

## 云南省生态功能类型区的生态敏感性

李东梅<sup>1,2</sup>, 高正文<sup>1,2</sup>, 付晓<sup>1,\*</sup>, 吴晓青<sup>1,2</sup>, 吴钢<sup>1</sup>

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域国家重点实验室, 北京 100085; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:**结合云南省生态功能区划, 展开对全省各生态功能区的生态敏感性分析, 结果表明, 滇东地区水土流失较严重, 石漠化敏感性强度达中度以上的区域面积超过 50%; 受降水量大, 紫色土集中分布及地处石灰岩地带等自然地理因素的影响, 云南省西南大部与东南部分地区土壤侵蚀敏感性较高; 云南省的生境敏感区大多地处生态交错区, 物种丰富度高, 但生境脆弱, 一旦破坏很难恢复。改善土地利用方式, 提高农业生产技术, 发展生态农业, 控制农业污染, 开展生态恢复等, 是提高地区森林覆盖率, 减少水土流失和泥石流的发生, 防止石漠化加剧的主要手段。

**关键词:**生态功能分区; 生态敏感性; 水土流失; 石漠化

### Characteristic of ecological sensitivity in Yunnan ecological zones

LI Dongmei<sup>1,2</sup>, GAO Zhengwen<sup>1,2</sup>, FU Xiao<sup>1,\*</sup>, WU Xiaoqing<sup>1,2</sup>, WU Gang<sup>1</sup>

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract:** The characteristics on ecological sensitivity of ecological function zones were analyzed based on Yunnan ecological function regionalization in this paper. The results indicate that soil erosion was serious in the east of Yunnan. In this area, moderate and more sensitivity of rocky desertification exceeded 50%. For the reasons of natural and geographical factors, such as the concentration of purple soil in limestone region, the sensitivity of soil erosion was higher in the majority of southwestern and part of southeastern Yunnan. The zone of sensitive habitat in Yunnan Province, mostly located on the ecotone, had high species richness and fragile habitats, which are difficult to restore once they are damaged. The improvement of land utilization, enhancement of agricultural production technology, control of agricultural pollution and development of ecological restoration are the critical means of increasing forest coverage, reducing the risk of soil erosion and mudslide and preventing the aggravation of rocky desertification.

**Key Words:** ecological function regionalization; ecological sensitivity; water and soil erosion; rocky desertification

人口膨胀与经济活动的加强, 使资源开发和环境保护的矛盾日益尖锐, 在自然区划中考虑人类活动在资源开发和环境保护的地位和作用, 运用生态区划与生态制图的方法分析区域生态环境问题的成因与机制, 成为当前宏观生态学的研究热点<sup>[1]</sup>。通过分析区域内各生态因子之间、生态系统与人类活动之间的相互关系, 以及区域环境问题的形成机制和规律, 展开对区域生态环境敏感性和生态系统服务功能重要性的评价<sup>[2]</sup>, 提出区域生态环境保护 and 整治的方法与途径, 通过对生态系统服务功能和敏感性的评价, 开展生态环境的综合区划研究<sup>[3]</sup>, 揭示区域生态环境敏感特征及人类活动对生态环境的影响规律<sup>[4]</sup>, 为正确认识区域生态环境特征, 开展区域生态环境治理与进一步开展生态环境的区划工作奠定了基础<sup>[5]</sup>。我国在对生态系统敏感性的研究中, 多针对于单一的生态环境问题<sup>[6]</sup>, 如酸雨<sup>[7-8]</sup>、水土流失<sup>[9-10]</sup>、土壤侵蚀和土地沙漠化敏感性<sup>[11-12]</sup>、土

基金项目: 云南省省院省校科技合作计划资助项目(2004YX43)

收稿日期: 2008-04-18; 修订日期: 2009-02-12

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiaofu@rcees.ac.cn

壤盐渍化敏感性<sup>[13]</sup>等问题,在较大尺度的生态系统敏感性综合评价研究方面,包含了国家<sup>[2]</sup>、省<sup>[14]</sup>及区域<sup>[15]</sup>尺度上的生态环境敏感性的区域分异规律,提出区域内主要生态问题的整治对策。

