

贵州省地质背景下的区域水土流失特征

高华端^{1,2,3}, 李锐[†]

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 712100, 陕西杨凌; 2. 中国科学院研究生院, 100049, 北京;
3. 贵州大学林学院, 550025, 贵阳)

摘要 为进行区域水土流失现状评价及趋势预测, 掌握宏观控制因子是必要的。从地质背景出发, 分析贵州省地质条件的区域特征与水土流失现状及潜在危险性的关系。结果表明, 地质条件是山区区域水土流失的重要影响因素之一, 宏观上确定了水土流失危险程度的空间分布规律。同时, 划分出6个水土流失分区, 并就其未来趋势进行了描述和评价。

关键词 地质背景; 区域水土流失; 贵州省

Characteristics of soil and water loss based on geological background in Guizhou province

Gao Huaduan^{1,2,3}, Li Rui[†]

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, 712100, Yangling, Shaanxi;
2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, 100049, Beijing; 3. Forestry College of Guizhou University, 550025, Guiyang, China)

Abstract Understanding macro controlling factors is necessary for evaluating actual soil and water loss and predicting future trend. Based on the geological background of Guizhou Province, the relationship between the geological conditions and actual soil and water loss and its potential danger was studied. The results indicate that the geological condition is one of the most important factors affecting regional soil and water loss, which determines the space distribution of soil and water loss's potential dangerous degree. At the same time, the whole province is divided into 6 sub areas of soil and water loss and their potential trends are evaluated and described.

Key words geological background; regional soil and water loss; Guizhou Province

大尺度的水土流失影响因子是低级因子的综合, 是共性和规律的体现。水土流失规律研究已经开始从微观的室内侵蚀试验、坡面流失调查过渡到小流域、中尺度流域甚至大区域的宏观范畴, 这有助于掌握全局的、地区性的水土流失特征和动态趋势。李锐利用空间信息技术研究了水土保持规划中的区域性^[1], 唐政洪对点、小区、田间、坡面和流域及区域尺度下, 土壤侵蚀模型的研究作了系统探讨^[2], 刘新华在不同尺度下, 对影响水土流失地形因子方面做

了深入研究^[3-4]。这些成果在论证水土流失过程中的尺度效应方面^[5], 说明了不同尺度下自然地理的分异性, 水土流失研究主导因子的筛选, 调查试验资料及结果的适用性等方面开了先河。

不同尺度下的土壤侵蚀, 具有不同的规律, 这种差异无论在时间或空间尺度上都是存在的。从空间尺度上看, 由于宏观监测主要着重于对区域环境有较大影响的那些空间性质, 地表的自然特性的空间演变, 如宏观监测对大面积连续分布的土壤侵蚀类

收稿日期: 2005-09-22 修回日期: 2006-05-20

项目名称: 水利部、中国科学院、中国工程院“中国水土流失与生态安全综合科学考察”

第一作者简介: 高华端(1965—), 男, 副教授, 博士生。主要研究方向: 区域水土流失研究。E-mail: ghds20ylyl@163.com

† 作者简介: 李锐(1946—), 男, 研究员。主要研究方向: 区域水土流失与环境。

型,在侵蚀动态变化较明显的地区,不同侵蚀类型、强度之间的边界进退,都是值得研究的^[6]。在水土流失成因上,一些自然条件较为复杂的地区,空间的、地带性的水土流失现象会被区域的非地带性因子控制,地质条件属于这类因子。

在基岩出露山区,土层浅薄,土壤与母质以及基岩有较强的继承性,体现出一定的非地带性特点,土壤侵蚀方式已不只局限于土壤本身,很大程度上涉及到风化及半风化层,从而造成这些地区土壤侵蚀的复杂性。张信宝对岩性与植被恢复间的关系做了大量研究,强调了岩性—土壤—植被间的关系^[7-9]。岩性与地形的组合强烈影响土壤侵蚀^[10]。陈循谦^[11]研究长江上游(云南境内)的土壤侵蚀,认为研究区内地层出露较全是影响水土流失的一个重要因素。陈宗富等^[12]提出影响水土保持的重要因素在于地层岩性的分布,水土流失的强弱与岩石的组成及地形坡度有着必然的相关性。同时,母岩、母质与土壤的颗粒组成^[13-21],不同岩性组合的地层形成土壤颗粒组成以及与土壤侵蚀的关系等方面,也有一定研究。雷孝章等^[13]在长江上游部分地区土壤侵蚀与机制研究中,根据地貌形态和土地利用差异,按集水区为单元,流域作基础,划分地块或地类,且各地块或地类的岩性、坡度、土地利用方式和植被覆盖率基本一致,强调地面物质的一致性。

