

doi: 10.12029/gc20220517001

王思源, 赵敏敏, 刁玉杰, 马鑫, 付雷, 王旭清, 刘廷, 陈冠, 郭鹏. 2025. 青藏高原东部昌都市生态保护重要性评价方法研究及应用[J]. 中国地质, 52(1): 264–277.

Wang Siyuan, Zhao Minmin, Diao Yujie, Ma Xin, Fu Lei, Wang Xuqing, Liu Ting, Chen Guan, Guo Peng. 2025. Application and evaluation method of the importance of ecological protection in Changdu City of the east Qinghai–Xizang Plateau[J]. Geology in China, 52(1): 264–277(in Chinese with English abstract).

## 青藏高原东部昌都市生态保护重要性 评价方法研究及应用

王思源<sup>1</sup>, 赵敏敏<sup>1</sup>, 刁玉杰<sup>1</sup>, 马鑫<sup>1</sup>, 付雷<sup>1</sup>, 王旭清<sup>1</sup>, 刘廷<sup>1</sup>, 陈冠<sup>2</sup>, 郭鹏<sup>3</sup>

(1. 中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 天津 300304; 2. 兰州大学地质科学与矿产资源学院, 甘肃 兰州 730000;  
3. 湖北科技学院资源环境科学与工程学院, 湖北 咸宁 437100)

**摘要:**【研究目的】昌都市是青藏高原东部的重要生态门户, 当前“双评价”指南推荐的生态系统服务评价方法无法准确反映研究区生态系统特征, 本文改进了生态保护重要性评价方法, 提高了将研究结果纳入生态保护实践的可行性, 评价结果可以为生态保护红线划定以及后期生态修复工作奠定基础。【研究方法】基于高原环境特征, 将碳储存与冻融侵蚀纳入评价体系, 并运用改进后的生态系统服务与生态敏感性评价方法, 评价了昌都市的生态保护重要性。【研究结果】昌都市生态保护极重要区占区域总面积的 51.35%, 主要分为两类: 一是生态环境良好, 具有重要的水土保持及水源涵养功能的区域, 主要分布在金沙江、澜沧江及怒江两岸的山地; 二是由于生态系统质量较差, 已出现植被退化、土地沙化、水土流失等环境问题, 主要分布在丁青县北部、八宿县中南部及边坝县西部。【结论】昌都市大部分地区处于生态保护极重要区和重要区, 生态系统服务功能强, 但部分区域生态系统敏感性也较高, 在开发过程中需要分区制定生态保护措施并严格落实生态保护工作, 降低气候变化背景下各种人类活动对生态系统的不良影响, 保障青藏高原生态屏障区的建设。

**关键词:** 生态系统服务; 生态敏感性; 双评价; 昌都市; 青藏高原; 生态地质调查工程

**创新点:** (1) 从生态系统服务和生态敏感性的角度出发评价了青藏高原东部的生态保护重要性; (2) 针对高原特殊环境特点, 改进了生态保护重要性评价方法。

中图分类号: TU984.115 文献标志码: A 文章编号: 1000–3657(2025)01–0264–14

### Application and evaluation method of the importance of ecological protection in Changdu City of the east Qinghai–Xizang Plateau

WANG Siyuan<sup>1</sup>, ZHAO Minmin<sup>1</sup>, DIAO Yujie<sup>1</sup>, MA Xin<sup>1</sup>, FU Lei<sup>1</sup>, WANG Xuqing<sup>1</sup>, LIU Ting<sup>1</sup>,  
CHEN Guan<sup>2</sup>, GUO Peng<sup>3</sup>

(1. Center for Hydrogeology and Environmental Geology Survey, CGS, Tianjin 300304, China; 2. School of Earth Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, Gansu, China; 3. College of Resource and Environmental Science and Engineering, Hubei University

收稿日期: 2022–05–17; 改回日期: 2022–10–19

基金项目: 自然资源要素耦合过程与效应重点实验室开放课题(2022KFKTC002)、昌都市国土空间双评价与生态修复研究项目(Sr–20–009)及中国地质调查局项目(DD20190534)联合资助。

作者简介: 王思源, 男, 1989 年生, 高级工程师, 主要从事环境地质研究; E-mail: wangsiyuan@mail.cgs.gov.cn。

通信作者: 赵敏敏, 女, 1990 年生, 高级工程师, 主要从事生态水文研究; E-mail: zminmin@mail.cgs.gov.cn。

*of Science and Technology, Xianning 437100, Hubei, China)*

**Abstract:** This paper is the result of ecological geological survey engineering.

**[Objective]** Changdu City serves as a critical ecological corridor on the eastern Qinghai–Xizang Plateau. The ecosystem service evaluation methodology recommended by the existing "dual evaluation" guidelines fails to adequately capture the unique characteristics of the ecosystem within the study area. This paper enhances the assessment methodology regarding the significance of ecological protection, thereby improving the feasibility of integrating the research findings into practical ecological conservation efforts. The evaluation outcomes will provide a foundational basis for establishing ecological protection boundaries and inform subsequent ecological restoration initiatives. **[Methods]** In light of the distinctive characteristics of the plateau environment, the evaluation system incorporates carbon sequestration and freeze–thaw erosion processes. Utilizing enhanced methodologies for assessing ecosystem services and ecological sensitivity, this study evaluates the significance of ecological protection in Changdu City. **[Results]** The highly significant ecological protection zone in Changdu City encompasses 51.35% of the total land area and is primarily categorized into two distinct types. The first category consists of regions exhibiting favorable ecological conditions that play crucial roles in water and soil conservation; These areas are predominantly located in the mountainous regions along the Jinsha River, Lancang River, and Nujiang River. The second category comprises areas experiencing vegetation degradation, land desertification, soil and water erosion, and other environmental challenges, which are mainly found in the northern part of Dingqing County, as well as the central and southern regions of Basu County and the western section of Bianba County. **[Conclusions]** The majority of regions within Changdu City are situated in areas designated as critically important and significant for ecological protection, exhibiting robust ecosystem service functions. However, certain areas also demonstrate heightened sensitivity to ecological disturbances. Consequently, it is imperative to devise and rigorously implement tailored ecological protection measures that correspond to the specific characteristics of each area during the development process. This approach aims to mitigate the adverse impacts of various anthropogenic activities on the ecosystem in the context of climate change, thereby ensuring the integrity of the ecological barrier of the Qinghai–Xizang Plateau.

**Key words:** ecosystem services; ecological sensitivity; double evaluation; Changdu City; Qinghai–Xizang Plateau; ecological geological survey engineering

**Highlights:** (1) The significance of ecological protection in the eastern Qinghai–Xizang Plateau is assessed through the lenses of ecosystem services and ecological sensitivity; (2) In light of the unique environmental attributes of the plateau, the methodology for evaluating the importance of ecological protection has been enhanced.

**About the first author:** WANG Siyuan, male, born in 1989, senior engineer, engaged in environmental geology research; E-mail: [wangsiyuan@mail.cgs.gov.cn](mailto:wangsiyuan@mail.cgs.gov.cn).

**About the corresponding author:** ZHAO Minmin, female, born in 1990, senior engineer, engaged in ecohydrological research; E-mail: [zminmin@mail.cgs.gov.cn](mailto:zminmin@mail.cgs.gov.cn).

**Fund support:** Supported by the projects of Open Foundation of the Key Laboratory of Coupling Process and Effect of Natural Resources Elements (No.2022KFKTC002), Research on Land & Space Evaluation and Ecological Restoration of Changdu City (Sr–20–009), China Geological Survey (No.DD20190534).

