藏高原温带	香格里拉、德钦

说明: 气候带划分多以县(市、区)气象台站所在地数据为准, 有少部分县(市、区)会跨越2种气候类型

2.1.3 地带性土壤 根据云南省第2次土壤普查, 云南石漠化地区主要地带性土壤有砖红壤、赤红壤、红壤、黄壤、暗棕壤等(图5)。砖红壤主要分布在南部边境海拔800.0 m以下地区。原生植被为热带雨林或季雨林, 树种繁多, 树冠茂密, 林内攀缘植物和附生植物发达, 有板状根和老茎开花现象。赤红壤是南亚热带的地带性土壤, 主要分布在24°N以南的思茅、西双版纳、临沧、红河、文山等地。红壤是中亚热带的地带性土壤, 是云南分布面积最大的土壤类型, 广泛分布于全省17个地州市海拔1500.0~2500.0 m的残存高原面、中低山地和湖盆边缘, 以次生植被云南松林、松 *Pinus* 栎 *Quercus* 混交林和灌草丛为主。黄壤主要分布在云南的10个地州, 滇东海拔2400.0 m以下分布广泛, 多为湿性常绿阔叶林与苔藓常绿阔叶林, 与红壤地区相比, 热量低湿度高, 植被以湿性常绿阔叶林为主, 其次为针阔混交林。棕色森林土是寒温带气候条件下形成的土壤, 与暗棕壤互相交错, 集中分布在滇西北的迪庆、怒江、丽江和滇西的大理等海拔3400.0~4000.0 m的中山和高山地带, 以冷杉 *Abies fabri*, 云杉 *Picea asperata* 和落叶松属 *Larix* 为主。

2.1.4 植被 植被是环境因子组合的反映。依据《云南植被》提供的分类图，云南植被可分为 5 类(图 6)。高原亚热带南部季风常绿阔叶地带与高原亚热带北部(半湿润)常绿阔叶地带占云南省面积的 90%以上^[22]，青藏高原东南部寒温性针叶林草甸地带分布在滇西北的迪庆州，东部(中亚热带)常绿阔叶林地带分布在滇东南的昭通市，季风热带北部季节雨林、半常绿季雨林地带分布在西双版纳。

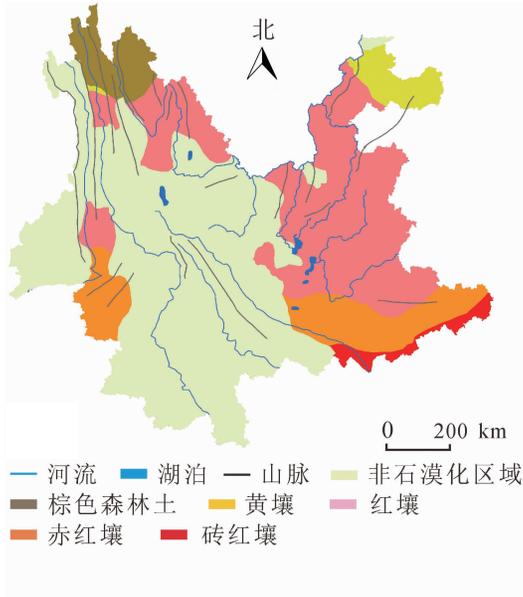


图 5 云南石漠化区域与地带性土壤分布叠加示意图
Figure 5 Superposition of rocky desertification area and zonal soil distribution