对岩石的风化成土速度国外有一定研究^[14-16],但由岩石的区域分布特征,分析土壤侵蚀的空间变异性,对区域土壤侵蚀进行评价和预测鲜有报道。

笔者通过参加“全国水土流失与生态安全综合科学考察”长江上游及西南诸河的考察工作,利用贵州省1/50万地质图为底图,调查了各地县水土流失现状及趋势,同时就地质条件、土壤自然剖面、土壤性质与水土流失的关系进行了一定研究,提出了山区区域土壤侵蚀地质地貌的研究方法。

1 研究区地质地貌条件

贵州省地处云贵高原东斜坡地带,位于我国西南地区,东经 $103^{\circ}36' \sim 109^{\circ}36'$ 。北纬 $24^{\circ}35' \sim 29^{\circ}09'$ 。全省面积 17.6128 万 km^2 。境内地质地貌复杂,气候温和湿润。

在地势上,隆起于四川盆地与广西盆地之间,处于我国地势的第2级阶梯上。全境以西部为最高,中部稍低,向北、东、南3面倾斜。西部海拔 2000 m左右,中部海拔 $1000 \sim 1200$ m,北、东、南边缘河谷降至 500 m以下。赫章与水城二塘交界处非菜坪为

最高峰,海拔 2900 m,黎平水口河省界处为最低点,海拔 137 m。

高原和山地面积占全省的 89% ,丘陵和河谷盆地占 11% 。山丘之间分布着山间盆地和河谷平原,是农田集中地。

贵州属于新构造运动间歇性抬升地区,大范围自西向东倾斜抬升。西部北西向构造带抬升幅度较大,使威宁、赫章一带成为保存较完整的一级高原面;中部从六枝经安顺、贵阳、丹寨以至黎平一带抬升也较强烈,形成沿纬向展布的分水岭高地——苗岭。

同时,贵州岩溶地貌发育,岩溶地貌面积占全省面积的 73% 。受新构造运动及地质构造的影响,呈现多层性和条带性。

贵州境内各地质时代的地层出露齐全,地史时期经历多次构造运动,地质构造复杂,地貌类型多样,广为分布碳酸盐岩。地层从元古界至第四系均有出露,累计厚度超过 3 万m,前震旦系地层以碎屑沉积和浅变质岩系为主,广布于黔东南(图1)。

从古生界的寒武系至中和界的三叠系是海相沉积,以碳酸盐地层为主,特别是中上寒武统、中上石炭统、下二叠统、下中三叠的碳酸盐岩分布最为集中,但各地层各地区的分布情况则有所不同。

在地质构造上,贵州地质构造分区属“扬子准地台”一级构造单元。共分3个二级构造单元。

1)“上扬子台褶带”,约占全省面积的 $4/5$,是早古生代的拗陷区,沉积厚度达 $4 \sim 6$ km。晚古生代及其以后各时代地层也发育齐全,沉积厚度一般为 $3 \sim 5$ km。

2)“江南台隆”,铜仁、镇远、凯里、三都一线以南东部。

3)“四川中台拗”,在省内仅习水的北西小部分,地层主要是侏罗系及白垩系的陆相沉积。

基于上述地质地貌特点,在全省 17.6 万 km^2 土地面积中,山地面积占到 87% ,河谷坝地不足 3% 。全省耕地面积为 490.4 万 hm^2 ,其中 60% 以上为坡耕地,坡耕地中 40% 分布在大于 25° 的陡坡^[19]。同时,喀斯特面积分布广,达 13 万 km^2 ,占全省总土地面积的 73% 。土壤侵蚀特征是向石漠化发展,现在石漠化面积高达 1.2 万 km^2 ,占总面积的 7% ^[20]。另一方面,泥石流多发生在碳酸盐岩与砂页岩、玄武岩嵌套分布的地区。因此,贵州由于地质因子造成水土流失的空间分异明显。

