

基于土壤侵蚀的贵阳市喀斯特地区基岩层间节理研究

袁 靓, 高华端, 张旭贤, 韦海霞

(贵州大学 林学院, 贵阳 550025)

摘 要:基岩层间节理研究是探索喀斯特地区土壤侵蚀机理的前提与基础。运用 ArcGIS 9.3 软件对贵阳市地层资料进行分类、归并、统计,并根据层理类型划分标准,选取层间节理频度 I 级、II 级、III 级、IV 级、V 级为分类指标。在一定比例尺地质图的基础上,按照统计资料,对地质图进行数字化,进一步形成贵阳市层间节理频度分布图、贵阳市碳酸盐岩分布图。结果表明:贵阳市喀斯特地区白云岩面积占全市总面积的 36%,石灰岩面积占全市总面积的 43%;基岩层间节理频度有 I 级、II 级、III 级,其中 I 级占总面积的 15%,II 级占总面积的 20%,III 级占总面积的 44%;贵阳市石灰岩地区,层间节理频度不同等级所占的面积由高到低依次为:III 级>I 级>II 级,而白云岩地区,层间节理频度不同等级所占的面积由高到低依次为:III 级>II 级>I 级;贵阳市石灰岩地区易形成高频度层间节理。

关键词:土壤侵蚀;层间节理;喀斯特地区;贵阳市

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)05-0167-04

Research on the Interlayer Joints of Bedrock in the Karst Region of Guiyang City Based on Soil Erosion

YUAN Jing, GAO Hua-duan, ZHANG Xu-xian, WEI Hai-xia

(College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: The study on bedrock interlayer joint is the premise and basis to examine the soil erosion mechanism in Karst region. ArcGIS 9.3 software was used to classify, merge, and count the stratigraphy data of Guiyang City, and according to the classification standard of the type of the interlayer joint, the interlayer joint frequency with grade I, II, III, IV, V as the classification index was selected. On the basis of a certain scale geological map, the geological map was digitalized according to the statistical data, the interlayer joint frequency distribution map and the carbonate distribution map of Guiyang City were formed. The results showed that the dolomite area accounted for 36% of the total area in Guiyang Karst region, and the limestone area took up 43% of the total area in Karst region of Guiyang. The interlayer joint frequencies of bedrock were grade I, II, III among which grade I took up 15% of the total area, grade II accounted for 20%, and grade III accounted for 44%. In limestone area of Guiyang, the distribution area order of interlayer joint frequency of different levels from high to low was grade III > grade I > grade II; the order was grade III > grade II > grade I in dolomite area. The high frequency of the interlayer joint frequency was readily formed in the limestone area of Guiyang City.

Key words: soil erosion; interlayer joints; Karst region; Guiyang City

石漠化是西南喀斯特地区的主要环境问题之一,石漠化主要源于生态破坏及土壤侵蚀。喀斯特石山区生态环境脆弱,成土速度慢,土壤分布零星、浅薄,土壤和基岩的相互依存度低,基岩裸露率高,植被覆盖率低^[1-4],宏观结构面发育的碳酸盐岩内常形成大的溶缝、管道及巨型不规则地下空间^[5],裂隙十分发

育,地表水、地下水丰富^[6],坡面上接受的降雨只有不到 50% 转为地表径流^[7]。植被防止土壤侵蚀的作用主要包括对降雨能量的消减作用、保水作用和抗侵蚀作用^[8-11],而喀斯特地区基岩裸露区几乎无植被覆盖。目前,喀斯特地区的土壤侵蚀研究刚刚起步,许多学者采用人工降雨模拟试验来研究降雨入渗产流

收稿日期:2012-05-29

修回日期:2012-06-29

资助项目:国家自然科学基金“喀斯特坡耕地产流产沙特征及过程研究”(41061029)