## 1 引言

“藏东三江并流区”为金沙江、澜沧江、怒江上游流域,主要位于昌都市,是西藏自治区对接川滇青的门户和枢纽地区,更是青藏高原生态屏障区的东部屏障。该区域位于中国地貌单元中的第一、二级阶梯,地质构造复杂、生态环境脆弱,区域发展中

难免对原有脆弱的生态环境产生干扰和影响(莫宣学, 2010)。因此,从区域地质环境和生态条件的特点出发,科学地开展区域生态功能区划是保证生态系统质量、实现高质量发展的关键问题。

地球系统科学理论体系中,人类活动是社会经济发展自然复合生态系统中的重要环节(Opdam et al., 2013)。生态保护重要性评价是确定区域生态保护及生态修复重点区域,并制定相应发展策略的关键

工作之一。已有大量学者以景观生态学理论为基础开展了生态保护重要性评价方法体系及框架研究, 研究内容主要包括生态系统服务(Naidoo et al., 2008; Wu, 2013; Bonnesoeur et al., 2019; Wang et al., 2022; 刘义等, 2024)、生态脆弱性(Xiang et al., 2021; Cai et al., 2021; Zhang et al., 2022)、生态安全格局(Peng et al., 2019)等。在此基础上, 为在全国范围内开展生态保护红线划定工作, 并规范区域生态质量评价, 生态环境部和自然资源部也制定了相应的评价指南。然而以上指南虽然涉及面较广, 但是主要针对全国尺度的评价, 未能充分体现青藏高原生态环境的特殊性和高寒区面临的关键生态问题(王思源等, 2021)。因此, 有学者开始针对高原主要面临的土地沙化(郭坤, 2018)、冻融风化(王莉雁等, 2017; 郭兵和姜琳, 2017)、冰湖溃决(Nie et al., 2020)、冰川演化(Sun et al., 2019)等环境地质问题, 重大工程涉及的水文地质问题(郭长宝等, 2017; 王成虎等, 2019; 薛翊国等, 2020; 许模等, 2021; 郑光玉等, 2021)和区域碳储量(任德智等, 2016)等方面开展了专项研究, 但是研究主要以具体问题为主, 缺少整体性评价研究和功能区划, 对区域国土空间规划工作的支撑作用不足。为了高质量地开展青藏高原特定区域的生态保护工作, 必须从高原高海拔的特点出发, 对目标区的生态质量及面临的关键问题进行评价。

本文综合分析了影响昌都地区生态环境的主要影响因子, 改进了“双评价”指南中推荐的评价方法, 对主要生态系统服务功能重要性和关键生态问题敏感性的强度及分布特征进行分级评价与研究, 并在此基础上评价了昌都市生态保护重要性。以期为后期开展国土空间规划及国土空间生态修复工作提供支撑, 保障区域生态文明建设质量。

## 2 研究区概况

昌都市位于青藏高原东缘, 受东部的金沙江和西部的班公错—怒江断裂带的控制, 在强烈的碰撞挤压作用及高地应力的影响下形成了一系列地质构造(王成虎等, 2019), 呈现南北走向的三条大江与三列山脉相间分布的格局。区域内地势西北部高, 东南部低, 海拔介于 3100~5460 m, 平均海拔超过 3500 m(图 1)。高海拔、南北走向的平行峡谷及中

低纬度地理位置等因素造成了昌都市独特的气候特点: 温带湿润气候为主, 但气温及降水分布呈条带状, 且垂直分异性很强。受地质条件、地貌、气候等因素的共同影响, 昌都市拥有包括森林、灌木林、高寒草甸、湿地、冰川等多种生态系统类型, 是金沙江、怒江、澜沧江上游的重要水源涵养区、水土保持区和生物多样性保护区。区内人口相对集中且民族多样, 当前的开发方式存在手段粗放, 缺乏生态保护意识的问题, 人地关系较为紧张。在全球环境变化及人类活动强度不断增加的背景下, 局部区域存在植被退化、石漠化、水土流失加剧、地质灾害频发等环境地质问题。作为青藏高原的东部门户, 昌都市在《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021—2035 年)》中被定位为青藏高原生态屏障区的重要组成部分。此外, 昌都市也随着国家高质量发展的步伐逐步进入了发展的快车道, 川藏铁路的建设、高质量农业发展以及新能源开发等工程的布局均伴随人类活动强度的增加, 要求昌都市在保障生态质量的同时为开发建设划定出合理的空间。

## 3 研究方法

### 3.1 数据来源

本研究主要使用的数据有反映地形特征的数字高程模型(DEM), 并以此为基础生成坡度及坡向数据; 反映植被生长状态的归一化植被指数(NDVI)(Tucker, 1979; Peng et al., 2012; Zhao et al., 2015); 从多年植被数据反演获得的反映植被综合生态影响能力的 NPP 数据; 从联合国粮农组织(FAO)和维也纳国际应用系统研究所(IIASA)所构建的世界土壤数据库(Harmonized World Soil Database version 1.1)(HWSD)获得研究区数字化土壤数据。降水等气象、气候数据来源于水资源公报和昌都市气象局(表 1)。

### 3.2 生态系统保护重要性评价

为了确保生态持续发展并能够产生社会和经济效益, 必须开展人类活动对生态系统影响的评估, 以尽量降低各种开发活动对生态系统及其演化过程的不利影响(Ruiz et al., 2012)。生态服务功能性水平越高, 区域内发展破坏生态系统功能的风险越大, 生态阻力也会相应增加(Zhao et al., 2020)。

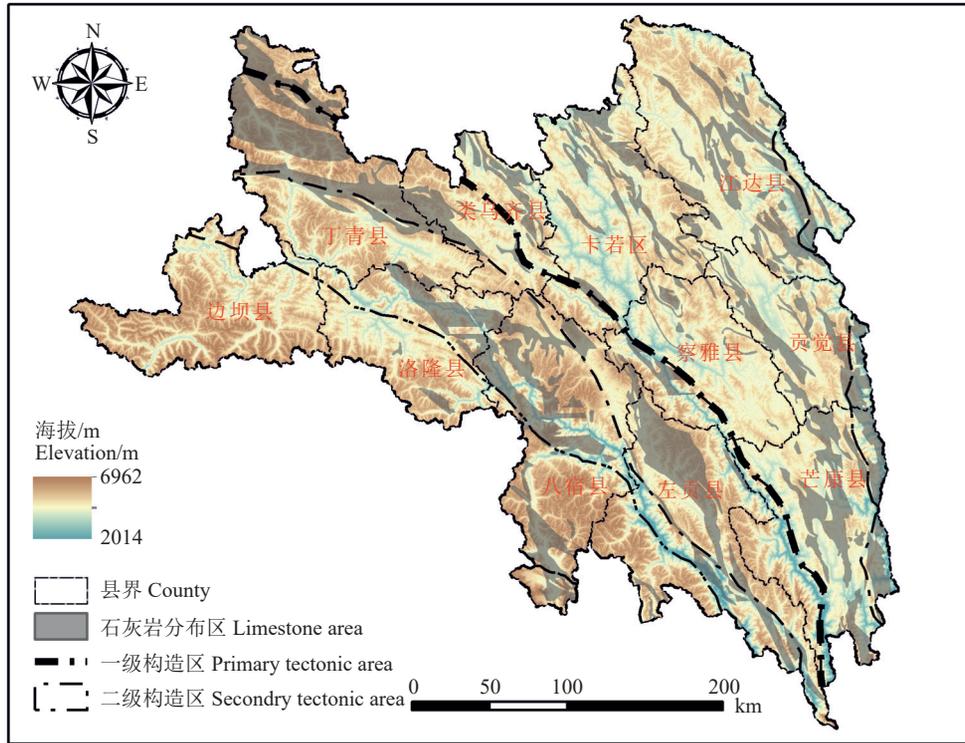


图 1 地质构造单元区划图  
Fig.1 Division map of geological structural units

表 1 主要数据概况

Table 1 Overview of research data

名称	类型	分辨率	数据来源
NPP数据集	栅格	1 km	中国科学院资源环境数据云平台
NDVI数据	栅格	1 km	中国科学院资源环境数据云平台
气象、气候数据集	栅格/文本	1 km	中国科学院资源环境数据云平台昌都市气象局
土壤数据集	栅格	1 km	寒区旱区科学数据中心
地层岩性数据	矢量	—	全国1:250万地质图
高程数据集	DEM栅格数据	30 m	地理空间数据云平台
西藏自治区国家级自然保护区功能区划数据	矢量	—	“数据禾”数据服务
长期稳定耕地范围	矢量	—	遥感影像解译
现有城镇建成区	矢量	—	遥感影像解译

生态敏感性越强,说明区域生态系统抵御干扰的自我恢复和自我更新能力越差,生态系统退化的风险越高,生态保护及生态修复工作的难度越大(姜月华等, 2021)。因此,生态系统服务功能和生态敏感性通常被作为评价区域生态保护重要性的关键指标(牛晓楠等, 2022)。

生态系统服务功能重要性评价通常采用模型法、NPP(净初级生产力)定量指标法等,其中,模型法评价结果虽然精度最高,但需要的参数和数据较多,部分较难获取;NPP 定量指标法以 NPP 数据为主要评价指标,所需参数量较少,但是评价准确度