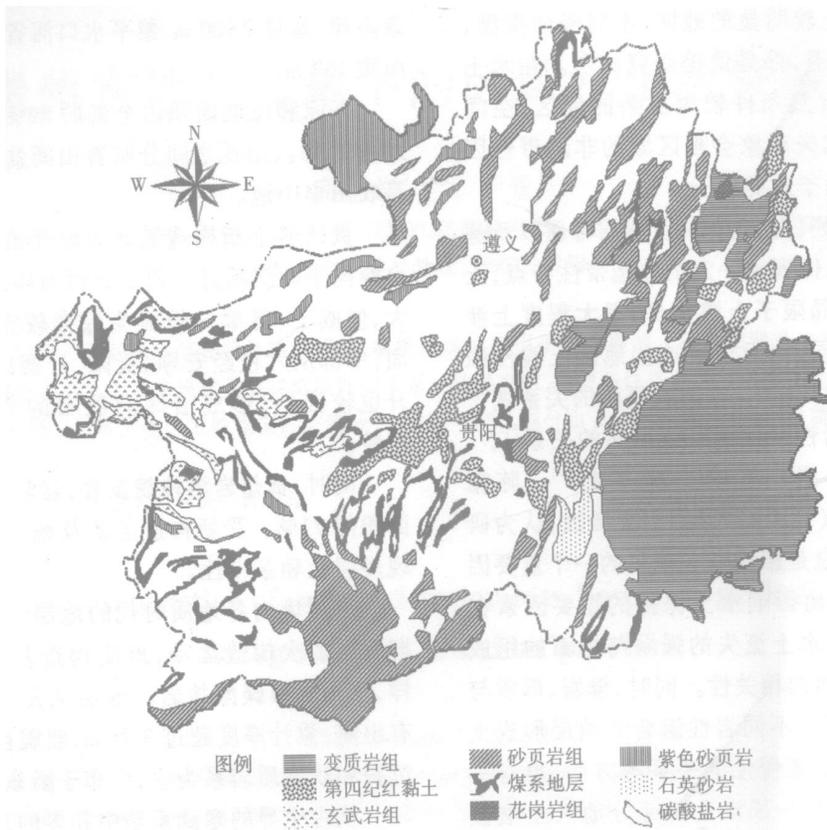


图1 贵州省岩组分布图

Fig.1 Distribution of Rock group in Guizhou Province

2 地质条件对水土流失的影响

水土流失过程就其实质而言属于一种外动力地质作用过程,是地球物质循环过程中不可逆转的一个环节,其对生态环境和人类生存条件的危害主要体现在人类活动对这一过程的加速。认识水土流失规律,规范人类行为,首先应该认识水土流失的时间及空间特征。在区域尺度,地质条件影响的综合性及规律性体现得更为明显,具体表现在以下几方面。

2.1 水土流失强度的地域规律

水土流失强度是单位面积单位时间内的土壤流失量,受降水、地形、岩石、植被、土壤及人为活动的影响,与土壤的机械物理性质及化学性质息息相关,直接指标为土壤可蚀性。

地质条件空间分异的一个主要特点是相对于人类活动时期,具有空间宏观性和不变性。这一特征有利于了解研究区的本底条件,寻求自然规律的因果关系,研究土壤侵蚀的空间变异性及未来的发展趋势。这种空间属性的影响主要由地质构造和地层岩性所决定。