云南省生态功能区划研究目的是为改善区域生态环境质量,维护区域生态安全,遏制生态环境恶化、促进自然生态系统的良性循环提供科学依据。不同生态功能区主要反映区域在水源涵养、土壤保持、生物多样性保护、天然林保护和生态农业建设等方面功能。云南省地处低纬高原区,是大江大河的上游地带,上游地区的生态保护与下游黄金经济带的生态安全密切相关;云南省的东部和东南部为大面积的石灰岩基质,是石漠化的高发区和危险区;云南省具有丰富的生物资源,是全国乃至全世界生物多样性最富集的地区之一。因此在其生态敏感性的研究方面,主要包括土壤侵蚀与石漠化敏感性和以生物多样性保护为主的生境敏感性。

## 1 研究区域概况

云南省地处中国西南边陲,东经 97°31′—106°12′,北纬 21°08′—29°15′之间,国土面积 383210km<sup>2</sup>,云南为高原山区省份,全省山地面积占总面积的 94%,地貌类型复杂,其中河谷地貌、喀斯特地貌分布面积最广。

云南属低纬高原季风气候,受到东亚季风和印度季风的交替影响,形成云南特殊的气候特点——年温差小,日温差大,干湿季分明,气温随地势高低呈垂直变化异常明显。云南水资源丰富,人均水资源为全国平均值的 2 倍,但水资源分布不均,总体趋势为南多北少,西多东少,垂直变化较明显。

云南土壤类型丰富多样,地带性土壤中以砖红壤、红壤系列的土类为主,占全省土壤面积的 56.4%,土壤垂直分布明显,并有水平地带与垂直地带交错分布的现象。云南地处泛北极植物区与古热带植物区的交汇地带,过渡色彩明显,寒、温、热三带植物并存,多古老和珍稀品种,植被呈水平和垂直地带发育,植被类型复杂,植物资源丰富。云南生态环境复杂,古老复杂的动、植物区系与独特的地理环境使云南的生物种类在有限的地域内达到了极为丰富的程度,是中国物种资源最为丰富的省份,也是具有世界意义的生物多样性关键性地区和重要的模式标本集中产地。

## 2 研究方法

### 2.1 生态环境敏感性分析

生态环境敏感性评价是根据区域主要生态环境问题及其形成机制,通过分析影响各主要生态环境问题敏感性的主导因素,评价特定生态环境问题敏感性及其空间分布特征,对区域主要生态环境问题的敏感性进行综合评价,明确特定生态环境问题可能发生的地区范围与可能程度以及区域生态环境敏感性的总体区域分异规律。敏感性评价等级分为:极敏感、高度敏感、敏感、轻度敏感和不敏感 5 级。

#### 2.1.1 土壤侵蚀敏感性评价

影响区域土壤侵蚀的主要因素包括气候、水文、地貌、土壤和植被等自然因素,以及土地利用、水土保持措施等人为因素。根据影响土壤侵蚀的各因子的敏感性分级,应用地理信息系统分别绘制降雨侵蚀力  $R$  值、地形起伏度、土壤质地和植被类型对区域土壤侵蚀的敏感性分布图,得出的土壤侵蚀敏感性的单因子分析结果。采用等权的方法,根据各项因子的敏感性分级赋值,计算土壤侵蚀敏感性综合指数,然后根据敏感性综合指数分级标准,利用地理信息系统软件得到区域土壤侵蚀敏感性评价图,并进行土壤侵蚀敏感性综合评价。

#### 2.1.2 土地石漠化敏感性评价

区域土地石漠化的主要影响因子包括,地形、地貌、植被盖度等。在其他因子条件相同的情况下,坡度在 25°以上的坡地是石漠化程度最大的区域;云南省境内的喀斯特地貌是引起石漠化的首要原因;良好的植被覆盖是防止喀斯特地貌出现石漠化的重要前提,植被的郁闭度越高,防治石漠化的效果越好。利用地理信息系统软件,采用置叠分析的方法得到区域石漠化敏感性分布图,进行石漠化敏感性综合评价。

#### 2.1.3 生境敏感性评价

生境敏感性是指重要物种的栖息地对人类活动的敏感程度。根据生境物种丰富度,即评价地区保护物种的数量评价生境敏感性,以保护物种的等级,如国家一级、国家乙级、省级保护物种等,对生境敏感性进行分级。对于生境物种丰富度高、保护物种分布广的区域,也可采用评价地区国家一、二级保护物种数量占全区国

家一、二级重点保护物种总数的比例,对生境敏感性进行分级。根据中生境敏感性分级标准,应用地理信息系统软件得到区域全省生境敏感性分布图,并对区域保护物种及其生境敏感程度进行评价。