容易受地域影响,适用于面积较大区域的宏观评价(王丽霞等, 2017)。本研究中,由于西藏自治区研究程度偏低,已有环境因子实测监测数据较为匮乏,评价参数获得难度较大,因此采用 NPP 定量指标法开展研究,并从高原生态系统的特点出发,对评价方法进行了优化调整,突出了在昌都高寒地区生态系统的特点及作为碳汇的潜力。具体来讲,本研究运用 NPP 定量指标法对研究区的水源涵养、水土保持、防风固沙、生物多样性保护、碳固定(Barral and Oscar, 2012)等生态系统服务功能重要性开展评价(图 2),并进行了生态系统服务功能重要性分

区(图2)。此外,也应用模型评价法对水土流失(突出冻融风化特征)、石漠化、土地沙化等生态敏感性进行评价。在评价结果的基础上,应用自然保护区空间分布数据、现有城镇建成区、长期稳定农田等约束性数据对评价结果进行修正,完成对昌都市11个县区的生态保护重要性评价。

### 3.2.1 生态系统服务功能重要性评价

水土保持功能重要性:

$$S_{pro} = NPP_{mean} \times (1 - K) \times (1 - F_{slo}) \quad (1)$$

式中:  $S_{pro}$  为水土保持服务能力指数,  $NPP_{mean}$  为多年植被净初级生产力平均值,  $F_{slo}$  为坡度因子,  $K$  为土壤可蚀性因子。

水源涵养功能重要性:

$$WR = NPP_{mean} \times F_{sic} \times F_{pre} \times (1 - F_{slo}) \quad (2)$$

式中:  $WR$  为水土保持服务能力指数,  $NPP_{mean}$  为多年植被净初级生产力平均值,  $F_{sic}$  为土壤渗透因子,  $F_{pre}$  为多年平均降水量因子,  $F_{slo}$  为坡度因子。

防风固沙功能重要性:

$$S_{ws} = NPP_{mean} \times K \times F_q \times D \quad (3)$$

$$F_q = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{12} u^3 \left\{ \frac{ETP_i - P_i}{ETP_i} \right\} \times d \quad (4)$$

$$ETP_i = 0.19(20 + T_i)^2 \times (1 - r_i) \quad (5)$$

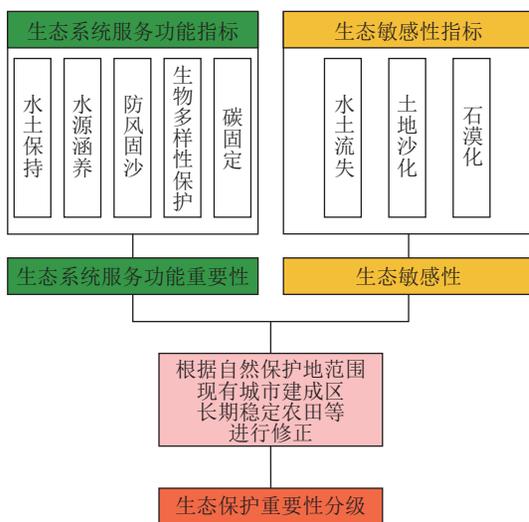


图2 评价流程图

Fig.2 Flow chart of evaluation

$$u_2 = u_2(z_2/z_1)^{1/7} \quad (6)$$

$$D = 1/\cos\theta \quad (7)$$

式中:  $S_{ws}$  为防风固沙服务能力指数,  $NPP_{mean}$  为多年植被净初级生产力平均值,  $K$  为土壤可蚀性因子,  $F_q$  为多年平均气候侵蚀力,  $D$  为地表粗糙度因子。  $u$  为 2 m 高处的月平均风速,  $u_1$ 、 $u_2$  分别表示在  $z_1$ 、 $z_2$  高度处的风速,  $ETP_i$  为月潜在蒸发量(mm),  $P_i$  为月降水量(mm),  $d$  为当月天数,  $T_i$  为月平均气温,  $r_i$  为月平均相对湿度(%),  $D$  为地表粗糙度因子,  $\theta$  为坡度(弧度)。

生物多样性维护功能重要性:

$$S_{bio} = NPP_{mean} \times F_{pre} \times F_{tem} \times (1 - F_{alt}) \quad (8)$$

式中:  $S_{bio}$  为生物多样性维护服务能力指数,  $NPP_{mean}$  为多年植被净初级生产力平均值,  $F_{pre}$  为多年平均降水量,  $F_{tem}$  为多年平均气温,  $F_{alt}$  为海拔因子。

碳固定功能重要性:

$$C_s = NPP_{mean} \times (1 - VC_{NPP}) \quad (9)$$

式中:  $C_s$  为碳固定能力指数,  $NPP_{mean}$  为多年植被净初级生产力平均值,  $VC_{NPP}$  为  $NPP$  年内标准差。

对上述五个单要素评价结果(图3)进行叠加取最大值,得到生态系统服务功能重要性等级,计算公式为:

$$E_{si} = \text{Max}(S_{proi}, WR_i, S_{wsi}, S_{bioi}, C_{si}) \quad (10)$$

式中,  $E_{si}$  为空间单元  $i$  上的生态系统服务功能重要性等级,  $S_{proi}$ 、 $WR_i$ 、 $S_{wsi}$ 、 $S_{bioi}$ 、 $C_{si}$  分别为水土保持、水源涵养、防风固沙、生物多样性和碳固定功能的重要等级。

### 3.2.2 生态敏感性评价

水土流失敏感性:

由于昌都地区环境条件复杂,水土流失存在冻融侵蚀和水力侵蚀共存的状态,因此需要分区域对水土流失敏感性进行评价。根据第一次全国水利普查水土流失情况,用以下公式确定冻融侵蚀的海拔下界:

$$H = \frac{66.3032 - 0.9197X_1 - 0.1438X_2 + 2.5}{0.005596} - 200 \quad (11)$$

式中:  $H$  为冻融侵蚀区下界的海拔(m),  $X_1$  为纬

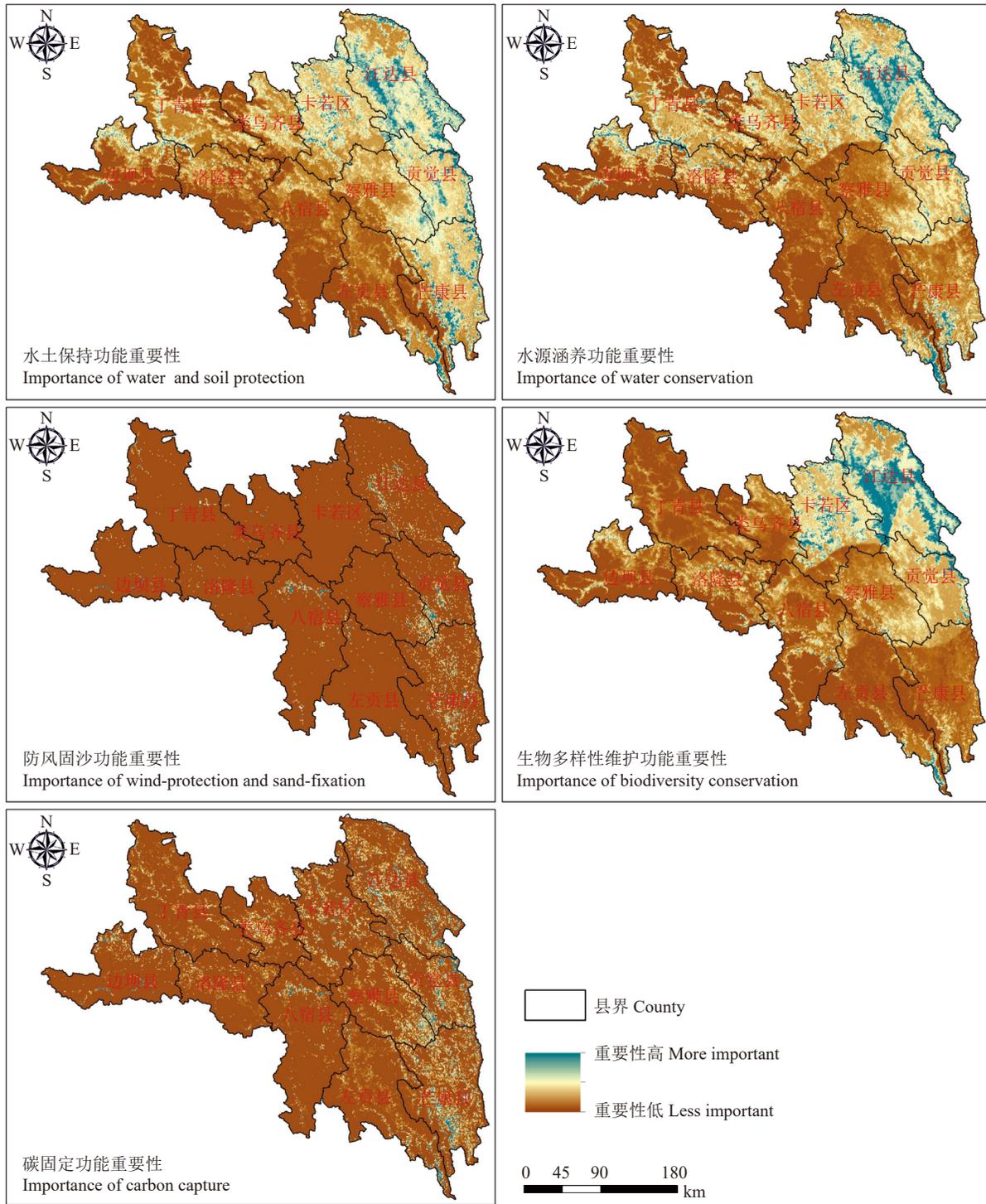


图 3 生态系统服务功能单要素重要性评价  
Fig.3 Importance evaluation of single element of ecosystem services function

度(°),  $X_2$  为经度(°)。

冻融侵蚀区水土流失敏感性评价:

应用线性加权法对影响冻融侵蚀的降水、气温年较差、坡度、坡向、植被覆盖度等因子进行计算

(王莉雁等, 2017), 采用自然断点法对结果进行分级, 评价冻融侵蚀的敏感性:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n W_i I_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (12)$$

式中:  $I$  为冻融侵蚀综合评价指数;  $I_i$  为第  $i$  个因子的赋值;  $W_i$  为第  $i$  个因子的权重;  $n$  为评价因子数。

水力侵蚀区水土流失敏感性评价:

$$SS_i = \sqrt[4]{R_i \times K_i \times LS_i \times C_i} \quad (13)$$

式中:  $SS_i$  为  $i$  空间单元水土流失敏感性指数, 评价因子包括降雨侵蚀力( $R_i$ )、土壤可蚀性( $K_i$ )、坡长坡度指数( $LS_i$ )、地表植被覆盖( $C_i$ )。

土地沙化敏感性:

$$D_i = \sqrt[4]{I_i \times W_i \times K_i \times C_i} \quad (14)$$

式中:  $D_i$  为  $i$  评价区域土地沙化敏感性指数;  $I_i$ 、 $W_i$ 、 $K_i$ 、 $C_i$  分别为评价区域干燥度指数、起沙风天数、土壤质地和植被覆盖度的敏感性等级值。

石漠化敏感性:

$$S_i = \sqrt[4]{D_i \times P_i \times C_i} \quad (15)$$

式中:  $S_i$  为  $i$  评价区域石漠化敏感性指数;  $D_i$ 、 $P_i$ 、 $C_i$  分别为评价区域碳酸岩出露面积百分比、地形坡度和植被覆盖度。

取水土流失敏感性、沙化敏感性、石漠化敏感性单项评价结果(图 4)的最高等级作为生态敏感性等级。

### 3.2.3 生态保护重要性评价

取生态系统服务功能重要性和生态敏感性评价结果的较高等级, 作为生态保护重要性等级的初判结果, 划分为极重要、重要和一般重要三个等级(根据《生态保护红线划定指南》(环办生态[2017]48号))。如果某一区域的生态系统服务功能重要性或生态敏感性表现为极重要或极敏感, 即表明该区域生态系统能够提供很重要的生态服务价值或发生严重生态问题的风险很高, 则该区域被划分为生态保护极重要区; 如果某一区域生态系统服务功能和生态敏感性评价结果为一般重要及一般敏感, 即表明该区域生态系统提供的生态系统服务价值较低, 且生态风险较低, 处于相对稳定的状态, 则该区域被划分为生态保护一般重要区; 这两类区域以外的地区, 由于生态系统服务功能重要性较强或生态敏感性较强, 则被划分为生态保护重要区, 如表 2。

由于自然保护地生态系统服务功能重要性和

生态保护重要性均较高, 但是由于基于空间数据的宏观评价并不一定能充分涵盖自然保护地涉及的区域。因此, 在完成评价后, 需要利用收集到的自然保护地空间分布数据对评价结果进行修正, 直接将自然保护地所属区域修正为生态系统服务功能极重要区及生态保护极重要区。

## 4 结果

### 4.1 生态系统服务功能重要性评价结果

#### 4.1.1 生态系统服务功能重要性

生态系统服务功能在青藏高原非常重要, 评价结果(表 3, 图 5)表明, 昌都市各县区生态服务重要性均较高, 极重要区占地面积普遍超过 40%。通过比较重要区的比例, 江达县、贡觉县、芒康县的极重要区面积超过 50%, 明显高于其他县区, 表明其作为生态屏障的服务功能在维护区域生态功能和保护生态功能极重要区中的作用十分重要, 应重点给予关注。

#### 4.1.2 生态系统服务功能分区

根据以青藏高原生态屏障区国家重点生态功能区为基础, 统筹考虑不同生态系统服务功能的空间分布、生态地理单元连续性和行政管理的可操作性, 将昌都市生态系统功能划分为藏东南高寒林区生态保护区(I)、怒江上游生态综合保护区(II)、两江综合生态涵养区(III)等 3 个生态系统主导功能区及 8 个亚区, 如图 5 和表 4 所示。

### 4.2 生态敏感性评价结果

比较各县区生态敏感性分布状况, 可以将 11 个县区分为 3 类, 第一类为芒康县, 县域范围内生态极敏感区面积超过 25%, 区域内水土流失及石漠化风险较高, 且由于芒康县也是金沙江和澜沧江的并流区, 更需要重点关注区域内以水环境质量为代表的其他各类生态问题, 并作为生态修复布局的重点区域。第二类为左贡县、贡觉县和边坝县, 区域内生态极敏感区和敏感区所占比例较高, 部分区域极敏感区集中分布; 其余县区极敏感比例相对较低, 且一般敏感区比例较高, 生态系统退化风险较低(图 6, 表 5)。