地质构造是在地壳运动过程中形成的不同时代地层或岩层分布的形迹,它体现了地质体(主要是地

层)的空间分布状况和规律。地质构造在宏观尺度上控制了大地貌的类型和特征,影响岩石成土性能及地表物质和地表径流的分配,进而影响水土流失。

地层岩性对水土流失强度及石漠化有着直接的影响^[8]。水土流失区域,不论是坡面侵蚀、沟谷侵蚀或是重力侵蚀,其客体都是地块,其基础是土壤和岩石。典型的水土流失是由于在人为因素影响下而造成的外营力大于土地的抗蚀能力,从而产生地块的生产潜力退化,乃至不能使用或形成灾害的现象。它不仅属于地质过程,更应属于人类社会活动过程。土壤是在岩石风化过程和生物作用过程共同影响下形成的,具有肥力特征。土壤地带性与气候带及海陆分布状况密切相关。由于贵州各时代地层岩石出露全,土壤的形成过程很大程度上受岩石的影响,土壤机械物理性质、化学性质、抗蚀性、土壤剖面特征及土被分布情况,都受地层岩性的控制。地层岩性的空间分布规律基本体现了土壤的空间分布规律,因而区域的水土流失强度与地层岩性有密不可分的关系。根据有关土壤自然剖面调查、土壤性质研究^[22-24],特别是土壤质地、坚实度、石砾含量及抗剪强度的差异。贵州省岩性地层在水土流失强度定性地表现为如下特征:紫色砂页岩组区>玄武岩组区

> 砂页岩组区> 变质岩组区> 煤系地层区> 碳酸盐岩组区> 石英砂岩组区> 第四纪红黏土区。

2.2 水流失的潜在危险性

水土流失的潜在危险性是指由于人类不合理的活动及自然因素诱发, 可能导致土壤侵蚀及其所造成的危害或灾害的程度, 同时与现有土层厚度在目前侵蚀强度下容许的侵蚀年限有关。岩石性质、古地理古气候的演变、出露地层的地质时代、第四纪以来地貌发展过程及区域格局等, 对土层厚度及土壤侵蚀速率都有影响。如中国东南部花岗岩古地貌坡形、坡向和物质构成对现代侵蚀存在影响, 古代侵蚀地貌是现代侵蚀产生和发展的基础。在人类干扰较少时, 现代侵蚀应为正常侵蚀, 而在植被受到破坏时, 就有可能产生加速侵蚀^[25]。

出露地层的地质时代影响其在地质构造中的位置(如背斜核或翼部、向斜核或翼部), 在构造运动中受力情况不同, 造成完整性(断层、节理)不同, 因此, 相同岩性但不同时代的地质时代风化成土过程、抗蚀能力也不同。

贵州省地层岩性对水土流失潜在危险性的影响有以下几方面。

1) 大陆地形的形成时间的久远程度。如黔东南

地区主要为轻变质的板岩组成, 自早古生代以来就上升为陆, 直到今天, 遭受了近 8 亿年的风化剥蚀, 风化作用强烈, 风化壳深厚, 土层连续深厚, 这是其他地区不具有的特征。

2) 岩性差异造成土壤允许侵蚀量的不同。碳酸盐岩多为深海相沉积, 其所含不溶杂质(黏土、砂粒等)量少, 岩石成分不能通过次生作用形成新的黏土矿物, 只有通过溶解化学作用, 残留原有的少量杂质成土, 故成土速度极慢, 成土量少。成土速度远远不及土壤侵蚀速度, 故水土流失潜在危险性是最高的。第四纪红黏土是高原面上或岩溶盆地长期风化堆积的古土壤, 厚度巨大, 有的厚达 20~ 30 m, 黏粒含量高, 抗蚀力强, 而且分布地形平坦, 是水土流失潜在危险性最低的一类地层。杨子生利用已有土壤调查成果资料, 并对有机质含量、结构、渗透等级等参数的新测数据, 计算了滇东北地区碳酸盐岩、砂岩、泥质岩和玄武岩发育土壤的可蚀性因子 K 值, 反映了这几类岩石在土壤侵蚀响应方面的差异。安和平^[26]研究了北盘江中游地区土壤抗蚀性发现, 岩石性质对大于 0.25 mm 的土壤水稳性团粒含量是: 石灰岩> 粉砂岩、泥页岩> 砂页岩> 玄武岩> 紫色砂页岩。