作者简介:袁靓(1988—),女(土家族),贵州省思南县人,硕士研究生,主要研究方向:水土保持。E-mail:Jodie-0932@163.com

通信作者:高华端(1965—),男,贵州省织金县人,教授,博士,硕士,主要研究方向:区域水土保持与环境。E-mail:gdghd110@163.com

产沙规律及土壤侵蚀过程^[12-16],高华端^[17]提出层间节理在地表地下水循环过程中起重要作用,杨智^[18]在对典型喀斯特裸坡面径流过程进行人工降雨模拟试验时,将地下孔裂隙度考虑了进去。整体上,喀斯特地区的土壤侵蚀研究还比较薄弱,现阶段的研究成果不能较好的反映该地区土壤侵蚀的真实过程,其主要原因在于该地区土层浅薄,基岩各种节理裂隙对土壤侵蚀过程影响明显,而基岩节理裂隙对土壤侵蚀的影响研究几乎为空白。本文以贵阳市为研究对象,在收集相关的地质信息基础上,结合野外调查,研究贵阳市喀斯特地貌分布范围内的层间节理裂隙特征,以期对类地区今后的土壤侵蚀研究提供有价值的参考。

1 研究区概况

贵阳市位于贵州省中部,地处云贵高原的东斜坡上,属全国东部向西部高原过渡地带,地处东经 $106^{\circ}07'—107^{\circ}17'$,北纬 $26^{\circ}11'—27^{\circ}22'$,长江与珠江分水岭地带。地形、地貌走势大致呈东西向延展,地势起伏较大,南北高,中部低。中部层状地貌明显,主要有贵阳—中曹司向斜盆地和白云—花溪—青岩构成的多级台地及溶丘洼地地貌。全市土地总面积 $8\,034\text{ km}^2$,奇特的喀斯特地貌大量分布,既有高原山地和丘陵,又有盆地和河谷、台地,峰丛与碟状洼地、漏斗、伏流、溶洞发育。南明河自西南向东北纵贯市区,流域面积约占市区总面积的 70% 。贵阳市处于费德尔环流圈,常年受西风带控制,属于亚热带湿润温和型气候,兼有高原性和季风性气候特点,年平均气温为 15.3°C 。贵阳境内土壤以酸性黄壤为主。与石灰岩、白云岩、砂岩、页岩等交错分布,形成酸性土壤,也发育了各种酸性土壤植物群落。地带性植被为中亚热带湿润性常绿阔叶林,城区原生植被已经完全被破坏。以壳斗科、樟科、山茶科为主的阔叶林,在乌当区百宜乡、花溪区高坡苗族自治乡等远郊区及“三县一市”边远深山尚有小面积残存。

2 研究方法

2.1 野外调查

基于已有研究资料,对研究区不同地层、不同岩性及不同构造部位进行野外地层节理裂隙调查。采用剖面线的方式对地层节理裂隙进行密度、频度统计。

2.2 数据处理

根据研究区地层出露情况,划分碳酸盐岩及非碳酸盐岩区,在碳酸盐岩区进一步划分石灰岩与白云岩区;按地层真厚度确定碳酸盐岩地层层理分类标准及

层间节理分类标准。在 ArcGIS 9.3 平台下,对研究区地质图进行坐标校正、剪切、拼接。根据统计的地层资料,在拼接后的图件上,对贵阳市范围内的地质图进行矢量化、拓扑、属性编辑与图件提取,形成贵阳市碳酸盐岩分布图、贵阳市层间节理频度分布图,从而分析贵阳市碳酸盐岩地区层间节理分布特征和规律,及其对土壤侵蚀的影响。