### 4.3 生态保护重要性评价结果

由于地处青藏高原东部横断山脉生态屏障区, 地形复杂、生态系统多样, 昌都市大部分地区均处

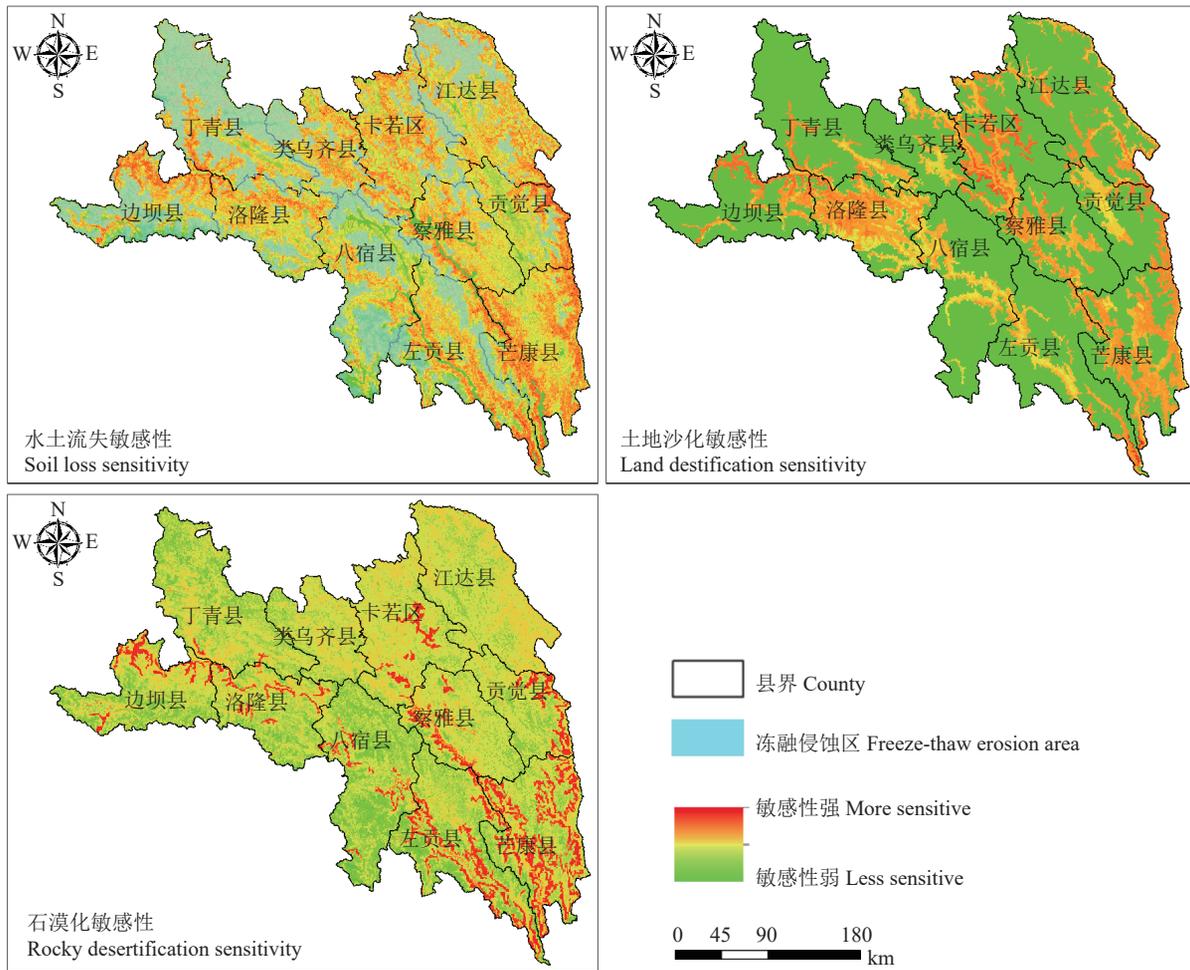


图 4 生态敏感性单要素评价  
Fig.4 Evaluation of single element of ecological sensitivity

表 2 生态保护重要性级别矩阵  
Table 2 Judging matrix of ecological protection importance

级别	生态敏感性		
	极敏感	敏感	一般敏感
生态系统服务	极重要	极重要	极重要
功能重要性	重要	极重要	重要
	一般重要	极重要	重要

于生态保护极重要区和重要区, 在开发过程中需要严格落实生态保护工作, 严密防范生态退化现象。整体来看, 生态保护极重要区面积约为 5.64 万 km<sup>2</sup>, 占区域总面积的 51.35%, 其中, 江达县、边坝县、贡觉县、芒康县所占比例均超过县域面积的 50%。生态保护重要区面积约为 4.78 万 km<sup>2</sup>, 占区域总面积的 43.49%。生态保护一般重要性区域主要分布在八宿县的北部及左贡县东部、南部, 面积约 0.57 万 km<sup>2</sup>, 占比约 5.15%。总体来看, 昌都市各县区生态

服务重要性均较高, 极重要区占地面积普遍超过 40%, 而一般重要区的比例均较低, 普遍不超过 10%。贡觉县、江达县以及卡若区内一般重要区的面积更低是不足 1%(图 7, 表 6)。此外, 分析发现, 生态保护极重要区中目前有零星分布的建筑用地、农田等生态功能相对较弱的土地利用类型, 可能对生态系统产生一定的不利影响。

## 5 讨论

### 5.1 可靠性分析

本研究在《生态保护红线划定指南》(环办生态〔2017〕48 号)推荐的生态保护重要性评价方法的基础上, 根据青藏高原冻融侵蚀发育的特征改进和建立了评价方法体系, 方法经过大量研究的验证, 本身具有较高的可靠性, 基本能够反映青藏高原东

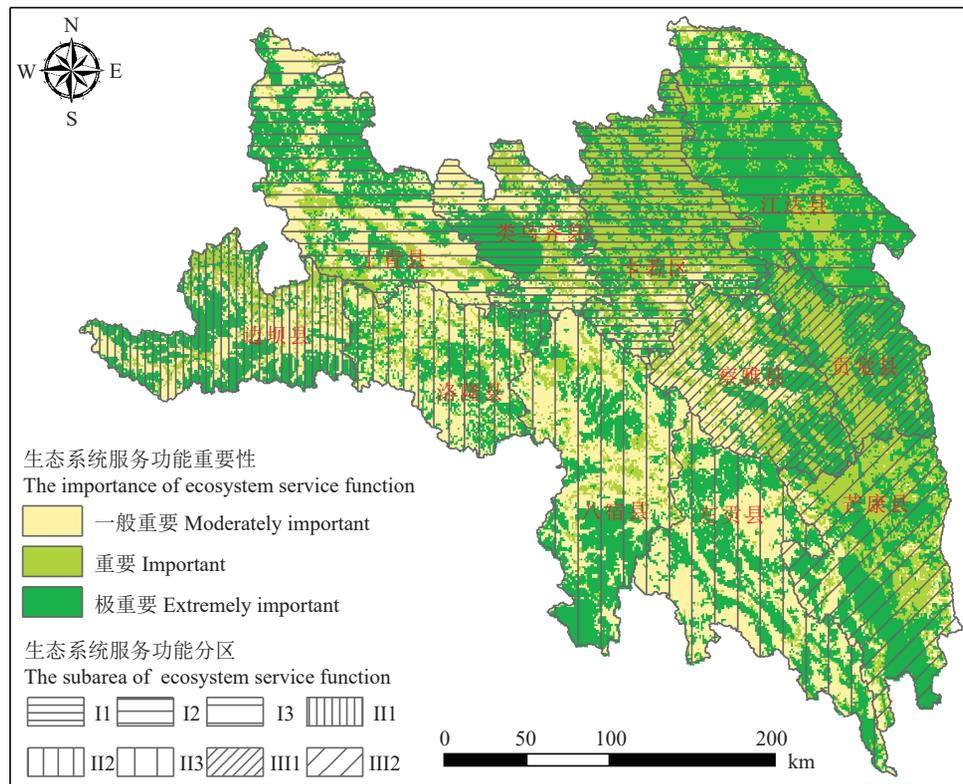


图5 生态系统服务功能重要性评价(生态系统服务功能分区具体见表4)  
Fig.5 Importance assessment of ecosystem service function  
(The subarea of ecosystem service function is shown in Table 4)

表3 生态系统服务功能重要性统计

Table 3 Statistics of ecosystem service function importance

区域	极重要		重要		一般重要	
	面积/km <sup>2</sup>	比重/%	面积/km <sup>2</sup>	比重/%	面积/km <sup>2</sup>	比重/%
八宿县	5038.68	41.06	1565.19	12.76	5666.17	46.18
边坝县	3969.37	45.13	1470.01	16.71	3355.99	38.16
察雅县	3247.88	39.35	2173.87	26.33	2833.08	34.32
丁青县	5553.36	44.48	1788.45	14.32	5143.26	41.20
贡觉县	3573.38	56.43	2722.63	42.99	36.43	0.58
江达县	9362.93	70.45	3314.86	24.94	612.21	4.61
卡若区	4452.33	40.98	5350.08	49.24	1063.43	9.79
类乌齐县	2784.91	43.53	1256.15	19.64	2356.01	36.83
洛隆县	3324.26	41.26	1027.01	12.75	3706.16	46.00
芒康县	5744.90	50.49	3907.09	34.33	1727.35	15.18
左贡县	5204.37	44.52	640.41	5.48	5844.78	50.00
合计	52256.37	47.58	25215.74	22.96	32344.87	29.45

部区域生态系统保护工作的特点。评价涉及不同分辨率的多源空间数据,评价结果精度受制于分辨率最低的数据。本研究中使用到的NPP、土壤数据库等关键数据的空间分辨率仅有1.0 km,虽然研究区面积较大,当前数据尚能够满足本尺度评价精度的需求。

## 5.2 昌都市生态保护及开发建议

生态保护及修复方面。昌都市除存在植被退化、水土流失、土地沙化等问题外,也有部分生态极重要空间被耕地、建设用地等侵占的问题。畜牧业是昌都市农业发展的支柱产业之一,但是不恰当的畜牧业发展方式不仅是造成植被退化及土地沙化

