

# 西藏高原生态安全研究

钟祥浩<sup>1</sup>, 刘淑珍<sup>1</sup>, 王小丹<sup>1</sup>, 李辉霞<sup>2</sup>, 周伟<sup>3</sup>, 李祥妹<sup>4</sup>

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 2. 佛山科学技术学院, 广东 佛山 588000  
3. 河海大学, 江苏 南京 210098; 4. 南京农业大学, 江苏 南京 210014)

**摘要:** 西藏高原是青藏高原的主体, 其平均海拔达 4 727 m, 有“地球第三极”之称, 生态环境十分脆弱, 高原地形与生态屏障作用对我国乃至亚洲地区生态安全产生重要影响。基于西藏高原脆弱生态环境和独特生态系统不受破坏、生态系统服务功能与人类生存发展相协调, 并对邻近区域环境起到安全保障作用为目的的生态安全进行研究, 围绕人类与生态环境之间的相互关系, 以生态学、生态经济学和可持续发展原理为指导, 采用“3S”技术、野外调查和数理统计相结合的方法, 对西藏生态环境问题与成因、经济社会发展对生态环境的影响、生态系统服务功能区域分异, 生态承载力与生态风险对生态安全影响等进行了系统调查与评价。通过多学科综合集成, 揭示了生态环境脆弱度、人类干扰度和生态安全空间格局, 构建了西藏高原生态安全屏障保护与建设体系, 为维护西藏高原生态安全和保障区域社会经济可持续发展提供了科学依据。

**关键词:** 西藏高原; 生态安全; 生态安全屏障

中图分类号: X 144 X 171. 1

文献标识码: A

西藏高原是青藏高原的主体, 由藏北高原、藏南山原湖盆地、藏东高山深谷和喜马拉雅高山四大地貌区组成, 涵盖了整个西藏自治区。其面积约占青藏高原面积的一半, 平均海拔达 4 727 m, 其中海拔 4 500 m 以上面积占西藏自治区面积的 80%, 有“世界屋脊”和“地球第三极”之称。西藏高原地形与生态屏障作用不仅影响到高原内部环境与生态过程, 而且通过生态过程与高原面地表过程的耦合, 对高原边缘地区乃至亚洲地区的生态安全产生深刻的影响。高原山地生态环境具有脆弱性特征, 对外力作用的响应极为敏感, 微小的环境变化就可引起生态系统结构与功能的改变, 其改变不仅引起高原热力、动力过程的变化, 而且产生一系列生态过程的变异, 进而对区域生态环境和高原周边地区生态安全构成威胁。

在全球变化和人类活动影响下, 西藏高原山地自然生态系统结构与功能不同程度地偏离了原有的

自然规律, 表现为冻融作用、草地退化、土地沙化、水土流失和环境灾害等过程的加速, 原有的保水、保土、防风固沙和生物多样性维持等功能被削弱, 以致于在一些地方出现了生态不安全, 人类生命财产受到威胁, 区域可持续发展的环境基础受到破坏, 高原周边区域生态环境安全受到影响。以系统论思想和可持续发展理论为指导, 整体研究和设计西藏高原生态安全调控途径, 开创性地集成高原脆弱生态区域资源利用、生态环境保护与经济社会和谐发展新途径, 提出符合西藏实际, 并能有效促进生态环境与社会经济协调发展的对策显得十分的必要, 意义重大。

## 1 总体思路

### 1.1 生态安全内涵

20世纪 60年代以来, 全球性环境问题特别是温室效应带来的全球气候变化日趋突出且严重, 全

收稿日期 (Received date): 2009-11-12.

基金项目 (Foundation item): 西藏高原生态环境脆弱性与生态安全预警系统研究 (编号: 2004CCA03600)。[Supported by study of Eco-environmental Fragility and Ecological Security Warning System (No 2004 CCA03600).]

作者简介 (Biography): 钟祥浩 (1942-), 男 (汉族), 广东五华人, 研究员。主要从事山地环境与生态研究。[Zhong Xianghao (1942-), male research professor, engaged in the research of mountain environment and ecology.]