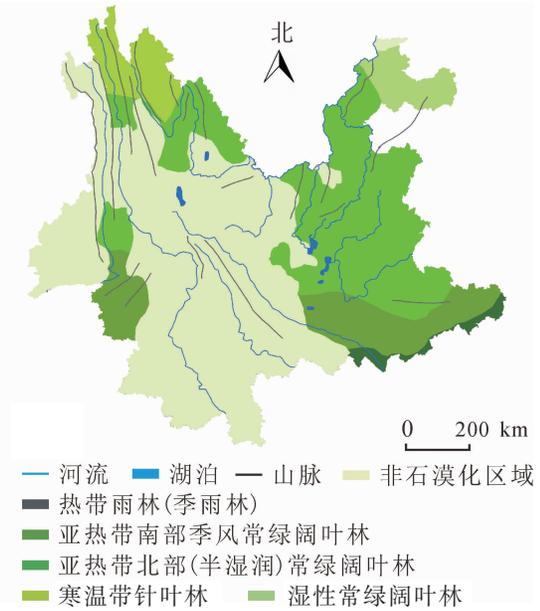


图 6 云南石漠化区域与植被分布叠加示意图
Figure 6 Superposition of rocky desertification area and vegetation distribution

2.1.5 影响因子评价结果 根据判断矩阵及其方根法计算评价因子的相对权重，并检验其一致性，得到该矩阵最大特征根为 5.062，一致性指标为 0.023，一致性比率为 0.021，小于 0.100，可认为该矩阵权重分配合理。从表 2 可知：影响云南省石漠化的主要因子是气候和地形，其次是土壤与植被。云南岩溶区高山深谷、峰丛、洼地交错分布，区内水土资源易流失，生态环境的抗干扰能力低^[17]。云南岩溶地区雨季降雨多而集中，雨量占全年的 85%~95%；短期内过于集中的降雨，山高坡陡的地形地貌条件，稀疏的植被状况，加剧了云南石漠化地区的水土流失速率。云南干旱、洪涝、低温冷害、风雹等频发，局部林木死亡、大量泥沙被冲走、基岩裸露是形成土地石漠化的另一重要因素。具体来看，岩溶地区碳酸盐岩与上覆土层间无过渡层，为软硬接触关系，强降雨条件下，水土流失量剧增，加快石漠化形成^[23]；石漠化地区土壤颗粒度较大，保水性差，抗旱力弱，有机质和植物营养三要素(氮、磷、钾)含量低^[24]，而土壤钙离子和镁离子相对含量高，土壤矿化严重，造成植物过度失水，植被覆盖率减小；岩溶地区林地类型多为灌木林地或草地，林灌草复合型林地较少，这 2 种植被类型涵养水源能力差，水土流失严重，土壤侵蚀模数远高于非岩溶区^[25]。

2.2 分区结果

依据石漠化影响因子及其排序，云南省 65 个石漠化县可划分为 7 个区域 10 个亚区 19 个小区(图

表 2 AHP 评价结果

Table 2 Evaluation result of AHP

评价因子	类型	评价值	一致性比例	权重
地形	河谷、低山河谷、中低山河谷、高中山、高原山地、高原	7		0.233
气候	气候带：北热带、南亚热带、中亚热带、北亚热带、暖温带 干燥度：湿润、半湿润、干旱、半干旱	9	0.021	0.506
地带性土壤	砖红壤、赤红壤、黄壤、红壤、棕壤、燥红土	5		0.137
植被	雨林、季雨林、常绿阔叶林、落叶阔叶林、针叶林、高山草甸	3		0.124

7)。各单因子下区域划分具体类型及各级分区命名如表3所示。

2.2.1 北热带低山河谷盆地石漠化区 主要包含河口、耿马(孟定)及马关、屏边、富宁、麻栗坡县边境零星地段。北热带气候,区内长夏无冬,谷底内基本无霜;干季多有浓雾,受热带季风气候的影响有干湿季但为期不长,是中国不可多得的热带作物栽培地区。包含2个小区。①东南部边境湿润石漠化小区,指文山壮族苗族自治州及红河哈尼族彝族自治州边境石漠化地区,气候特征为高温高湿,植被分区为滇东南峡谷中山湿润雨林、山地苔藓林区,文山州东南部低山河谷麻栎 *Quercus acutissima*, 无忧花 *Saraca indica* 林亚区。地带性土壤为黄色或红色砖红壤。②西南部边境湿润石漠化小区,指临沧市耿马(孟定)边境石漠化地区,为宽谷间山盆地。植被分区为滇南、滇西南山间盆地季节雨林、半常绿季雨林区,滇西南中山峡谷高山榕 *Ficus altissima*, 麻栎林亚区。土壤为红色砖红壤。