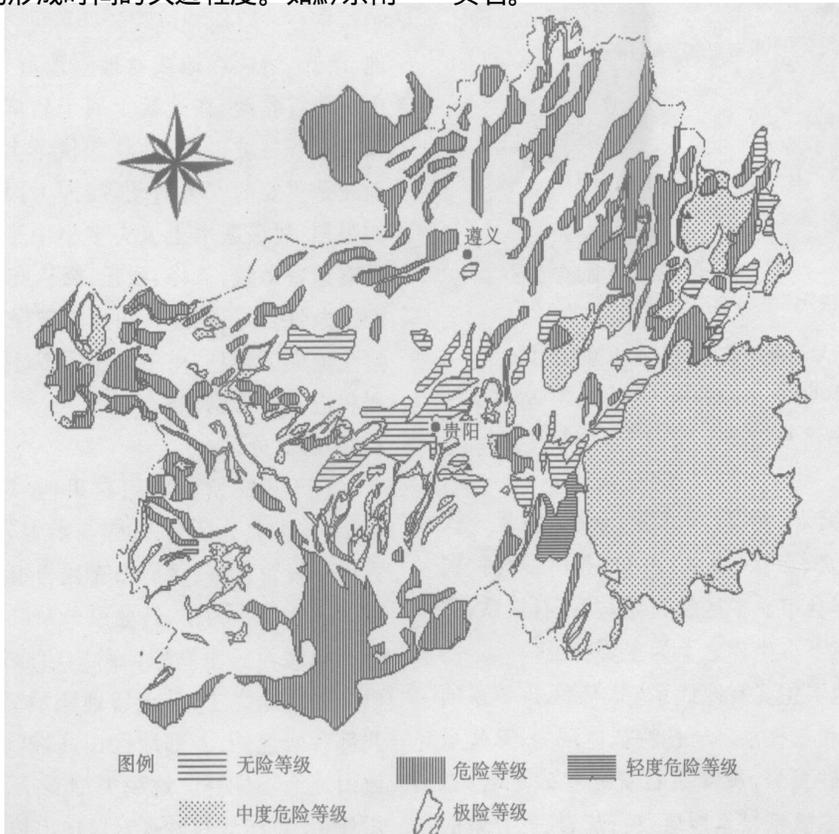


图 2 贵州省水土流失潜在危险等级分布

Fig. 2. Distribution of potential dangerous degree of soil erosion in Guizhou Province

综合各类因子,可以得出贵州省水土流失潜在危险性在岩石性质上的反映顺序是:碳酸盐岩组区 > 紫色砂页岩组区 > 玄武岩组区 > 砂页岩组区 > 变质岩组区 > 煤系地层区 > 石英砂页岩组区 > 第四纪红黏土区。按侵蚀速度及成土速度和成土量的关系,可以将碳酸盐组定为极危险等级,紫色砂页岩组、玄武岩组、砂页岩组为危险级,变质岩组、煤系地层为中度危险级,石英砂页岩组为轻度危险级,第四纪红黏土为无险级(图 2)。

3 地质背景下的水土流失空间变异特征

根据贵州省地质条件在空间上的分异按其地层出露、地质构造和地貌特点,以及对水土流失的影响,可以将全省分为 6 个区。各区在水土流失现状和潜在危险性具有其独特规律(图 3)。

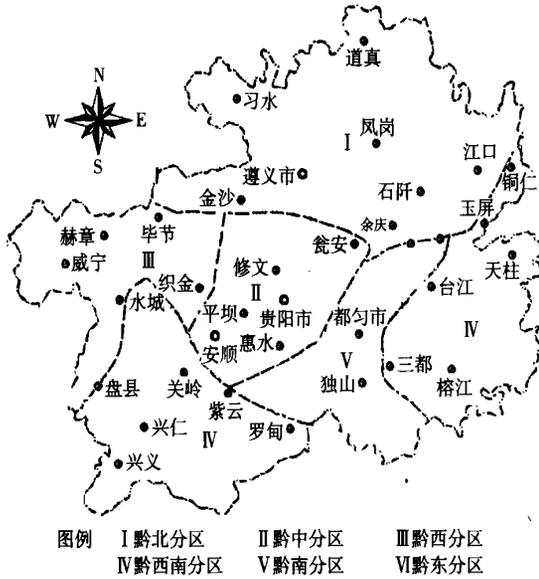


图 3 基于地质条件的贵州省水土流失分区
 Fig. 3 Distribution of soil erosion based on geological conditions in Guizhou province

3.1 黔北分区

位于玉屏、施秉、瓮安、乌江渡、金沙、毕节一线以北,主要有道真、赤水、习水、正安、务川、沿河、桐梓、仁怀、印江等县市。本区缺失泥盆系、石炭系,致使二叠系超覆在下古生界之上为主要特征。