球性环境退化已威胁到人类的生存与发展,对生态安全的企求和研究,成为全世界关注的热点。国内外许多学者从不同角度提出了生态安全的定义<sup>[1-6]</sup>,但是到目前尚无一致的认识。根据我们在西藏的研究实践,认为生态安全是指一个国家或一个区域人类生存和发展所需的生态系统服务功能处于不受或少受破坏与威胁状态,使生态环境保持既能满足人类和生物群落持续生存与发展的需要,又能使生态环境自身的能力不受损害,并使其与经济社会处于可持续发展的良好状态。可见,保障一个国家或一个区域的生态安全,首要任务是保护这个国家或地区的生态环境能力,使人类生存和发展所处的生态环境保持良性循环,保持以土地、水体、大气和生态系统服务功能等资源为体现的“自然资本”的保值增值和永续利用。

### 1.2 总体思路

要实现高寒环境条件下的高原生态安全,首先需要研究高原生态系统与地理系统之间的相互依存关系及其调控方法与途径,其中关键是如何处理好“保护”与“发展”的矛盾,明确为什么保护?保护什么?在哪里保护和如何保护?明确为什么发展?发展什么?在哪里发展和如何发展?因此,解决保护与发展矛盾的调控途径至关重要。本研究以生态学、生态经济学和可持续发展原理为指导,系统开展

西藏高原人类社会经济发展与生态环境相互关系的研究。首先从生态环境现状调查入手,开展以冻融作用为主的生态环境脆弱性、生态系统服务功能重要性区域分异、人类负荷与生态承载力及社会经济条件调查与评价。在此基础上,通过多学科融合和综合集成,揭示西藏高原生态安全空间格局,从有利于西藏脆弱生态环境保护与经济社会可持续发展的更高层次上,构建西藏高原国家生态安全屏障,并提出屏障结构、布局 and 生态安全屏障保护与建设体系,建立多层次、有序化生态系统结构与格局,使生态系统服务功能得到最优发挥,既能满足人类物质产品的需要,又使生态环境能力不受到损害,最终实现生态环境与社会经济可持续发展的生态安全目标(图 1)。

## 2 技术路线与工作方法

### 2.1 技术路线

本研究以国家科技部前期重大基础研究项目——《西藏高原生态环境脆弱性与生态预警系统研究》为依托,以 1990年代后期以来有关我们在西藏完成的生态环境调查资料和研究成果为基础,以西藏自治区环保局和发改委有关项目任务为支撑,围绕西藏高原生态安全研究总体思路,设计出本项目研究技术路线(图 2)。