3 结果与分析

3.1 研究区碳酸盐岩的主要出露地层

研究区地层自前震旦系板溪群至第四系均有出露,其中非碳酸盐岩和碳酸盐的面积分别占全市面积的 21% 和 79% 。碳酸盐岩地层分布情况为:白云岩主要分布在陡山沱组(Zbd)、灯影组(Zbdn)、高台组(ϵ_2g)、石冷水组(ϵ_2s)、娄山关群($\epsilon_{2-3}ls$)、桐梓组(O_1l)、高坡场组第一段(D_3g^1)、高坡场组第二段(D_3g^2)、谷脚组(T_1g)、谷脚组第一二段(T_1g^{1-2})、安顺组(T_1a)、花溪组(T_2h)、松子坎组(T_2s)、贵阳组(T_2gy)、三桥组(T_3s)、二桥组(T_3e);石灰岩主要分布在红花园组(O_1h)、牛蹄塘组(ϵ_{1n})、金顶山组(ϵ_{1j})、清虚洞组(ϵ_{1q})、岩关组革老河段(C_1y^1)、大塘组上司段(C_1d^1)、大塘组(C_1d)、摆佐组(C_1b)、黄龙群(C_2hn)、马平群(C_3mp)、栖霞组(P_1q)、栖霞组第一段(P_1q^1)、茅口组(P_1m)、长兴组(P_2c)、大冶组(T_1d)、夜郎组(T_1y)、茅草铺组(T_1m)、茅草铺组第一段(T_1m^1)、青岩组(T_2q)、狮子山组(T_2sh)。

碳酸盐岩系是以碳酸盐岩岩层为主题的地层单位,其中还包括非碳酸盐岩岩层,这些岩层无疑是由非可溶性的岩石组成的。碳酸盐岩系的层组特征,就是指地层单位中碳酸盐岩岩层与非碳酸盐岩岩层之间的组合关系^[19]。从地质历史上看,贵阳的碳酸盐岩系不仅分布广泛,而且发育的地层也较多。碳酸盐岩分布图(附图 12)反映了贵阳市不同岩性的分布情况,在碳酸盐岩中,白云岩的面积占全市总面积的 36% ,石灰岩的面积占全市总面积的 43% 。

3.2 层理及层间节理频度分类

按照常规层理类型划分依据,层理分为薄层、中层、厚层、巨厚层、块状,相应地,层间节理频度划分为 5 个等级,从高到低依次为 I 级、II 级、III 级、IV 级、V 级,对应的节理裂隙条数分别为 ≥ 10.0 条/m, $9.9 \sim 3.0$ 条/m, $2.9 \sim 2.0$ 条/m, $1.9 \sim 1.0$ 条/m;层间节理频度为 V 级的,其节理裂隙条数为 < 1.0 条/m(表 1)。

表 1 层间节理频度划分

岩层厚度	岩层厚度 值/cm	节理裂隙条数/ (条·m ⁻¹)	层间节理 频度
薄层	10	≥10	I 级
中层	10~30	9.9~3.0	II 级
厚层	30~50	2.9~2.0	III 级
巨厚层	50~100	1.9~1.0	IV 级
块状	>100	<1.0	V 级

根据以上标准进行制图统计,结果表明,研究区碳酸盐岩层理以薄层、中层、厚层为主,高频度层间节理(I 级),主要分布在清虚洞组(ϵ_{1q})、大冶组(T_{1d})、夜郎组(T_{1y})等地层,占全市面积的 15%;层间节理频度为 II 级的地层,其面积占全市面积的 20%,分布在陡山沱组(Zbd)、灯影组($Zbdn$)、高台组(ϵ_{2g})、石冷水组(ϵ_{2s})、桐梓组(O_{1l})、红花园组(O_{1h})、湄潭组(O_{1m})、独山组(D_2d)、岩关组革老河段(C_{1y}^1)、栖霞组(P_{1q})、谷脚组(T_{1g})、青岩组(T_{2g})、贵阳组(T_{2gy})、三桥组(T_{3s})、二桥组(T_{3e});层间节理频度为 III 级的地层,其面积占全市面积的 44%,分布在牛蹄塘组(ϵ_{1n})、金顶山组(ϵ_{1j})、娄山关群(ϵ_{2-3ls})、大塘组(C_{1d})、摆佐组(C_{1b})、黄龙群(C_{2hn})、马平群(C_{3mp})、栖霞组第一段(P_{1q}^1)、茅口组(P_{1m})、安顺组(T_{1a})、花溪组(T_{2h})、松子坎组(T_{2s})、狮子山组(T_{2sh})、茅草铺组(T_{1m})、茅草铺组第一段(T_{1m}^1)。其分布情况见附图 13。