2.2.2 南亚热带中低山河谷盆地石漠化区 主要涉及镇康、耿马、沧源、永德、屏边、马关、富宁、西畴、麻栗坡、广南等县。西南部兼有宽谷盆地,东南部峰丛洼地较多,土山石山相间。以南亚热带气候为主。包含4个小区。①西南部湿润石漠化小区,涉及镇康、耿马、沧源、永德、施甸等县。该小区为横断山纵谷区南部,云岭、怒山山脉余脉,间山宽谷地貌。属湿润南亚热带气候。地带性土壤为赤红壤。植被分区为滇西南中山山原河谷季风常绿阔叶林区。②东南部湿润石漠化小区,涉及富宁、麻栗坡县,屏

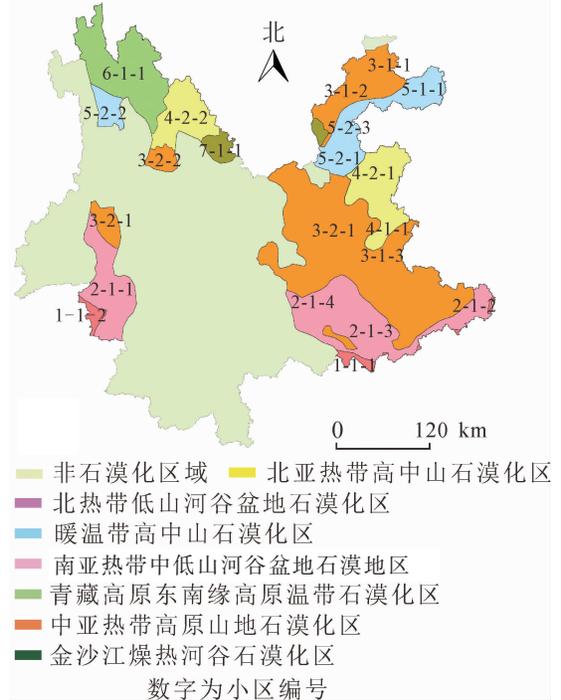


图7 云南省石漠化区域划分示意图
Figure 7 Map of rocky desertification area, Yunnan

表3 云南省石漠化区域划分表

Table 3 Rocky desertification area division, Yunnan

区	亚区	小区
1 北热带低山河谷盆地石漠化区	1-1 砖红壤亚区	1-1-1 东南部边境湿润雨林、麻栎林石漠化小区
		1-1-2 西南部边境湿润季雨林、高榕、麻栎林石漠化小区
2 南亚热带中低山河谷盆地石漠化区	2-1 赤红壤亚区	2-1-1 西南部湿润常绿阔叶林石漠化小区
		2-1-2 东南部湿润常绿阔叶林石漠化小区
		2-1-3 文山市半湿润季风常绿阔叶林石漠化小区
		2-1-4 滇东南半干旱季风常绿阔叶林石漠化小区
3 中亚热带高原山地石漠化区	3-1 黄壤亚区	3-1-1 大关盐津罗平湿润阔叶林石漠化小区
		3-1-2 彝良永善半干旱落叶阔叶林石漠化小区
	3-2 红壤亚区	3-2-1 滇中高原半湿润常绿阔叶林石漠化小区
		3-2-2 鹤庆半干旱常绿阔叶林、云南松、冷杉林石漠化小区
4 北亚热带高中山石漠化区	4-1 黄壤亚区	4-1-1 师宗湿润常绿阔叶林、云南松林石漠化小区
	4-2 红壤亚区	4-2-1 宣威富源马龙半湿润常绿阔叶林石漠化小区 4-2-2 玉龙宁蒗半干旱常绿阔叶林石漠化小区
5 暖温带高中山石漠化区	5-1 黄壤亚区	5-1-1 威信镇雄湿润针叶林石漠化小区
	5-2 红壤亚区	5-2-1 会泽半湿润常绿阔叶林、云南松林石漠化小区
		5-2-2 维西半湿润常绿阔叶林石漠化小区 5-2-3 昭阳鲁甸半干旱常绿阔叶林、云南松林石漠化小区
6 青藏高原东南缘高原温带石漠化区	6-1 棕壤亚区	6-1-1 香格里拉德钦半干旱寒温性针叶林、草甸石漠化小区
7 金沙江燥热河谷石漠化区	7-1 燥红土亚区	7-1-1 华坪巧家半干旱常绿阔叶林、云南松、高山栎石漠化小区