## 2.2 云南省生态功能分区

云南省生态功能区划系统分为 3 个等级。一级区表现为云南省生物气候带,二级区划分的主要依据是占优势的中级植被分类单位(群系、群系组)的组合或结构,包括山地垂直带和非地带性植被的特点和地域差异,三级区为生态功能区,根据不同地区的生态服务功能、生态敏感性和生态脆弱性进行划分。

云南省生态功能区划三级划分的标准及主要依据见表 1。

表 1 云南省生态功能区划分依据

Table 1 The division basis of ecological function regionalization of Yunnan Province

| 功能区类型 Function zones | 图层 Map-layers | 划分标准 Standards               |
|----------------------|---------------|------------------------------|
| 生物多样性保护区             | 自然保护区分布图      | 国家级自然保护区;重要的省级保护区            |
|                      | 生境敏感性评价图      | 生境极敏感地区                      |
|                      | 植被图           | 地带性植被分布的集中的地区                |
| 水源涵养区                | 水系图           | 大流域的分水岭或河流的上游地区              |
|                      | 卫星影像图         | 流域的山脊地区                      |
|                      | 植被图           | 植被覆盖较好                       |
| 土壤侵蚀敏感区              | 土壤图           | 紫色土集中分布的地区                   |
|                      | 坡度图           | 大于 25° 的坡度在 30% 以上           |
|                      | 降雨量分布图        | 年降雨量大于 1000 mm 以上            |
|                      | 土壤侵蚀敏感性评价图    | 极敏感和高敏感的地区                   |
| 土壤保持功能区              | 坡度图           | 15° 以下的坡地占区域面积的 50% 以上       |
|                      | 土壤图           | 紫色土地区                        |
|                      | 卫星影像图         | 大流域的分水岭地带                    |
| 水土流失治理区              | 土壤图           | 紫色分布的地区                      |
|                      | 水土流失现状图       | 水土流失极为严重的地区                  |
| 河谷盆地生态农业建设区          | 土地利用现状图       | 耕地分布集中,居民点分布集中               |
|                      | 坡度图           | 坡度 15° 以下的土地面积占 80% 以上       |
|                      | 卫星影像图         | 盆地及宽谷地区                      |
| 山地丘陵生态农业及林业建设区       | 卫星影像图         | 中低山及丘陵地带                     |
|                      | 土地利用现状图       | 耕地分布较为集中,村庄分布密集              |
|                      | 坡度图           | 15—25° 和 25—30° 以上的坡地 70% 以上 |
| 石漠化敏感区               | 地质图           | 石灰岩集中分布的地区                   |
|                      | 石漠化敏感性评价图     | 极敏感和高度敏感的地带                  |
|                      | 卫星影像图         | 石漠化明显的区域                     |
| 干热河谷生态脆弱区            | 水系图           | 金沙江、元江、绿汁江等河流的相关区域           |
|                      | 热量分布图         | ≤10℃ 积温 ≤6500℃ 的地区           |
|                      | 卫星影像图         | 金沙江、元江等河流的河谷地带               |
| 高原湖盆生态脆弱区            | 卫星影像图         | 主要高原湖泊的流域区                   |
|                      | 水系图           | 主要高原湖泊的流域区                   |
| 高原湖盆生态脆弱区            | 地形图           | 海拔 4000m 以上占 50% 以上的区域       |
|                      | 坡度图           | 坡度 25° 以上的区域占优势地区            |

云南省三级生态功能区的空间分布状况如图 1 所示,其中包含 5 个一级区,分别为:(Ⅰ)季风热带北缘季节雨林、半常绿季雨林生态区;(Ⅱ)高原亚热带南部季风常绿阔叶林生态区;(Ⅲ)高原亚热带北部常绿阔叶林生态区;(Ⅳ)亚热带(东部)湿润常绿阔叶林生态区;(Ⅴ)青藏高原东南缘寒温性针叶林、草甸生态区。