表 4 生态系统服务功能分区

Table 4 The subarea of ecosystem service function

一级分区	二级分区	生态系统 主要服务功能	保护建议	涉及县区
藏东南高寒林区生态保护区 (I)	北部植被恢复及生物多样性保护亚区 (I <sub>1</sub> )	水土保持、碳固定、生物多样性保护	植被恢复、湿地保护、生境保护等	卡若区、类乌齐县
	北部草灌植被恢复亚区 (I <sub>2</sub> )	水土保持、水源涵养	灌草植被恢复、湿地保护、生境保护等	丁青县
	金沙江上游植被恢复亚区 (I <sub>3</sub> )	水土保持、水源涵养、碳固定	灌草植被恢复、森林植被的抚育以及水土流失的治理	江达县
怒江上游生态综合保护区 (II)	怒江上游高寒植被保护与湿地综合保护亚区 (II <sub>1</sub> )	水土保持、水源涵养、防风固沙和碳固定	灌草植被恢复以及湿地质量的监管和保护	边坝县
	怒江上游草灌植被综合保护亚区 (II <sub>2</sub> )	水土保持、水源涵养、防风固沙	草地、灌木植被恢复以及水土流失的治理	洛隆县
	怒江上游生态保护与综合保护亚区 (II <sub>3</sub> )	水源涵养、水土保持、防风固沙和碳固定	植被保护、生境保护、湿地保护以及石漠化和水土流失的治理	左贡县、八宿县
两江综合生态涵养区 (III)	两江水源涵养综合修复工程 (III <sub>1</sub> )	水源涵养、水土保持、防风固沙和碳固定	植被保护、生境保护、湿地保护以及水土流失的治理	察雅县、贡觉县
	两江生物多样性保护-水质提升综合修复工程 (III <sub>2</sub> )	水源涵养、水土保持、防风固沙和碳固定	植植被保护、生境保护、湿地保护以及水土流失和水污染的治理	芒康县

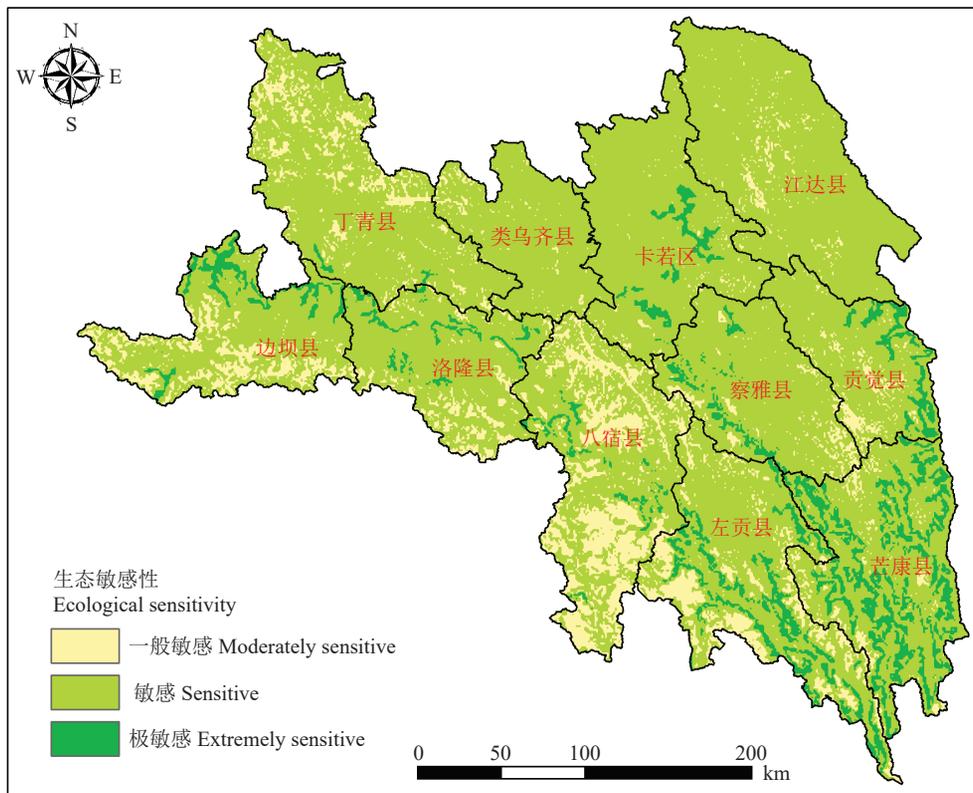


图 6 昌都市生态敏感性分布图  
Fig.6 Distribution of ecological sensitivity

的重要原因,也是导致水土流失等生态敏感问题加剧的重要因素。根据本文研究结果,建议实行生态空间精细化管理和差异化发展的方式,在生态高敏感区限制畜牧业发展,推进生态修复;在植被条件

较好的区域鼓励适当增大种植和养殖规模,实现社会效益的提升和生态系统质量、安全性的提升。

城镇及村庄布局方面。生态保护极重要区是

表5 生态敏感性等级统计

Table 5 Statistics of ecological sensitivity classification

区域	极敏感		敏感		一般敏感	
	面积/km <sup>2</sup>	比重/%	面积/km <sup>2</sup>	比重/%	面积/km <sup>2</sup>	比重/%
八宿县	384.02	3.13	7389.74	60.23	4494.82	36.64
边坝县	725.50	8.31	6169.15	70.66	1836.21	21.03
察雅县	464.37	5.61	7180.60	86.70	636.88	7.69
丁青县	76.80	0.62	10362.65	82.99	2046.54	16.39
贡觉县	633.34	10.00	5076.16	80.12	626.25	9.88
江达县	3.54	0.03	12735.31	95.49	597.89	4.48
卡若区	588.44	5.41	10015.26	92.15	264.68	2.44
类乌齐县	4.73	0.07	6043.90	94.51	346.21	5.41
洛隆县	503.36	6.26	6548.44	81.46	986.64	12.27
芒康县	2961.10	25.87	7756.04	67.76	729.05	6.37
左贡县	1729.87	14.78	7603.61	64.99	2366.75	20.23
合计	8075.07	7.35	86880.86	79.06	14931.91	13.59

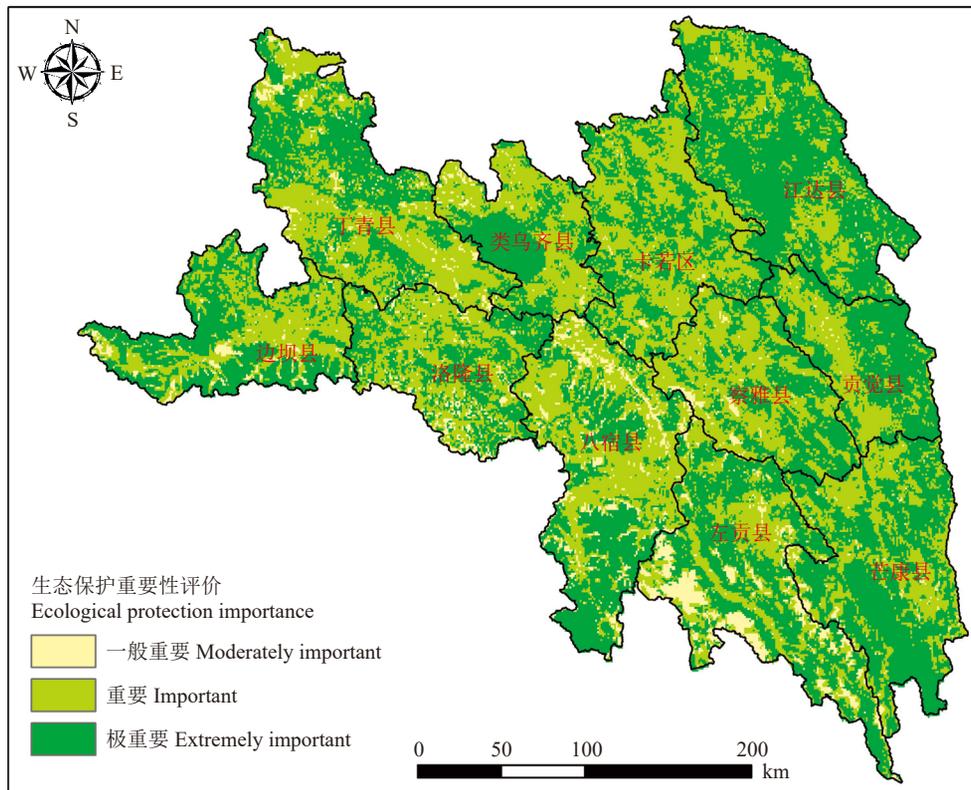


图7 昌都市生态保护重要性分布图

Fig.7 Distribution of ecological protection importance

生态保护红线优化调整的空间基础,在引导城镇布局的过程中具有重要的引导作用,分析中发现当前少量城镇和农村居民点处在生态保护极重要区内。在下一步的规划建设中,建议分两类针对该类型的建设用进行管制,促进高原生态保护和“山水林田湖草沙”生命共同体的建设:首先,针对区域