本区出露地层主要有寒武系、奥陶系、志留系的中下统、二叠系和三叠系。岩性特征体现为:寒武系深色的白云岩、砂页岩,奥陶系石灰岩和砂页岩,志留系的砂页岩,二叠系煤系地层及石灰岩,三叠系的石灰岩、白云岩和少量砂页岩,其中,砂页岩比例近 50%~60%。由于该区地貌上属中山峡谷区,地形

切割强烈,二叠系、三叠系的碳酸盐岩多处于河间地块,且多以向斜山的形式出现,故本区岩溶现象不明显。另一方面,大面积的砂页岩分布于河谷谷坡上,属当地的主要农业用地,同时也是水土流失严重的区域。

通过对乌江流域 10 多年的调查研究(“七五”“八五”“九五”期间),本区砂页岩分布区域岩石风化快速,易于成土,同时其抗水力侵蚀力弱,水土流失严重,对自然土壤剖面的调查表明了这一点(一般土层厚度多在 30~50 cm 之间,石砾含量高,土壤紧实度低,侵蚀沟密度大)。其碳酸盐岩分布区,由于地质构造及地层时代的影响,溶蚀风化也很彻底,许多地方已属于第四系红黏土。就水土流失现状而言,这一分区虽然危险性不大,但流失的程度很高,是乌江流域及赤水河流域的重点产沙区,应该引起重视。

3.2 黔中分区

其西线以马场、织金、金沙一线为界,西南界为马场、江龙场、紫云沿线,东南线在紫云、惠水、瓮安沿线,北与黔北分区接壤。本区以缺失志留系、泥盆系,大部地区缺失奥陶系、石炭系为主要特征。

本区二叠系三叠系地层广布,以碳酸盐岩出露为主,间夹煤系地层。岩溶发育,约占总面积的 80% 左右。喀斯特地貌随处可见,多呈岩溶峰丛、洼地、溶丘、溶蚀谷地或盆地等地形,也有一定面积的山间河谷盆地,在地貌上属于岩溶化高原丘陵。除乌江河谷谷坡以外,地势起伏不大。煤系地层分布地段是主要的农事活动区,人为因素对水土流失影响强烈,故该区水土流失多集中于煤系地层分布区及喀斯特地貌(孤峰、残丘、峰丛或峰林)。由于社会经济条件较好,喀斯特山地植被保存率较高,属轻度水土流失区,但如果不加快生态环境建设,石漠化过程将进一步加剧。

3.3 黔西分区

位于乐民所、盘县、白果树、以角、冷坝沿线之西,北与黔北分区交界,东与黔中分区接壤。本区上古生界发育良好,峨眉山玄武岩组广厚,上二叠系煤系以陆相沉积为主,三叠系分布广泛。

地貌为云南高原向黔中山原过渡的斜坡地带,以高原山地为主,是全省地势最高地区。区内除西北部和西部外,大部地区山高坡陡,地势起伏大,高原山地地貌显著。地貌类型复杂,不仅有岩溶峰丛山地、丘陵洼地和砂页岩侵蚀山地,还有玄武岩方山台地、锥状山地和断裂谷地,属乌江流域上游地区。

由于三叠系海相地层广布,碳酸盐岩石出露面

积大(占70%左右),喀斯特地貌发育。水土流失主要体现为喀斯特地区的石漠化、玄武岩地区的面蚀及混合侵蚀(泥石流等)、砂页岩及煤系地层的面积状侵蚀。由于社会经济条件落后,人口密度大,水土保持意识不强,属全省水土流失程度最高的区域。

3.4 黔西南分区

主要为关岭、晴隆、兴仁、贞丰、兴义、安龙、望漠和册亨等县,即普安以南、望漠以西、南北盘江以北地区。地貌以山原丘陵盆地为主,地势北高南低、西高东低。主要出露地层为二叠系、三叠系地层,其与黔西分区的差异体现为缺少二叠系下统的峨眉山玄武岩组。