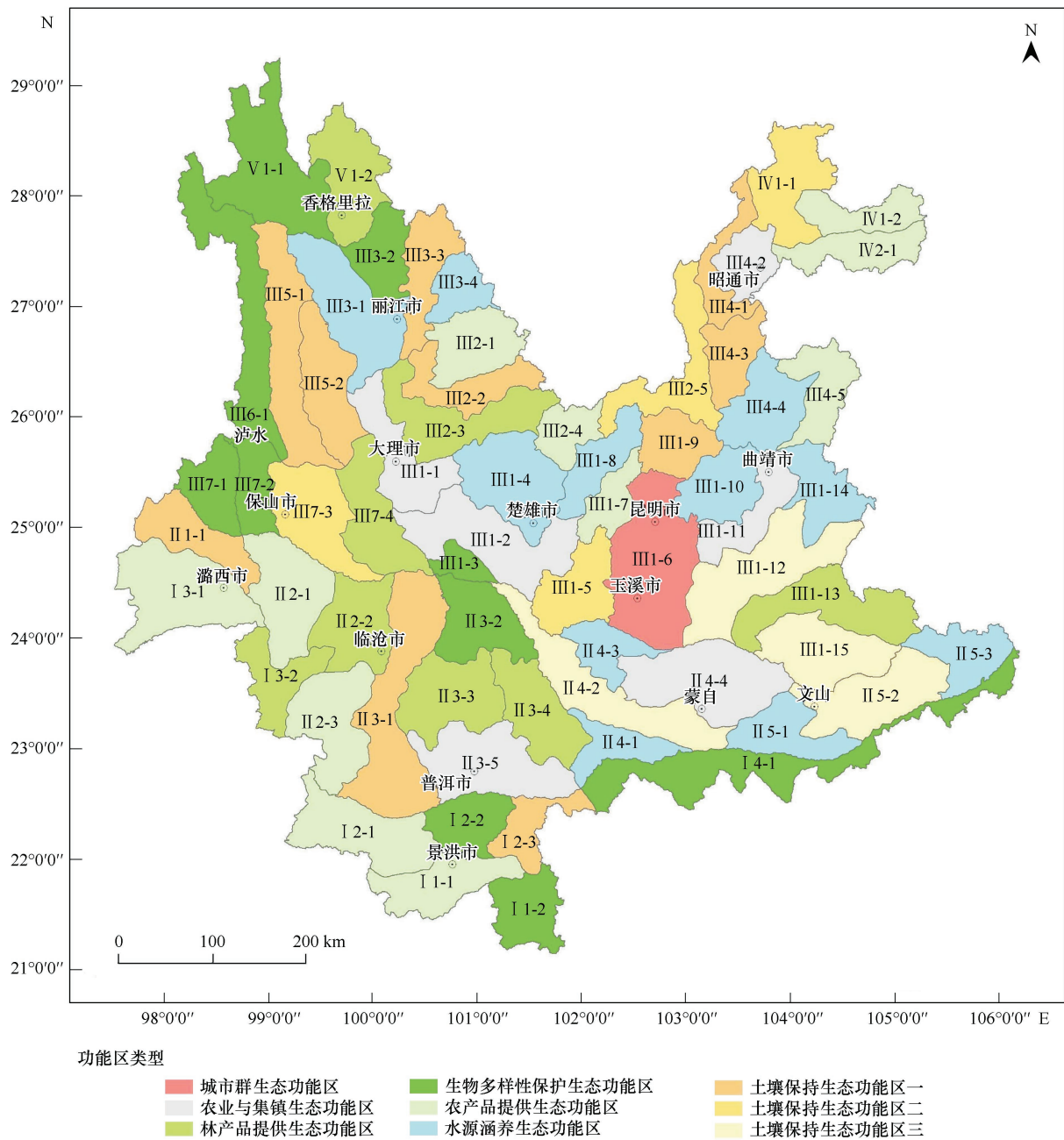


图1 云南省生态功能类型<sup>①</sup>  
Fig. 1 Ecological Function of Yunnan Province

### 3 结果与分析

#### 3.1 农产品提供生态功能区生态敏感性特征

农产品提供区总面积 60049.26km<sup>2</sup>,农产品的种植与农业经济发展过程中的农业生产方式与土地的不合理利用带来区域景观的破碎化,对区域环境产生一定程度的负面影响,各生态功能区的水土流失现状如图 2 所示。

其中宣威岩溶峰丘农业区(Ⅲ4-5)水土流失最为严重,中度及以上侵蚀的水土流失面积比例为 33.56%。由于地处石灰岩地带,以及土地的不合理利用造成该区域土壤保水保肥能力下降和石漠化,同时,矿产资源的

①地图信息来源:国家基础地理信息中心

露天开采对当地的环境造成了污染与破坏。镇雄岩溶高原农业生态功能区(Ⅳ2-1)地处石灰岩地带,土层薄,降雨量大,该区75%以上区域的土壤侵蚀敏感性在中度以上,由于人口众多,土地垦殖强度大,中度及以上侵蚀程度的水土流失面积比例达30.33%。