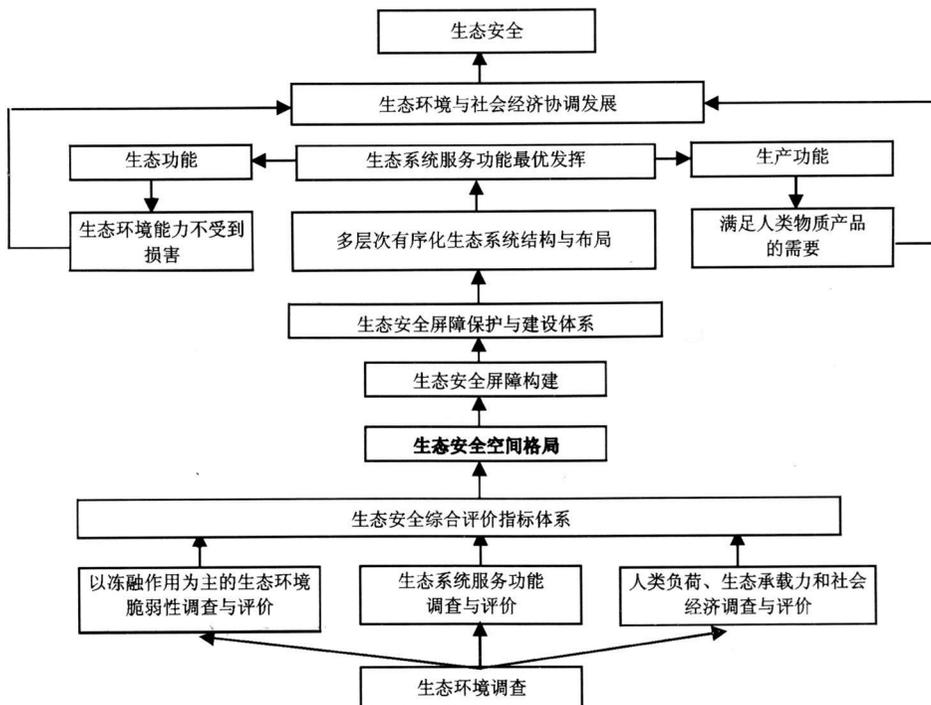


图 1 西藏高原生态安全研究总体思路

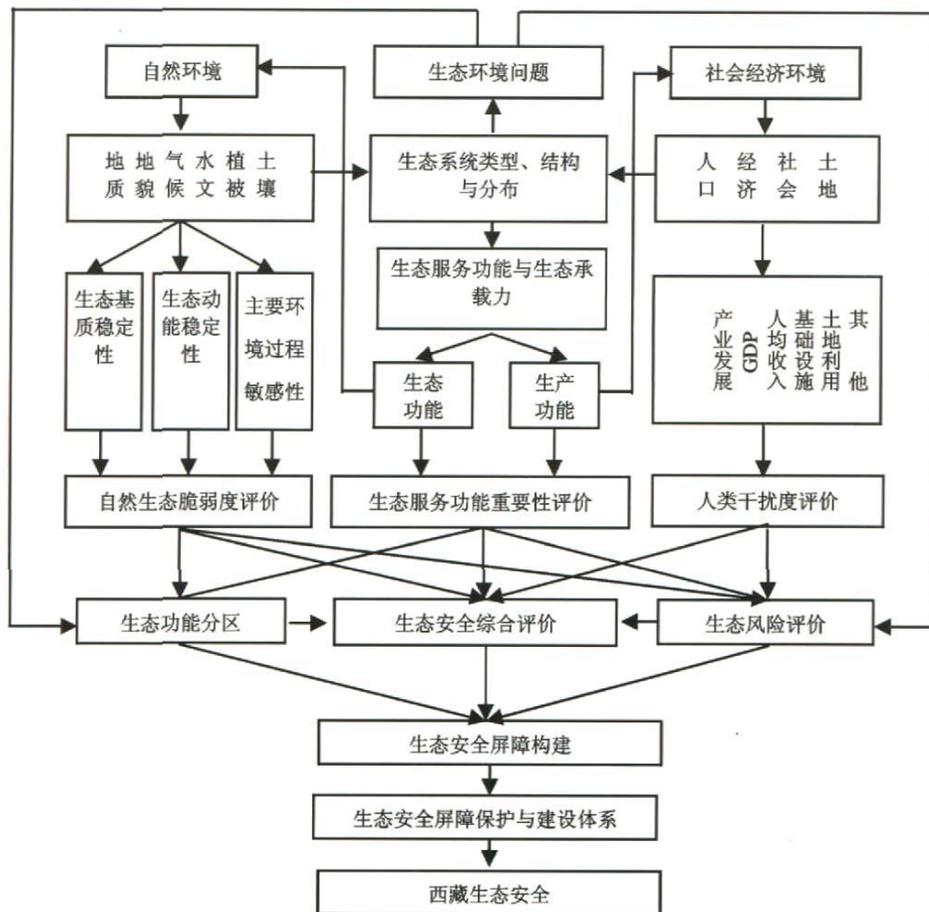


图 2 青藏高原生态安全研究技术路线

Fig. 2 Technical route of ecological security research on the Tibet Plateau

首先,从自然环境背景调查入手及对已有成果资料进行收集整理<sup>[7,8]</sup>,对自然生态系统赖以生存发展的自然地理要素进行生态环境脆弱性分析,分析内容包括地质、地貌、土壤等生态基质对生态系统稳定性影响,气候、水文等生态动能对生态系统稳定性影响,以及主要地表环境过程(土壤侵蚀、土地沙化以及崩塌、滑坡和泥石流等)对外力作用的敏感性分析。通过生态系统生态基质和生态动能不稳定性以及主要地表环境过程敏感性的分析,完成西藏自然生态环境脆弱度评价,揭示西藏自然生态环境脆弱度空间分布特征。第二,开展区域社会经济调查与分析,重点对西藏人口、经济、社会发展及土地利用结构特点及其发展态势对生态环境的影响进行调查与综合评价,揭示人类社会经济活动对自然生态环境干扰度空间差异特点。第三,对生态环境问题进行调查研究。重点调查在自然环境系统和社会经济环境系统相互作用下产生的植被退化、土地沙化、水土流失和环境灾害等生态环境问题。这些生