南北盘江及马别河沿岸为砂页岩中低山河谷或岩溶峰丛山地,其余多为岩溶山原丘陵盆地和峰丛槽谷,岩溶湖泊分布较广。

在水土流失方面,本区除南北盘江沿岸有部分砂页岩区常态水力侵蚀、滑坡、坍塌等外,多属喀斯特石漠化严重地区,退耕还林、封山育林、生态修复是该区的水土流失治理途径。

3.5 黔南分区

苗岭中段以南地区,以山地、河谷为主。其东部独山、平塘、荔波一带为碳酸盐岩分布区,岩溶地貌十分发育,峰丛山地、峰林洼地、暗河伏流分布普遍,基岩裸露面积大,水土流失为石漠化严重地区。西部罗甸、望漠一带以砂页岩为主,沟谷水系发育,地表起伏较大,为低山河谷地貌。由于地形切割较大,岩石土壤抗蚀力弱,水土流失严重,以面蚀为主,伴以沟蚀和重力侵蚀。

3.6 黔东分区

为梵净山、雷公山一线以东地区。地势西高东低,全区河谷发育、水文网密集、地表切割破碎,山地和丘陵地貌显著。广泛分布着前震旦系的浅变质岩层(板岩、变余砂岩等)。

本区自古生代早期开始上升为陆,习称“江南古陆”南端。由于长期(近8亿年)的风化剥蚀,半风化层深厚,风化裂隙发育,据雷公山自然保护区考查资料,地表以下30~40m仍可发现风化、构造型裂隙。故而地表切割深、地形坡度陡、松散沉积物厚,土层发育良好(一般土壤剖面厚度大于80cm)。

由于本区具有良好的地下水贮存、运移条件,地下水埋藏丰富。特有的土壤、水文及气候特征致使该区成为林木生长的优良环境,是贵州杉木等用材林的生产基地。同时,也由于这种特殊性,人们极少关注这里的水土流失问题。随着人类活动的增加,

社会的发展,用材林木、薪炭材用量的增大(本区煤矿资源缺乏),加上森林资源的不合理利用,地表林草覆盖率正在减少,如果地表植被破坏到一定程度时,将变为贵州省水土流失最为严重的地区,成为“贵州的黄土高原”;因此,本区虽然在现阶段还未体现出水土流失的危害性,但却具有相当高的潜在危险性。

4 结论与讨论

水土流失的地质尺度效应在贵州省表现为上述分区格局,是地质作用在地史上和现阶段的反映。可以看出,水土流失强度和水土流失潜在危险性在空间分布有一定差异。水土流失强烈地区主要分布在赤水河流域、乌江流域下游、毕节地区及六盘水地区的煤系地层和玄武岩区;而极危险区域整体分布于黔南、黔西南地区及毕节地区。

大尺度水土流失研究,除了地形、降水等区域因子外,应加强地面物质组成的空间变异性研究。进一步深入对成土母质、岩石以及地质构造等因子的探讨,有助于掌握石质山区地面产流、侵蚀及发展趋势方面的机制。与黄土地区较成熟的土壤侵蚀研究对比,石质、土石山地的区域土壤侵蚀预测预报研究在方法和技术路线上有其特殊性。就目前而言,地质条件所形成的地面物质组成成分对水土流失的影响,较为准确的定量资料较少,这类研究有待进一步深入。

5 参考文献

- [1] 李锐,杨勤科.空间信息技术在水土保持规划中的应用.水土保持通报,1996,16(1):114-117
- [2] 唐洪政,蔡国强,许峰,等.不同尺度条件下的土壤侵蚀实验监测及模拟研究.水科学进展,2002,13(6):781-787
- [3] 刘新华,张晓萍,杨勤科,等.不同尺度下影响水土流失地形因子指标的分析与选取.西北农林科技大学学报:自然科学版,2004,32(6):107-110
- [4] 刘新华,杨勤科,汤国安.中国地形起伏度的提取及在水土流失定量评价中的应用.水土保持通报,2001,21(1):57-59,62
- [5] 王飞,李锐,杨勤科,等.水土流失研究中尺度效应及其机理分析.水土保持学报,2003,17(2):167-180
- [6] 郭索彦,许峰,李智广.土壤侵蚀宏观监测.中国水土保持科学,2003,1(4):6-9
- [7] 张信宝,陈玉德.云南元谋干热河谷区不同岩土类型荒山植被恢复研究.应用与环境生物学报,1997,3