### 3.2 林产品提供生态功能区生态敏感性特征

林产品提供生态功能区总面积为50171.81km<sup>2</sup>,占云南省土地面积的13.1%。由于受毁林开荒、地形地貌、降雨以及地质条件等因素的影响,造成该生态区易发生水土流失,图3为各林产品提供区的土壤侵蚀敏感性。

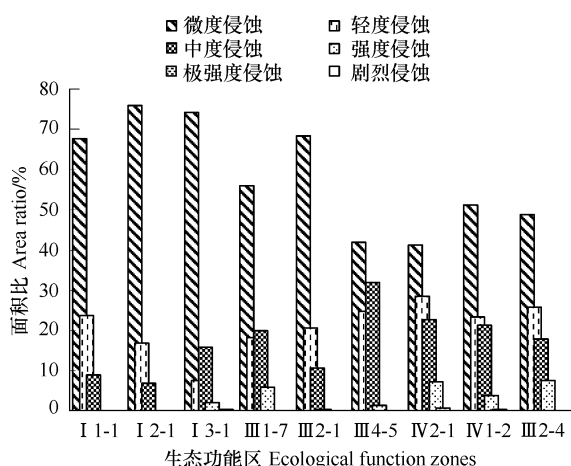


图2 云南省农产品提供生态功能区水土流失现状

Fig. 2 Water and soil erosion status of the agricultural production zones in Yunnan Province

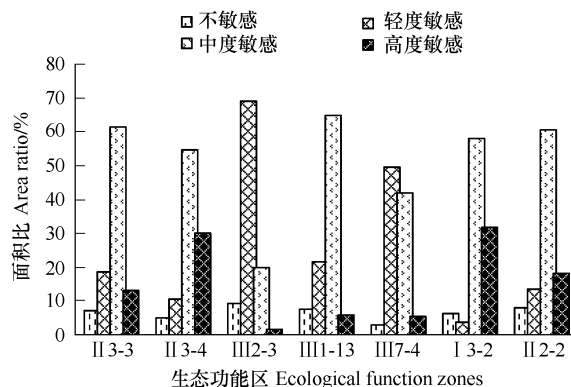


图3 云南省林产品提供生态功能区土壤侵蚀敏感性

Fig. 3 Sensitivity of soil erosion of the forest production zones in Yunnan Province

耿马南汀河岩溶低山河谷林业与水土保持区(I 3-2),地处石灰岩地带,是云南省西南部岩溶地貌分布较为集中的地区,人口稠密,土地利用强度大,土壤侵蚀敏感度高。阿墨江林业与水土保持区(II 3-4)的土壤主要为抗蚀性差的紫色土,大量的毁林开荒造成了地形的破碎化,土壤侵蚀敏感度在中度及以上的面积比例达84.67%。南汀河中山峡谷林业与水土保持区(II 2-2),为怒江下游与澜沧江中游的分水岭地带,地貌以中山峡谷为主,地处云南省多雨地带,坡度较陡、地形复杂,极易发生水土流失,土壤侵蚀敏感性在中度及以上的面积比例为78.5%,森林的大量毁坏造成区域内水源涵养功能的破坏和土壤侵蚀加重。

### 3.3 生物多样性保护生态功能区生态敏感性特征

生物多样性保护生态功能区总面积为56385.73km<sup>2</sup>,占云南省土地面积的14.7%,主要分布于I、III生态功能区。图4为各生物多样性保护区的生境敏感性程度。

生境敏感性较强的功能区均为我国重要的自然保护区或地处生态交错区,是生物多样性保护的关键地区和敏感地区,不合理的土地利用带来的生境破碎化,以及不合理的资源开发和利用有可能造成生境破坏并造成生物多样性损失。

### 3.4 水源涵养生态功能区生态敏感性特征

水源涵养生态功能区总面积为60698.64km<sup>2</sup>,分布于II、III生态区,在各水源涵养区中,土壤侵蚀敏感性较

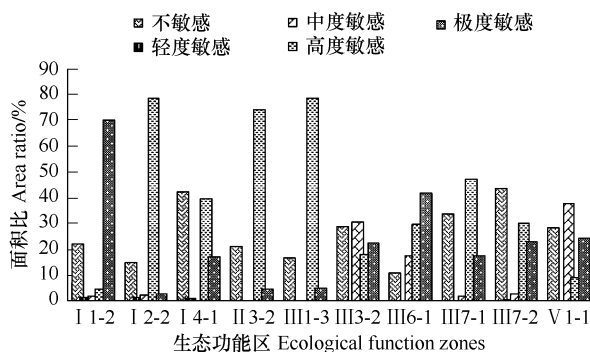


图4 云南省生物多样性保护区的生境敏感性

Fig. 4 Environmental sensitivity of the biodiversity protection zones in Yunnan Province