已有研究表明,岩性对节理的发育有明显影响,节理的间距(或密集程度)也因岩性和岩层厚度而有所差异。石灰岩分布区,层间节理频度不同等级所占的面积由高到低依次为:III 级>I 级>II 级,而白云岩地区,层间节理频度不同等级所占的面积由高到低依次为:III 级>II 级>I 级,层间节理频度为 I 级的地区,全为石灰岩;层间节理频度为 II 级的地区,白云岩所占的面积大于石灰岩;层间节理频度为 III 级的地区,白云岩所占的面积大于石灰岩(表 2—3)。由此可见,石灰岩易形成高频度的层间节理。

表 2 贵阳市不同岩性的层间节理
频度不同等级所占的面积百分比 %

岩性	I 级(薄层)	II 级(中层)	III 级(厚层)
石灰岩	35	18	47
白云岩	0	34	66

表 3 贵阳市不同等级层间节理频度
不同岩性所占的面积百分比 %

层间节理频度 (岩层厚度)	石灰岩	白云岩
I 级(薄层)	100	0
II 级(中层)	39	61
III 级(厚层)	46	54

3.3 研究区的地层层间节理的空间分布特征及土壤侵蚀响应

节理是岩石中的裂隙,是没有明显位移的断裂,也是地壳上部岩石中发育最广的一种构造,一次构造作用中形成的节理一般是有规律的。贵阳附近地层出露齐全,碳酸质岩石与非碳酸质岩石相间分布,碳酸质岩层厚度远远大于非碳酸质岩层的厚度。构造上主要是一个短轴向斜(中曹司向斜)北面,东面构造复杂,很多断层分布,如图云关、仙人洞断层、黔灵山断层等^[20]。由附图 13 可以看出,层间节理在空间上呈北偏东的带状分布,大致划分为三个条带,第一条带包括息烽县,修文县,清镇市,该区域层间节理频度以 III 级为主,I 级次之,II 级最少,清镇市南部多为 II 级;第二条带北起开阳县西部,经修文县东部,白云区西部,金阳新区西部,南至清镇市东部,该区域层间节理频度以 II 级为主,I 级次之,III 级最少;第三条带包括开阳县,乌当区,白云区,金阳新区,云岩区,南明区,小河区,花溪区,该区域层间节理频度以 III 级为主,I 级、II 级零星分布。

在碳酸盐岩地区,出露地表的岩石的节理裂隙,与该地区土壤侵蚀有着密切的关系。自然界坡度大于 0°的斜面上,会形成坡面径流。在常态地貌区域,基岩有土壤、植被覆盖,当降雨来临时,雨水一部分被植被截留,一部分被土壤吸收,另一部分下渗至土壤和岩石的孔隙中,形成地下水。当降雨强度超过了土壤的入渗率时,则开始形成地表径流。然而,在贵阳市喀斯特地区,降雨量充沛,基岩裸露区无土壤与植被覆盖,节理发育程度高。当降雨来临时,没有植被截留,没有土壤吸收,雨水直接冲刷岩石表面,开始坡面漫流阶段,这个阶段径流处于分散状态,并未普及到整个岩石表面,流速也较为缓慢;随着降雨强度的增加,漫流的范围越来越大,地表径流进入了全面漫流阶段,径流顺坡而下,经过岩石的节理裂隙,雨水下渗,形成地下水,当降雨强度超过了节理裂隙的入渗率时,地表就开始形成地表径流。节理影响地表径流的分配,加快水的迁移转化过程,减小地表径流,但同时土壤也会向节理裂隙集聚。杨智^[18]通过人工降雨模拟典型喀斯特裸坡面径流过程,发现相同雨强条件下,地下孔裂隙度由 1%增大到 5%时,地下径流量逐渐增大,地表径流量逐渐减小。由此可知,层间节理频度为 I 级的地区是高频度区,这些区域的节理极为发育,地表水经节理极易转化成地下水,层间节理减小了地表径流,岩石风化成土速度快,且成土量大,利于植被的恢复;而对于节理较为发育的 II 级区域和低频度区(III 级),岩石较为完整,地表水转化为地下水