边、马关县南部,广南县东部。地带性土壤为赤红壤。气候、土壤、植被垂直分布明显。③文山市半湿润石漠化小区,涉及文山市。半湿润亚热带气候,地带性土壤为赤红壤。植被分区为滇东南岩溶峡谷季风常绿阔叶林区。④滇东南半干旱石漠化小区,涉及开远、建水、蒙自及个旧、弥勒部分地区。以南亚热带半干旱气候为主。属东南季风及西南季风“雨影区”。地带性土壤为赤红壤。植被分区为滇东南岩溶峡谷季风常绿阔叶林区,气候、土壤、植被垂直分布明显。

2.2.3 中亚热带高原山地石漠化区 包括昆明市、玉溪市、曲靖市,红河州个旧市、屏边北部,保山市隆阳区、大理州鹤庆县、昭通市盐津、大关、永善县,以及文山壮族苗族自治州丘北、砚山、西畴县;横断山地区涉及隆阳区;滇东北涉及沿四川、贵州边缘的盐津、大关、永善等县,是面积最广的一个区域。包含4个小区。①盐津大关罗平湿润石漠化小区,涉及盐津、大关、罗平县。境内地势起伏较大,具有山地、小坝子、河谷地貌。夏季炎热,冬季湿润、偏暖,四季分明。代表性土壤为黄壤。植被区域为东部(湿润)常绿阔叶林亚区域。②彝良永善半干旱石漠化小区,涉及彝良、永善县。土壤为黄壤。植被区域为东部(湿润)常绿阔叶林亚区域,东部(中亚热带)常绿阔叶林带。③滇中高原半湿润石漠化小区,涉及昆明市各区(县)、玉溪市各县(区)、曲靖市麒麟区及沾益、红河州泸西、个旧及屏边北部、文山州丘北、砚山、西畴、保山市隆阳等县(市、区)。具有高原、山地、湖盆地貌,半湿润中亚热带气候。地带性土壤为红壤。植被分区为滇中、滇东高原半湿润常绿阔叶林、云南松林区。隆阳区为滇西横断山半湿润常绿阔叶林区。④鹤庆半干旱石漠化小区,涉及鹤庆县,属半干旱中亚热带气候,地带性土壤为红壤。植被分区为滇中、滇东高原半湿润常绿阔叶林、云南松林区,滇中西北部高中山高原云南松林,云冷杉林亚区。

2.2.4 北亚热带高中山石漠化区 涉及乌蒙山区的宣威、马龙、富源,师宗县,玉龙雪山及绵绵山区的玉龙县、古城区、宁蒗县。包含3个小区。①师宗湿润石漠化小区,涉及师宗县。属湿润北亚热带气候。地带性土壤为黄壤。植被分区为滇中、滇东高原半湿润常绿阔叶林、云南松林区。②宣威富源马龙半湿润石漠化小区,涉及马龙、宣威、富源县。属半湿润北亚热带气候。地带性土壤为红壤。植被分区同师宗湿润石漠化小区。气候、土壤、植被垂直分布明显。③玉龙宁蒗半干旱石漠化小区,涉及玉龙县、古城区(丽江)、宁蒗县。具山区、平坝、河谷、峡谷地貌。气候、地带性土壤和植被分区同宣威富源马龙半湿润石漠化小区。