强的功能区主要分布于高原亚热带南部季风常绿阔叶林生态区(Ⅱ),如图5所示。

锡欧河中山峡谷水源涵养区(Ⅱ4-1)地处多雨地带和分水岭地带,对土壤侵蚀极为敏感,全区土壤侵蚀敏感度在中度及以上的区域面积占91.68%,其中高度敏感区域占33.62%,水源林的破坏和矿山开采是威胁生态安全的较大隐患。南溪河、那么果河水源涵养区(Ⅱ5-1)是滇东南石漠化敏感区的上游水源地,其主要生态功能是岩溶地区主要河流的水源涵养。土壤侵蚀敏感度中度及以上的面积比例为86.02%,人口压力大和土地利用不当带来的水土流失及石漠化是本区的生态敏感性问题。

### 3.5 土壤保持生态功能区生态敏感性特征

土壤保持生态功能区总面积达116184.28km<sup>2</sup>,是面积最大的生态功能区,其中近60%分布于生态区Ⅲ,土壤侵蚀敏感性较强的功能区主要分布于生态区Ⅱ,如图6所示。

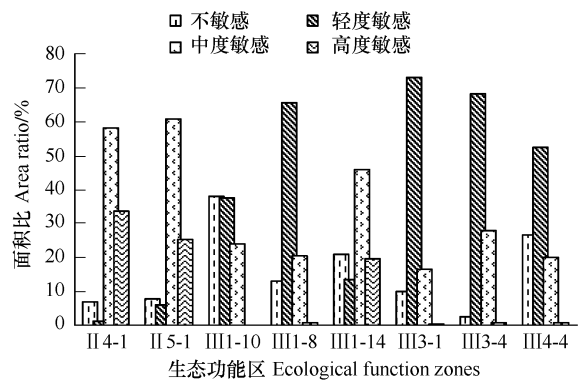


图5 云南省水源涵养区土壤侵蚀敏感性

Fig.5 Sensitivity of soil erosion of the water sources conservation areas in Yunnan Province

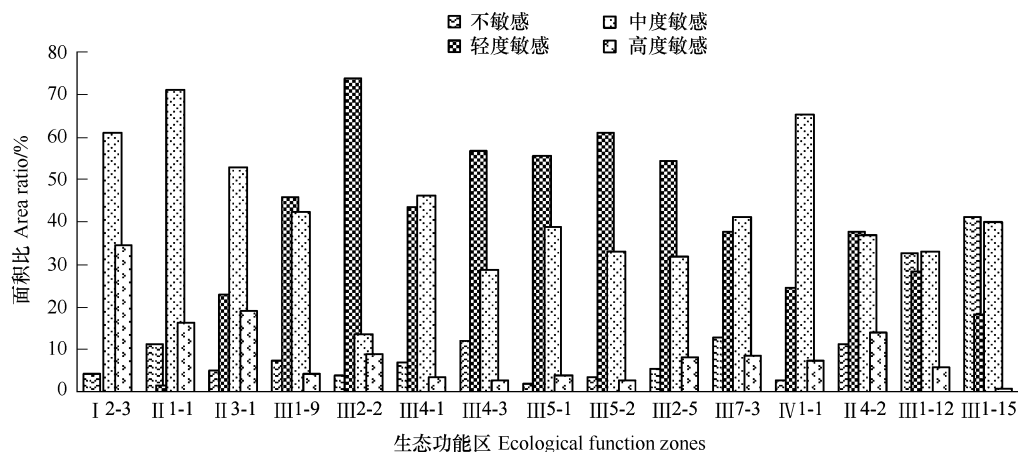


图6 云南省土壤保持区土壤侵蚀敏感性

Fig.6 Sensitivity of soil erosion of the soil conservation zones in Yunnan Province