的量相对较小,极易形成地表径流,容易导致土壤侵蚀,岩石风化成土速度慢,不利于植被的恢复。

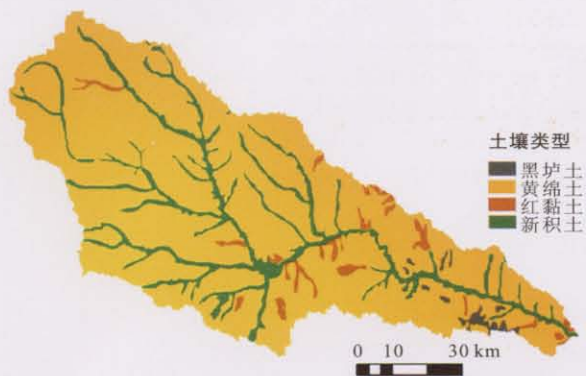
4 结论

喀斯特地区层间节理十分发育,强烈影响着地下水的存储和运移过程,并形成复杂的水文地质条件,造成了土壤侵蚀过程的复杂性,因此,地层层间节理的发育特征在很大程度上影响着土壤侵蚀结果及特征。本文通过对贵阳市喀斯特地区基岩层间节理的研究,得到以下结论:(1)贵阳市非碳酸盐岩的面积占全市面积的21%,碳酸盐岩的面积占全市面积的79%。喀斯特地区白云岩面积占全市总面积的36%,石灰岩面积占全市总面积的43%;(2)贵阳市喀斯特地区基岩层间节理频度有Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级,其中Ⅰ级占15%,Ⅱ级占20%,Ⅲ级占44%;(3)石灰岩易形成高频度的层间节理。贵阳市石灰岩地区,层间节理频度不同等级所占的面积由高到低依次为:Ⅲ级>Ⅰ级>Ⅱ级,而白云岩地区,层间节理频度不同等级所占的面积由高到低依次为:Ⅲ级>Ⅱ级>Ⅰ级;(4)层间节理频度为Ⅰ级的地区是高频度区,这些区域的节理极为发育,地表水经节理极易转化成地下水,层间节理减小了地表径流,而对于节理较为发育的Ⅱ级区域和低频度区(Ⅲ级),岩石较为完整,地表水转化为地下水的量相对较小,极易形成地表径流。

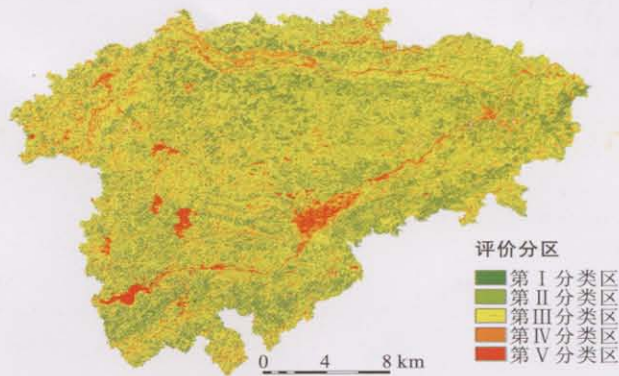
然而,层间节理只是岩石节理的一种类型,岩石在构造运动过程及风化作用过程中,形成的构造节理及风化节理仍是不可忽略的部分,因此,要从本质上研究岩石节理裂隙对土壤侵蚀的影响,需对以下几方面进行深入研究:不同地质构造部位构造节理的分布规律;不同深度构造节理及风化节理的发育程度;地形条件(主要是坡度)、岩层产状(特别是倾角)对出露的节理裂隙频度或密度的影响。