2.2.5 暖温带高中山石漠化区 涉及乌蒙山区的镇雄、威信、会泽、昭阳、鲁甸,青藏高原与横断山脉过渡区的维西县。包含4个小区。①威信镇雄湿润石漠化小区,涉及镇雄、威信县。属湿润暖温带气候,代表性土壤为黄壤,植被区域为东部(湿润)常绿阔叶林区域,东部(中亚热带)常绿阔叶地带。②会泽半湿润石漠化小区,涉及会泽县。属半湿润暖温带气候,地带性土壤为红壤。植被区域为滇中、滇东高原半湿润常绿阔叶林、云南松林区,滇东北高原高、中山云南松林草甸亚区。③维西半湿润石漠化小区,涉及维西县。气候与地带型土壤同会泽半湿润石漠化小区。植被区域为滇西横断山半湿润常绿阔叶林区。④昭阳鲁甸半干旱石漠化小区,涉及昭阳区、鲁甸县。属半干旱暖温带气候。地带性土壤为红壤。植被区域为滇中、滇东高原半湿润常绿阔叶林、云南松林区。

2.2.6 青藏高原东南缘高原温带石漠化区 涉及德钦及香格里拉市。属高原气候类型。香格里拉德钦半干旱石漠化小区,涉及德钦县、香格里拉市。属青藏高原温带气候,地带性土壤为棕壤。植被区域为青藏高原东南部山地寒温带针叶林、草甸地带。

2.2.7 金沙江燥热河谷石漠化区 涉及华坪、巧家县。位于金沙江沿岸,由于焚风效应的影响,气候干热,属“干热河谷”气候类型。华坪巧家半干旱石漠化小区,涉及华坪、巧家县。干热河谷气候,代表性土壤为燥红土。植被分区属滇中、滇东高原半湿润常绿阔叶林、云南松林区,滇中、北中山峡谷云南松林,高山栎类林亚区。

3 结论与讨论

本研究将云南省65个县域石漠化县域分为7个区域10个亚区19个小区,主要分布在滇东区、滇西北区和滇西澜沧江-怒江区。7个区域分别为北热带低山河谷盆地石漠化区、南亚热带中低山河谷盆地石漠化区、中亚热带高原山地石漠化区、北亚热带高中山石漠化区、暖温带高中山石漠化区、青藏高

原东南缘高原温带石漠化区和金沙江燥热河谷石漠化区。根据层次分析法得出评价因子的相对权重, 矩阵最大特征根为 5.062, 一致性比率为 0.021, 权数分配合理, 影响云南省县域石漠化分区的重要性因子排序为气候(0.506)、地形(0.233)、土壤(0.137)和植被(0.124)。

谷勇等^[22]依据云南省石漠化的形成机理对 65 个岩溶县分成了 3 个区域。本研究基于影响石漠化的自然因素, 运用主导因素法和叠置法使划分结果更为细致。云南石漠化区域地形复杂, 涉及青藏高原、云南高原、横断山脉、滇西纵谷区及丘陵洼地, 海拔从 4 000.0 m 变化到 76.4 m。气候复杂多样, 涉及北热带、南亚热带、中亚热带、北亚热带、暖温带、高原温带等气候带。按照不同的环境条件, 划分不同的石漠化区域, 本研究提出的云南省石漠化区域划分新体系, 是从粗放的宏观区划向精细区划迈进的创新成果, 这一区划成果使石漠化地区综合治理技术设计更具有可操作性, 下一步将对不同的石漠化区域采取的植物措施及工程措施进行深入研究。