内零散分布的农牧民居民点,当地政府应结合相关政策,明确这部分居民点发展定位,明确集聚提升或逐步搬迁撤并;对于少量具有历史文化特色的古老村庄,在保护其文化及历史意义的基础上,应做好生态发展规划,限制其建筑规模,保证其能够与周边生态系统和谐相处。

表 6 昌都市生态保护重要性等级评价结果

Table 6 Evaluation results of the importance levels of ecological protection in Changdu City

区域	极重要		重要		一般重要	
	面积/km <sup>2</sup>	比重/%	面积/km <sup>2</sup>	比重/%	面积/km <sup>2</sup>	比重/%
八宿县	5376.82	43.92	5663.38	46.26	1203.30	9.83
边坝县	4549.25	52.05	3694.33	42.27	497.02	5.69
察雅县	3581.38	43.09	4466.02	53.73	263.97	3.18
丁青县	5691.91	45.62	6106.89	48.94	678.94	5.44
贡觉县	3787.08	59.73	2519.57	39.74	33.29	0.53
江达县	9330.36	70.18	3901.23	29.34	63.02	0.47
卡若区	4685.99	43.18	6055.76	55.80	110.58	1.02
类乌齐县	2741.92	43.27	3408.97	53.80	185.49	2.93
洛隆县	3756.16	46.51	3770.43	46.69	549.33	6.80
芒康县	7098.54	61.81	4090.28	35.62	294.88	2.57
左贡县	5792.98	49.68	4087.91	35.06	1779.99	15.26
合计	56392.41	51.35	47764.76	43.49	5659.81	5.15

### 5.3 展望

相较于传统的生态适宜性评价,本文更具有实用性,也存在进一步改进的空间:由于土地开发建设涉及自然、社会、经济一体化系统的多个方面,土地开发建设适宜性评价应同时涵盖生态、社会、经济三个主要方面。本文提出的生态保护重要性对实现土地合理开发具有重要意义。但是本文只考虑了生态适宜性指标,在后续研究中,评价内容将进一步增加农业发展适宜性及社会经济适宜性指标,建立大型工程建设适宜性综合评价体系,在保证生态系统质量的前提下,使土地开发的生态效益、社会效益和经济效益最大化。另一方面,本文涉及的研究区面积超过 10.9 万 km<sup>2</sup>,数据的空间分辨率尚能满足分析的要求,但是对于空间尺度较小的研究区,本文中用到的数据则不能满足评价及数据分析的精度要求,必须寻找分辨率更高的数据或对评价方法进行有针对性的改进。

## 6 结论

本文从青藏高原生态环境特点出发,对生态保护重要性评价方法进行了优化和改进,改进后的评价体系能够充分反映区域生态系统的特色,并突出新时期双碳政策的要求。应用新的方法完成了昌都市生态保护重要性评价,并得到以下结论:

(1)研究区生态系统服务功能评价结果表明区内生态系统服务重要性较高的功能为防风固沙、水源涵养和生物多样性保护,符合研究区作为我国青藏高原生态屏障区中水源涵养和生物多样性保护的基本功能定位。

(2)由于研究区地形复杂且普遍为海拔较高的区域,冻融侵蚀是区内主要的水土流失方式之一,部分区域造成的水土流失量甚至会超过降水引发的水土流失。评价结果表明,冻融侵蚀区面积超过研究区总面积的 45%,其中冻融严重侵蚀区面积超过区域总面积的 11%,且主要集中在海拔较高的八宿县中南部、丁青县北部以及边坝县西北部等地,部分区域为川藏铁路等重点工程穿越的区域,应在后期工作中注意生态保护及相关地质灾害的发生。

(3)昌都市大部分区域处于生态保护极重要区和重要区,总占比超过 94.84%,生态系统服务功能强,但是部分区域生态系统敏感性也较高,在开发过程中需要分区制定生态保护措施并严格落实生态保护工作,降低气候变化背景下各种人类活动对生态系统的不良影响,保障青藏高原生态屏障区的建设。

**致谢:**感谢中国地质调查局王明国高级工程师、昌都市自然资源局尚秀梅副局长对本文的大力支持和协助,以及审稿专家和编辑老师提出的宝贵意见。

## References

- Barral M P, Oscar M N. 2012. Land-use planning based on ecosystem service assessment: A case study in the Southeast Pampas of Argentina[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 154: 34–43.
- Bonnesoeur V, Locatelli B, Guariguata M R, Ochoa-Tocachi B F, Vanacker V, Mao Z, Stokes A, Mathez-Stiefel S-L. 2019. Impacts of forests and forestation on hydrological services in the Andes: A systematic review[J]. *Forest Ecology and Management*, 433: 569–584.

- Cai X, Li Z, Liang Y. 2021. Tempo-spatial changes of ecological vulnerability in the arid area based on ordered weighted average model[J]. *Ecological Indicators*, 133: 108398.
- Guo Bing, Jiang Lin. 2017. Evaluation of freeze-thaw erosion in Qinghai-Tibet Plateau based on multi-source data[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 37(4): 12-19 (in Chinese with English abstract).
- Guo Changbao, Zhang Yongshuang, Jiang Wenliang, Shi Jusong, Meng Wen, Du Yuben, Ma Chuntian. 2017. Discussion on the environmental and engineering geological problems along the Sichuan Tibet Railway and its adjacent area[J]. *Geoscience*, 31(5): 877-889 (in Chinese with English abstract).
- Guo Kun. 2018. Study on Vegetation Restoration and Selection of Sand-tolerant Grass species in Severe Sandy Land along the Qinghai-Tibet Railway[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 1-59 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Yuehua, Ni Huayong, Zhou Quanping, Cheng Zhiyan, Duan Xuejun, Zhu Zhimin, Wu Jicun, Ren Haiyan, Fan Chenzi, Yang Jinwei, Chen Chao, Hu Jian, Wang Xiaolong, Jiang Xiaye, Liu Yongbing, Yang Hai, Guo Wei, Feng Naiqi, Wei Guagnqing, Jin Yang, Yang Hui, Liu Lin, Mei Shijia, Zhang Hong, Chen Pengjun, Yuan Jihai, Qi Qiujun, Lü Jinsong, Gu Xuan, Liu Peng. 2021. Key technology of ecological restoration demonstration in the Yangtze River Economic Zone and its application[J]. *Geology in China*, 48(5): 1305-1333 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yi, Shi Peidong, Liu Miao, Xu Kairan, Zhang Ning, Jiang Peng, Wang Weijia, Jiang Yuge. 2024. Spatial pattern of water conservation function and ecological management suggestions in the catchment area of the upper reaches of Qinhe River in the Yellow River Basin from 1990 to 2020[J]. *Geology in China*, 51(6): 1917-1929 (in Chinese with English abstract).
- Mo Xuanxue. 2010. A review and prospect of geological researches on the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Geology in China*, 37(4): 841-853 (in Chinese with English abstract).
- Naidoo R, Balmford A, Costanza R, Fisher B, Green R E, Lehner B, Malcolm T, Ricketts T H. 2008. Global mapping of ecosystem services and conservation priorities[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(28): 9495-9500.
- Nie Y, Liu W, Liu Q, Hu X, Westoby M J. 2020. Reconstructing the Chongbaxia Tsho glacial lake outburst flood in the Eastern Himalaya: Evolution, process and impacts[J]. *Geomorphology*, 370: 107393.
- Niu Xiaonan, Ni Huan, Chen Guoguang, Zhang Dingyuan, Zhang Jing, Zhang Jie, Wu Jiayu. 2022. Evaluation of ecological conservation importance of Fujian Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 42(3): 1-12 (in Chinese with English abstract).
- Opdam P, Nassauer J I, Wang Z, Albert C, Bentrup G, Castella J-C, Mcalpine C, Liu J, Sheppard S, Swaffield S. 2013. Science for action at the local landscape scale[J]. *Landscape Ecology*, 28(8): 1439-1445.
- Peng J, Liu Z, Liu Y, Wu J, Han Y. 2012. Trend analysis of vegetation dynamics in Qinghai-Tibet Plateau using Hurst Exponent[J]. *Ecological Indicators*, 14(1): 28-39.
- Peng J, Zhao S, Dong J, Liu Y, Meersmans J, Li H, Wu J. 2019. Applying ant colony algorithm to identify ecological security patterns in megacities[J]. *Environmental Modelling & Software*, 117: 214-222.
- Ren Dezhi, Ge Liwen, Wang Ruihong, Zhang Na, Pan Gang. 2016. Carbon storage and spatial pattern of forest vegetation in Changdu, Tibet[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 35(4): 903-908 (in Chinese with English abstract).
- Ruiz M, Romero E, Pérez M, Fernández I. 2012. Development and application of a multi-criteria spatial decision support system for planning sustainable industrial areas in Northern Spain[J]. *Automation in Construction*, 22: 320-333.
- Sun X Y, Zhang R J, Huang W, Sun A, Lin L J, Xu H, Jiang D C. 2019. The response between glacier evolution and eco-geological environment on the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *China Geology*, 2(1): 1-7.
- Tucker C J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation[J]. *Remote Sensing and Environment*, 8(2): 127-150.
- Wang C, Tang C, Fu B, Lü Y, Xiao S, Zhang J. 2022. Determining critical thresholds of ecological restoration based on ecosystem service index: A case study in the Pingjiang catchment in southern China[J]. *Journal of Environmental Management*, 303: 114220.
- Wang Chenghu, Gao Guiyun, Yang Shixin, Yao Rui, Hung Luyuan. 2019. Analysis and prediction of stress fields of Sichuan-Tibet railway area based on contemporary tectonic stress field zoning in Western China[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 38(11): 2242-2253 (in Chinese with English abstract).
- Wang Lixia, Zou Chagnxin, Wang Yan, Lin Naifeng, Wu Dan, Jiang Hong, Xu Delin. 2017. Methods to identify the boundary of ecological protection red line regions using GIS: A case study in Changping, Beijing[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 37(18): 6176-6185 (in Chinese with English abstract).
- Wang Liyan, Xiao Yan, Jiang Ling, Ouyang Zhiyun. 2017. Assessment and analysis of the freeze-thaw erosion sensitivity on the Tibetan Plateau[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 39(1): 61-69 (in Chinese with English abstract).
- Wang Siyuan, Zhao Minmin, Yan Jing, Ma Xin, Diao Yujie, Fu Lei, Luo Qian. 2021. Evaluation on the importance of ecological protection in Changdu section of the Sichuan-Tibet railway[J]. *Geoscience*, 35(1): 234-243 (in Chinese with English abstract).
- Wu J. 2013. Landscape sustainability science: Ecosystem services and human well-being in changing landscapes[J]. *Landscape Ecology*, 28(6): 999-1023.
- Xiang J, Li X, Xiao R, Wang Y. 2021. Effects of land use transition on ecological vulnerability in poverty-stricken mountainous areas of China: A complex network approach[J]. *Journal of Environmental*