- (1): 13-18
- [8] 张信宝. 造林困难地区植被恢复的科学检讨及建议. 人民长江, 2004, 35(10): 6-7, 10
- [9] 张信宝, 安芷生, 陈玉德. 半干旱区植被恢复与岩土性质. 地理学报, 1998, 53(增刊): 134-139
- [10] 张信宝, 柴宗新, 汪阳春. 黄土高原重力侵蚀的地形与岩性组合因子分析. 水土保持通报, 1989, 9(5): 40-44
- [11] 陈循谦. 长江上游(云南境内)的土壤侵蚀. 水土保持学报, 1990, 4(3): 71-79
- [12] 陈宗富, 周德全. 毕节杨家湾地区水土流失与地层岩性关系的初步探讨. 贵州地质, 1991, 8(1): 83-88
- [13] 雷孝章, 黄礼隆. 长江上游部分地区土壤侵蚀与机制探讨. 四川林业科技, 1991, 12(4): 9-16
- [14] Dus Zaehar. Soil Erosion. Developments in soil science (I). New York: [s. n.], 1982: 281-287
- [15] Earl B Alexander. Rates of soil formation from bedrock or consolidated sediments. Physical Geography, 1985, 6(1): 25-42
- [16] Ritchie J C, Nearing M A, Nichols M H, et al. Patterns of soil erosion and re deposition on Lucky Hills Watershed, Walnut Gulch experimental watershed, Arizona. CATENA JUN 30 2005, 61(2/3): 122-130
- [17] 蒋顾清, 李青云. 长江上游紫色岩土特性与水土流失的关系. 长江科学院院报, 1995, 12(4): 51-57
- [18] 王玉宽, 文安邦, 张信宝. 长江上游重点水土流失区坡耕地土壤侵蚀的¹³⁷Cs 法研究. 水土保持学报, 2003, 17(2): 77-79
- [19] 林昌虎. 贵州山区坡耕地的利用与保护. 水土保持通报, 1992, 12(4): 43-47
- [20] 林昌虎, 朱安国. 贵州喀斯特山区土壤侵蚀与防治. 水土保持研究, 1999, 6(2): 109-113
- [21] 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空间分析. 生态学杂志, 2005, 24(5): 551-554
- [22] 高华端. 贵州岩溶地区地质条件对水土流失的影响. 山地农业生物学报, 2003, 22(1): 20-22
- [23] 高华端. 乌江流域土壤物理特性研究. 贵州农学院丛刊, 1994(1): 98-103
- [24] 徐燕, 龙健. 贵州喀斯特山区土壤物理性质对土壤侵蚀的影响. 水土保持学报, 2005, 19(1): 157-159, 175
- [25] 周学军, 夏卫生. 我国东南部花岗岩古地貌与现代侵蚀关系的研究. 中国水土保持科学, 2004, 2(2): 28-34
- [26] 安和平. 北盘江中游地区土壤抗蚀性及预测模型研究. 水土保持学报, 2000, 14(4): 38-42

(上接第 25 页)

- [6] 黄明斌, 康绍忠, 李玉山. 黄土高原沟壑区森林和草地小流域水文行为的比较研究. 自然资源学报, 1999, 14(3): 226-231
- [7] 贺康宁, 张学培, 赵云杰, 等. 晋西黄土残塬沟壑区防护林热收支特性及蒸散研究. 北京林业大学学报, 1998, 20(6): 7-13
- [8] 高人. 辽宁东部山区几种主要森林植被类型水量平衡研究. 水土保持通报, 2002, 22(2): 5-8
- [9] 于志民, 王礼先. 水源涵养林效益研究. 北京: 中国林业出版社, 1999
- [10] 魏天兴, 朱金兆, 张学培, 等. 晋西南黄土区刺槐油松林地耗水规律的研究. 北京林业大学学报, 1998, 20(4): 36-40
- [11] 熊伟, 王彦辉, 程积民, 等. 不同植被覆盖条件下土壤水分蒸发的比较. 中国水土保持科学, 2005, 3(3): 65-68
- [12] 郭忠升, 邵明安. 半干旱区人工林草地土壤旱化与土壤水分植被承载力. 生态学报, 2003, 23(8): 1640-1647
- [13] 魏天兴, 朱金兆. 黄土区人工林地水分供耗特点与林分生产力研究. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(4): 45-51
- [14] 胡振华, 王治国. 晋西黄土残塬区坡面的日蒸散模型. 中国水土保持科学, 2003, 1(1): 95-98