4 参考文献

- [1] 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 Shijie. Concept deduction and its connotation of karst rocky desertification [J]. *Carsologica Sin*, 2002, **21**(2): 101 - 105.
- [2] 熊平生, 袁道先, 谢世友. 我国南方岩溶山区石漠化基本问题研究进展[J]. 中国岩溶, 2010, **29**(4): 355 - 362.
XIONG Pingsheng, YUAN Daoxian, XIE Shiyu. Progress of research on rocky desertification in South China Karst Mountain [J]. *Carsologica Sin*, 2010, **29**(4): 355 - 362.
- [3] 任扬航, 马明国, 张霞, 等. 典型喀斯特石漠化地区植被动态监测与土地利用变化的影响分析[J]. 中国岩溶, 2016, **35**(5): 550 - 556.
REN Yanghang, MA Mingguo, ZHANG Xia, et al. Dynamic monitoring of vegetation and the impact of land use/cover change in the topical karst rocky desertification areas [J]. *Carsologica Sin*, 2016, **35**(5): 550 - 556.
- [4] 王世杰, 李阳兵, 李瑞玲. 喀斯特石漠化的形成背景、演化与治理[J]. 第四纪研究, 2003, **23**(6): 657 - 666.
WANG Shijie, LI Yangbing, LI Ruiling. Karst rocky desertification: formation background, evolution and comprehensive timing [J]. *Quaternary Sci*, 2003, **23**(6): 657 - 666.
- [5] 云南省林业和草原局. 云南省石漠化状况公报[R/OL]. (2012-10-29)[2019-03-18]. <http://www.ynly.gov.cn/8415/8443/91334.html>.
- [6] BAI Xiaoyong, WANG Shijie, XIONG Kangning. Assessing spatial-temporal evolution processes of karst rocky desertification land: indications for restoration strategies [J]. *Land Degradation Dev*, 2013, **24**(1): 47 - 56.
- [7] YANG Qiyong, JIANG Zhongcheng, YUAN Daoxian, et al. Temporal and spatial changes of karst rocky desertification in ecological reconstruction region of Southwest China [J]. *Environ Earth Sci*, 2014, **72**(11): 4483 - 4489.
- [8] 韩昭庆, 冉有华, 刘俊秀, 等. 1930s-2000 年广西地区石漠化分布的变迁[J]. 地理学报, 2016, **71**(3): 390 - 399.
HAN Zhaoqing, RAN Youhua, LIU Junxiu, et al. The changing distribution of rocky desertification in the Guangxi Region, 1930s to 2000 [J]. *Acta Geogr Sin*, 2016, **71**(3): 390 - 399.
- [9] 黄先飞, 周运超, 张珍明. 喀斯特石漠化区不同土地利用方式下土壤有机碳分布特征[J]. 水土保持学报, 2017, **31**(5): 215 - 221.
HUANG Xianfei, ZHOU Yunchao, ZHANG Zhenming. Distribution characteristics of soil organic carbon under different land uses in a karst rocky desertification area [J]. *J Soil Water Conserv*, 2017, **31**(5): 215 - 221.
- [10] 李开萍, 刘子琦, 李渊, 等. 贵州毕节地区不同石漠化程度土壤理化性质特征[J]. 水土保持学报, 2017, **31**(4): 205 - 210.
LI Kaiping, LIU Ziqi, LI Yuan, et al. Physicochemical properties of soil in different rocky desertification in Bijie area of Guizhou, China [J]. *J Soil Water Conserv*, 2017, **31**(4): 205 - 210.
- [11] 蒋忠诚, 罗为群, 童立强, 等. 21 世纪西南岩溶石漠化演变特点及影响因素[J]. 中国岩溶, 2016, **35**(5): 461 - 468.
JIANG Zhongcheng, LUO Weiqun, TONG Liqiang, et al. Evolution features of rocky desertification and influence