勐腊江城低山丘陵水土保持区(Ⅰ2-3)地处云南省三大多雨区之一,降雨量较大导致土壤侵蚀敏感性较高,不合理的土地利用带来的水土流失和土地退化,以及矿山开采造成的生态环境破坏是本区的主要生态环境问题。大盈江、龙川江上游水土保持功能区(Ⅱ1-1)受大盈江,龙川水系的强烈分割,大部分为中山峡谷地貌,片麻岩,花岗岩出露较多,风化土层较疏松,在自然植被破坏后水土流失较严重,土壤侵蚀敏感性中度及以上的区域占87.26%,易发生水土流失和滑坡等生态问题。澜沧江干流中山峡谷水电资源开发与水土保持区(Ⅱ3-1)和澜沧江中游水土保持与生态修复区(Ⅲ7-3)处于澜沧江干流地带,是云南省水电资源开发的主要区域,土壤侵蚀敏感性中度及以上的区域占71.91%,水电开发带来的土壤侵蚀和生态破坏是该区主要的生态问题。

### 3.6 农业与集镇、城市群生态功能区生态敏感性特征

农业与集镇及城市群生态功能区主要分布于生态区Ⅲ,昭通鲁甸山原盆地农业与城镇生态功能区(Ⅲ4-2)是滇东北地区的主要农业区,有林地覆盖率为13.97%,农地开垦率达到81.12%,由于人口密集,土地过度利用和乱占耕地造成区域内土地退化。洱海、洱海盆地农业与城镇生态功能区(Ⅲ1-1)以洱海流域为中心,上游是洱海的重要水源地和云南省的商品粮生产基地之一,农业生产和旅游业的发展带来土地退化和环

境污染,区域生境敏感性较高。昆明、玉溪高原湖盆生态脆弱区(Ⅲ1-6)位于金沙江流域与红河流域及珠江流域的分水岭地带,是云南省政治、经济、文化中心,区域城市化水平高,城乡交错分布、工业企业集中,农业生产现代化水平相对较高,是集大流域分水岭、湖滨水陆交错带、城乡交错带为一体的区域,生态环境极为脆弱,生境敏感性为高度及以上的面积比例为 54.62%。该区是目前云南省生态环境破坏和污染最为严重的区域之一。

#### 4 结论

对云南省生态功能类型区敏感性特征的分析结果表明:

(1)水土流失较严重的地区主要分布在滇东地区,这一地区属云南省石漠化敏感地区,石漠化敏感性强度在中度以上的区域面积比例超过 50%,特别是滇东北的镇雄、彝良以及滇西南的西畴、富宁、广南、砚山一带。

(2)云南省土壤侵蚀敏感性较高的区域主要位于降水量大,紫色土集中分布和地处石灰岩地带,土壤抗蚀性较差的地区。以元江为界,云南省西南大部 and 东南部分地区的土壤侵蚀敏感性最高,其中,高度敏感地区的面积占全省面积的 10%,主要分布在云南省南部和东部的红河、思茅、临沧、文山、曲靖、昭通等地区。中度敏感地区面积占全省面积的 41.30%,主要分布在除以上地区之外的西双版纳、德宏大部和保山、怒江、昆明、大理的部分地区。

(3)云南省生境高度和极高度敏感的区域主要集中在西双版纳、迪庆、思茅、文山州南部,这些地区大多处于生态交错区,是云南省生物多样性保护极为敏感和极为重要的地区,物种丰富度高,但同时生境较脆弱,一旦破坏很难恢复。

(4)人口密度大、土地垦殖过度、土地利用结构不合理、农业生产技术落后、过度砍伐、水资源开发等原因是造成云南省部分生态敏感区森林退化、水土流失严重、水源涵养能力下降、生境破碎化、生物多样性丧失、石漠化加剧和矿区污染严重等一系列生态环境问题的主要原因。

(5)改善土地利用方式,提高农业生产技术,发展生态农业,控制农业污染,开展生态恢复等,是提高地区森林覆盖率,减少水土流失和泥石流的发生,防止石漠化加剧的主要手段。