- Management, 297: 113206.
- Xu Mo, Jiang Liangwen, Li Xiao, Qi Jihong, Zhang Qiang, Li Xiao. 2021. Major engineering hydrogeological problems along the Ya'an-Linzhi section of the Sichuan-Tibet Railway[J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 48(5): 13-22 (in Chinese with English abstract).
- Xue Yiguo, Kong Fanmeng, Yang Weimin, Qiu Daohong, Su Maoxin, Fu Kang, Ma Xinmin. 2020. Main unfavorable geological conditions and engineering geological problems along Sichuan-Tibet railway[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 39(3): 445-468 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Q, Yuan R, Singh V P, Xu C Y, Fan K, Shen Z, Wang G, Zhao J. 2022. Dynamic vulnerability of ecological systems to climate changes across the Qinghai-Tibet Plateau, China[J]. *Ecological Indicators*, 134: 108483.
- Zhao Y, Chen D, Fan J. 2020. Sustainable development problems and countermeasures: A case study of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Geography and Sustainability*, 1(4): 275-283.
- Zhao Z, Liu J, Peng J, Li S, Wang Y. 2015. Nonlinear features and complexity patterns of vegetation dynamics in the transition zone of North China[J]. *Ecological Indicators*, 49: 237-246.
- Zheng Guangyu, Song Ci, Wu Zhanbo, Luo Yunwu, Huang Jubin, Li Hao, Cheng Chang. 2021. Study on the influence of linear engineering on regional vegetation in southeast Tibet Plateau[J]. *Journal of Geological Hazards and Environment Preservation*, 32(2): 110-112 (in Chinese with English abstract).
- 郭兵, 姜琳. 2017. 基于多源地空耦合数据的青藏高原冻融侵蚀强度评价[J]. *水土保持通报*, 37(4): 12-19.
- 郭长宝, 张永双, 蒋良文, 石菊松, 孟文, 杜宇本, 马春田. 2017. 川藏铁路沿线及邻区环境工程地质问题概论[J]. *现代地质*, 31(5): 877-889.
- 郭坤. 2018. 青藏铁路沿线严重沙化段植被恢复及耐沙埋草种筛选研究[D]. 北京: 北京林业大学, 1-59.
- 姜月华, 倪化勇, 周权平, 程知言, 段学军, 朱志敏, 吴吉春, 任海彦, 范晨子, 杨晋炜, 陈超, 胡建, 王晓龙, 姜夏焯, 刘永兵, 杨海, 郭威, 冯乃琦, 魏广庆, 金阳, 杨辉, 刘林, 梅世嘉, 张鸿, 陈澎军, 袁继海, 齐秋菊, 吕劲松, 顾轩, 刘鹏. 2021. 长江经济带生态修复示范关键技术及其应用[J]. *中国地质*, 48(5): 1305-1333.
- 刘义, 史佩东, 刘森, 许凯然, 张宁, 姜鹏, 王玮迦, 姜禹戈. 2024. 1990—2020 年黄河流域沁河上游汇水区水源涵养功能空间格局与生态治理建议[J]. *中国地质*, 51(6): 1917-1929.
- 莫宣学. 2010. 青藏高原地质研究的回顾与展望[J]. *中国地质*, 37(4): 841-853.
- 牛晓楠, 倪欢, 陈国光, 张定源, 张景, 张洁, 吴佳瑜. 2022. 福建省生态保护重要性评价[J]. *生态学报*, 42(3): 1-12.
- 任德智, 葛立雯, 王瑞红, 张娜, 潘刚. 2016. 西藏昌都地区森林植被碳储量及空间分布格局[J]. *生态学杂志*, 35(4): 903-908.
- 王成虎, 高桂云, 杨树新, 姚瑞, 黄禄渊. 2019. 基于中国西部构造应力分区的川藏铁路沿线地应力的状态分析与预估[J]. *岩石力学与工程学报*, 38(11): 2242-2253.
- 王丽霞, 邹长新, 王燕, 林乃峰, 吴丹, 姜宏, 徐德琳. 2017. 基于 GIS 识别生态保护红线边界的方法——以北京市昌平区为例[J]. *生态学报*, 37(18): 6176-6185.
- 王莉雁, 肖焱, 江凌, 欧阳志云. 2017. 青藏高原冻融侵蚀敏感性评价与分析[J]. *冰川冻土*, 39(1): 61-69.
- 王思源, 赵敏敏, 闫晶, 马鑫, 刁玉杰, 付雷, 罗倩. 2021. 川藏铁路西藏昌都段生态保护重要性评价[J]. *现代地质*, 35(1): 234-243.
- 许模, 蒋良文, 李潇, 漆继红, 张强, 李晓. 2021. 川藏铁路雅安至林芝段重大工程水文地质问题[J]. *水文地质工程地质*, 48(5): 13-22.
- 薛翊国, 孔凡猛, 杨为民, 邱道宏, 苏茂鑫, 傅康, 马新民. 2020. 川藏铁路沿线主要不良地质条件与工程地质问题[J]. *岩石力学与工程学报*, 39(3): 445-468.
- 郑光玉, 宋词, 吴展波, 罗运武, 黄炬斌, 黎灏, 陈畅. 2021. 青藏高原东南部线性工程对区域植被的影响研究[J]. *地质灾害与环境保*, 32(2): 110-112.

## 附中文参考文献

- 郭兵, 姜琳. 2017. 基于多源地空耦合数据的青藏高原冻融侵蚀强度评价[J]. *水土保持通报*, 37(4): 12-19.
- 郭长宝, 张永双, 蒋良文, 石菊松, 孟文, 杜宇本, 马春田. 2017. 川藏铁路沿线及邻区环境工程地质问题概论[J]. *现代地质*, 31(5): 877-889.
- 郭坤. 2018. 青藏铁路沿线严重沙化段植被恢复及耐沙埋草种筛选