- factors in karst areas of southwest China in the 21st century [J]. *Carsologica Sin*, 2016, **35**(5): 461 – 468.
- [12] 邓艳, 曹建华, 蒋忠诚, 等. 西南岩溶石漠化综合治理水—土—植被关键技术进展与建议[J]. 中国岩溶, 2016, **35**(5): 476 – 485.
- DENG Yan, CAO Jianhua, JIANG Zhongcheng, *et al.* Advancement in key technologies for comprehensive treatment of water, soil and vegetation resources in karst rocky desertification areas [J]. *Carsologica Sin*, 2016, **35**(5): 476 – 485.
- [13] OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, XIAO Yi, *et al.* Improvements in ecosystem services from investments in natural capital [J]. *Science*, 2016, **352**(6292): 1455 – 1459.
- [14] 王克林, 岳跃民, 马祖陆, 等. 喀斯特峰丛洼地石漠化治理与生态服务提升技术研究[J]. 生态学报, 2016, **36**(22): 7098 – 7102.
- WANG Kelin, YUE Yuemin, MA Zulu, *et al.* Research and demonstration on technologies for rocky desertification treatment and ecosystem services enhancement in karst peak-cluster depression regions [J]. *Acta Ecol Sin*, 2016, **36**(22): 7098 – 7102.
- [15] 周国富. 贵州喀斯特石漠化分布的空间差异与防治区划探讨[J]. 中国岩溶, 2006, **25**(1): 81 – 86.
- ZHOU Guofu. Discussion on the spatial diversity and prevention region of karst rocky desertification area in Guizhou [J]. *Carsologica Sin*, 2006, **25**(1): 81 – 86.
- [16] 王世杰, 张信宝, 白晓永. 南方喀斯特石漠化分区的名称商榷与环境特点[J]. 山地学报, 2013, **31**(1): 18 – 24.
- WANG Shijie, ZHANG Xinbao, BAI Xiaoyong. Discussion on nomenclature of the karst desertification regions and illustration for their environmental characteristics in Southwest China [J]. *J Mt Sci*, 2013, **31**(1): 18 – 24.
- [17] 王宇, 张贵. 滇东岩溶石山地区石漠化特征及成因[J]. 地球科学进展, 2003, **18**(6): 933 – 938.
- WANG Yu, ZHANG Gui. On the desertification and genesis of karst stone mountain area in east Yunnan [J]. *Adv Earth Sci*, 2003, **18**(6): 933 – 938.
- [18] 戴全厚, 严友进. 西南喀斯特石漠化与水土流失研究进展[J]. 水土保持学报, 2018, **32**(2): 1 – 10.
- DAI Quanhou, YAN Youjin. Research progress of karst rocky desertification and soil erosion in southwest China [J]. *J Soil Water Conserv*, 2018, **32**(2): 1 – 10.
- [19] 郑景云, 尹云鹤, 李炳元. 中国气候区划新方案[J]. 地理学报, 2010, **65**(1): 3 – 12.
- ZHENG Jingyun, YIN Yunhe, LI Bingyuan. A new scheme for climate regionalization in China [J]. *Acta Geogr Sin*, 2010, **65**(1): 3 – 12.
- [20] 《云南植被》编写组. 云南植被[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [21] 王莲芬, 许树柏. 层次分析法引论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1990.
- [22] 谷勇, 陈芳, 李昆, 等. 云南岩溶地区石漠化生态治理与植被恢复[J]. 科技导报, 2009, **27**(5): 75 – 80.
- GU Yong, CHEN Fang, LI Kun, *et al.* Ecological control of land rocky desertification and vegetation recovery in karst region of Yunnan Province [J]. *Sci Technol Rev*, 2009, **27**(5): 75 – 80.
- [23] 龙健, 江新荣, 邓启琼, 等. 贵州喀斯特地区土壤石漠化的本质特征研究[J]. 土壤学报, 2005, **42**(3): 419 – 427.
- LONG Jian, JIANG Xinrong, DENG Qiqiong, *et al.* Characteristics of soil rocky desertification in the Karst region of Guizhou Province [J]. *Acta Pedol Sin*, 2005, **42**(3): 419 – 427.
- [24] 姚家平, 李彪, 熊智, 等. 云南石漠化地区土壤性质分析[J]. 中国农学通报, 2012, **28**(10): 43 – 46.
- YAO Jiaping, LI Biao, XIONG Zhi, *et al.* Analysis on soil properties of soil rocky desertification in the karst region of Yunnan Province [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2012, **28**(10): 43 – 46.
- [25] 邓菊芬, 崔阁英, 王跃东, 等. 云南岩溶区的石漠化与综合治理[J]. 草业科学, 2009, **26**(2): 33 – 38.
- DENG Jufen, CUI Geying, WANG Yuedong, *et al.* Rocky desertification and comprehensive improvement of karst areas in Yunnan [J]. *Partacultural Sci*, 2009, **26**(2): 33 – 38.