参考文献:

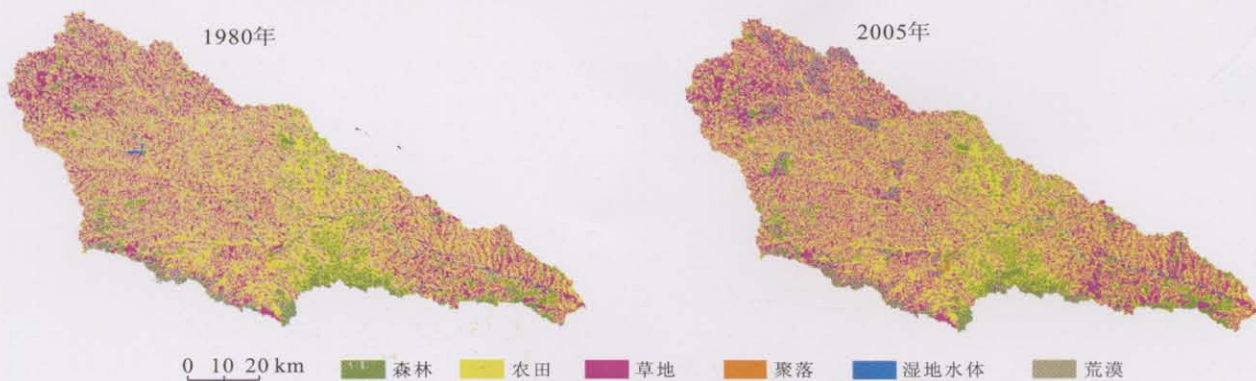
- [1] 林昌虎,朱安国. 贵州喀斯特山区土壤侵蚀与防治[J]. 水土保持研究,1999,6(2):109-113.
- [2] 郑永春,王世杰. 贵州山区石灰土侵蚀及石漠化的地质原因分析[J]. 长江流域资源与环境,2002,11(5):461-465.
- [3] 曹建华,袁道先,潘根兴. 岩溶生态系统中的土壤[J]. 地球科学进展,2003,18(1):37-42.
- [4] 赵中秋,后立胜,蔡运龙. 西南喀斯特地区土壤退化过程与机理探讨[J]. 地学前缘,2006,13(3):185-189.
- [5] 徐则民,黄润秋,唐正光,等. 中国南方碳酸盐岩上覆红土形成机制研究进展[J]. 地球与环境,2005,33(4):29-36.
- [6] 王中美,廖义玲,李明琴,等. 贵阳市水文地质条件及环境效应研究[J]. 水土保持研究,2012,19(1):226-229.
- [7] 周游游,时坚,刘德深. 峰丛洼地的基岩物质组成与土地退化差异分析[J]. 中国岩溶,2001,20(1):35-39.
- [8] 余新晓. 森林植被减弱降雨侵蚀能量的数据分析[J]. 水土保持学报,1988,2(3):91-96.
- [9] 刘向东. 森林植被垂直截留作用于水土保持[J]. 水土保持研究,1994,1(3):8-13.
- [10] 张喜,薛建辉,生原喜久雄,等. 黔中山地喀斯特森林的水文学过程和养分动态[C]// 第三届贵州省自然科学优秀学术论文评选获奖论文集. 2010.
- [11] 凡非得,王克林,雄鹰,等. 西南喀斯特区域水土流失敏感性评价及其空间分异特征[J]. 生态学报,2011,31(21):6353-6362.
- [12] 蔡雄飞,王济,雷丽,等. 不同雨强对我国西南喀斯特山区土壤侵蚀影响的模拟研究[J]. 水土保持学报,2009,23(6):5-13.
- [13] 王海斌. 不同水土保持措施下径流小区降雨与产流产沙关系研究[J]. 水土保持研究,2011,18(5):63-66.
- [14] 王明刚,李森,金昌宁. 粤北石漠化地区坡面入渗产流规律试验研究[J]. 水土保持研究,2011,18(6):57-61.
- [15] 李续峰,张兴义,刘洪家. 径流泥沙混合装置研发[J]. 水土保持研究,2012,19(1):23-26.
- [16] 陈天健,蔡和伦,黄彦荣,等. 人工降雨模型实验研究降雨入渗对滑坡类型之影响[J]. 水土保持研究,2012,19(1):254-257.
- [17] 高华端. 贵州岩溶地区地质条件对水土流失的影响[J]. 山地农业学报,2003,22(1):20-22.
- [18] 杨智,戴全厚,黄启鸿,等. 典型喀斯特坡面产流过程试验研究[J]. 水土保持学报,2010,24(4):78-81.
- [19] 车用太,鱼金子. 中国的喀斯特[M]. 北京:科学出版社,1985.
- [20] 何才华. 贵阳近郊的喀斯特[C]// 2007年全国地貌与第四纪学术研讨会. 福州,2007.