#### References:

- [1] Bailey R G, Ecoregions: The ecosystem geography of the oceans and continents. New York: Springer-Verlag, 1998.
- [2] Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H. China's eco-environmental sensitivity and its spatial heterogeneity. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(1): 9-12.
- [3] Fu B J, Chen L D, Liu G H. The objectives, tasks and characteristics of China ecological regionalization. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(5): 591-595.
- [4] Miao H, Wang X K, Ouyang Z Y. Study on regionalization of eco-environmental stress process in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(1): 7-13.
- [5] Liu G H, FU B J. The Principle and Characteristics of Ecological Regionalization. *Advances in Environmental Science*, 1998, 6(6): 67-72.
- [6] Kang X L, Liu Y H. Study on Ecological Sensitivity Evaluation Method. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2007, 35(33): 10569-10571, 10574.
- [7] Hao J M, Duan L, Xie S D. Mapping the Relative Sensitivity of Soils to Acid Deposition in China. *Environmental Science*, 1999, 20(4): 1-5.
- [8] Gu H Y, An Y L. The Sensitivity of Ecosystem to Acidic Deposition in Guizhou. *Journal of Guizhou Normal University (Natural Sciences)*, 2003, 21(4): 1-5.
- [9] Li Y B, Shao J A, WANG S J, LI R B. Assessment of Soil Erosion Sensitivity Based on the Characteristics of Karst Ecosystem. *Journal of Mountain Research*, 2007, 25(6): 671-677.
- [10] Wang X D, Zhong X H, Fan J R. Assessment and spatial distribution of sensitivity of soil. *Journal of Geographical Sciences*, 2004, 14(1): 41-46.
- [11] Yang W, Liu Y G, Zeng G M, Zhou J F. Soil erosion sensitivity evaluation of quantitative remote sensing — a Hilly Region of Red Soil Based on Case Study in Changsha City. *Environmental Science and Management*, 2007, 32(1): 120-125.
- [12] Zhang H, Shen W S, Wang Y S. Assessment of Land Sensitivity to Desertification Alongside the Linhe-CeKe Railway. *Rural Eco-environment*, 2007, 23(2): 33-35, 70.
- [13] Zhang Z Y, Sun Y C, Sun J, Shao X L, Li H L. GIS-based Assessment on Sensitivity to Soil Salinization in Tianjin. *Journal of Agro-environment*

Science, 2006, 25(4):954-957.

- [14] Jia L Q, Ouyang Z Y, Zhao T Q, Wang X K, Xiao Y, Xiao R B, Zheng H. The ecological function regionalization of Anhui Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(2):254-260.
- [15] Yin H W, Xu J G, Chen C Y, Kong F H. GIS-based ecological sensitivity analysis in the east of Wujiang City. *Scientia Geographica Sinica*, 2006, 26(1):64-69.

#### 参考文献:

- [2] 欧阳志云, 王效科. 中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究. *生态学报*, 2000, 20(1):9-12.
- [3] 傅伯杰, 陈利顶. 中国生态区划的目的、任务及特点. *生态学报*, 1999, 19(5):591-595.
- [4] 苗鸿, 王效科. 中国生态环境胁迫过程区划研究. *生态学报*, 2001, 21(1):7-13.
- [5] 刘国华, 傅伯杰. 生态区划的原则及其特征. *环境科学进展*, 1998, 6(6):67-72.
- [6] 康秀亮, 刘艳红. 生态系统敏感性评价方法研究. *安徽农业科学*, 2007, 35(33):10569-10571, 10574.
- [7] 郝吉明, 段雷, 谢绍东. 中国土壤对酸沉降的相对敏感区划. *环境科学*, 1999, 20(4):1-5.
- [8] 谷花云, 安裕伦. 贵州省生态系统对酸沉降的相对敏感性. *贵州师范大学学报:自然科学版*, 2003, 21(4):88-91.
- [9] 李阳兵, 邵景安, 王世杰, 李荣彪. 基于岩溶生态系统特性的水土流失敏感性评价. *山地学报*, 2007, 25(6):671-677.
- [11] 杨维, 刘云国, 曾光明, 周建飞. 定量遥感支持下的红壤丘陵区土壤侵蚀敏感性评价——以长沙市为例. *环境科学与管理*, 2007, 32(1):120-125.
- [12] 张慧, 沈渭寿, 王延松. 临策铁路沿线土地沙漠化敏感性评价. *生态与农村环境学报*, 2007, 23(2):33-35, 70.
- [13] 张征云, 孙贻超, 孙静, 邵晓龙, 李红柳. 天津市土壤盐渍化现状与敏感性评价. *农业环境科学学报*, 2006, 25(4):954-957.
- [14] 贾良清, 欧阳志云, 赵同谦, 王效科, 肖焱, 肖荣波, 郑华. 安徽省生态功能区划研究. *生态学报*, 2005, 25(2):254-260.
- [15] 尹海伟, 徐建刚, 陈昌能, 孔繁花. 基于 GIS 的吴江东部地区生态敏感性分析. *地理科学*, 2006, 26(1):64-69.