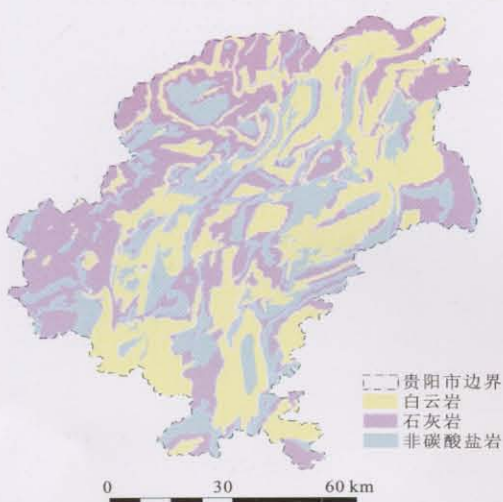
附图9 延河流域土壤类型



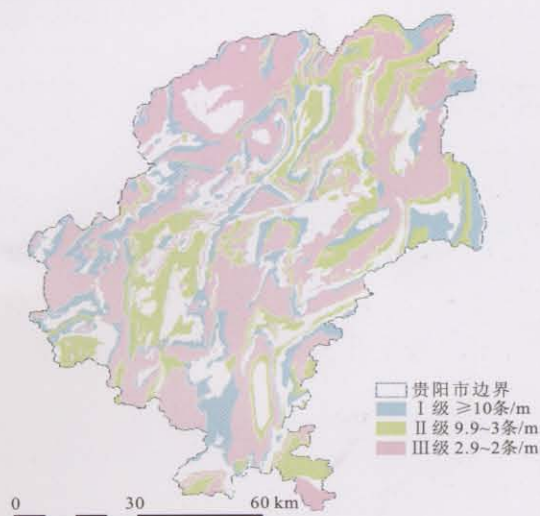
附图10 蒲江县生态环境综合评价



附图11 1980年和2005年延河流域土地利用现状



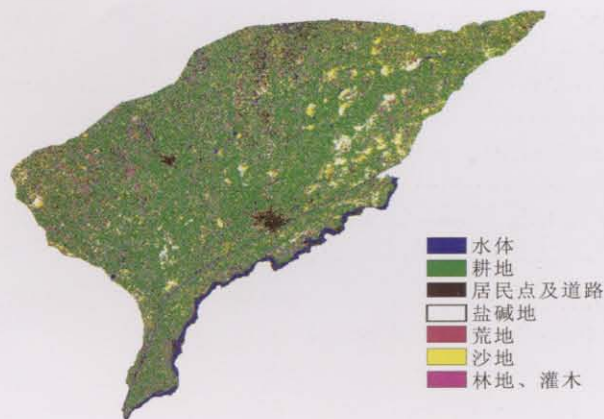
附图12 贵阳市碳酸盐岩分布



附图13 贵阳市层间节理频度分布



附图14 内蒙古河套灌区TM影像波段534波段叠加结果



附图15 内蒙古河套灌区土地利用分类