态环境问题主要是通过生态系统结构和功能的改变形成的。为此,需要对区域生态系统类型、分布及其结构与功能进行调查,重点对生态系统生态服务功能与生态承载力作出分析,揭示生态系统服务功能重要性的地域差异特征。最后,通过对自然生态环境脆弱度、人类干扰度和生态服务功能评价结果的综合分析,完成生态功能分区和生态风险评价。在此基础上,通过系统综合与集成,作出生态安全区域差异性综合评价;依据生态安全空间格局,结合西藏生态环境保护与建设以及社会经济发展的实际需要,构建青藏高原生态安全屏障保护与建设体系,最终为实现西藏生态安全目标提供支撑。

## 2.2 工作方法

依据本项目研究基本思路和技术路线,采用遥感解译与地面调查相结合、典型样区调查与区域模型相结合、专题调查与综合分析相结合、定性分析与定量计算相结合等方法,对自然和社会经济环境现状、生态环境问题及其成因、自然生态环境脆弱

性、生态系统服务功能、生态承载力与生态风险等进行系统深入的调查与分析。在 GIS 技术支持下,建立自然-社会经济信息系统。通过数量化理论与方法,使定性变量转化成定量变量,使复杂的评价工作转化为相应的判别数学模式。在此基础上,对西藏生态安全进行综合集成,进而得出直接服务于实现西藏生态安全目标的相关结果。

### 3 结果与分析

#### 3.1 生态环境脆弱性与脆弱度

青藏高原生态环境脆弱性主要表现为生态系统对外力作用的不稳定性和敏感性<sup>[9]</sup>。不稳定性是指生态系统自身结构与功能以及系统所处环境因素的易变性;敏感性是指生态系统在外力作用下产生生态环境问题的可能性大小<sup>[9]</sup>。在对人类和生物赖以生存发展的自然环境要素及主要地表过程的调查中,基于西藏生态基质与能量不稳定性特点,开展了地质、地貌、土壤、植被及气候与水文等要素对生态系统稳定性的影响评价;同时,基于西藏主要地表水土过程对外力作用敏感性特点,完成了水土流失敏感性、土地沙化敏感性和生境敏感性评价。通过对生态基质与能量不稳定性及主要地表过程敏感性

评价结果的综合集成,得出西藏生态环境脆弱度空间分异规律,并首次编制了西藏生态环境脆弱度分级与分区图(图 3)。结果表明,西藏生态环境脆弱度在中度以上(含中度)的区域面积达  $1.03 \times 10^6 \text{ km}^2$ ,占西藏国土面积的 86.1%,其中极度脆弱和高度脆弱占中度脆弱以上面积的 65.4%。可见,西藏生态环境具有整体脆弱的特点,其中高度和极度脆弱区主要分布于羌塘高原和藏东及藏东南高山峡谷区。这些地区在相同外力作用下,生态系统变异及由此出现各种生态环境问题的概率比其他地区高,造成的危害及潜在损失价值(如珍稀特有物种消失)比其他地区严重。

#### 3.2 生态系统服务功能重要性区域差异

生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存发展的自然环境条件与效用<sup>[10]</sup>,可概括为提供人类物质产品的生产功能和维持人类生存环境良性循环的生态功能两大方面。

前人对西藏生态系统生产力做过不同程度的研究与评价。依据李文华等人对西藏各县植被总生物量的估算<sup>[8]</sup>,每公顷总生物量从藏东南大于 80 t 到藏西北降为不足 5 t 呈现明显的水平带状递减规律。本项目采用 MODIS-NDVI 方法,完成了全自治

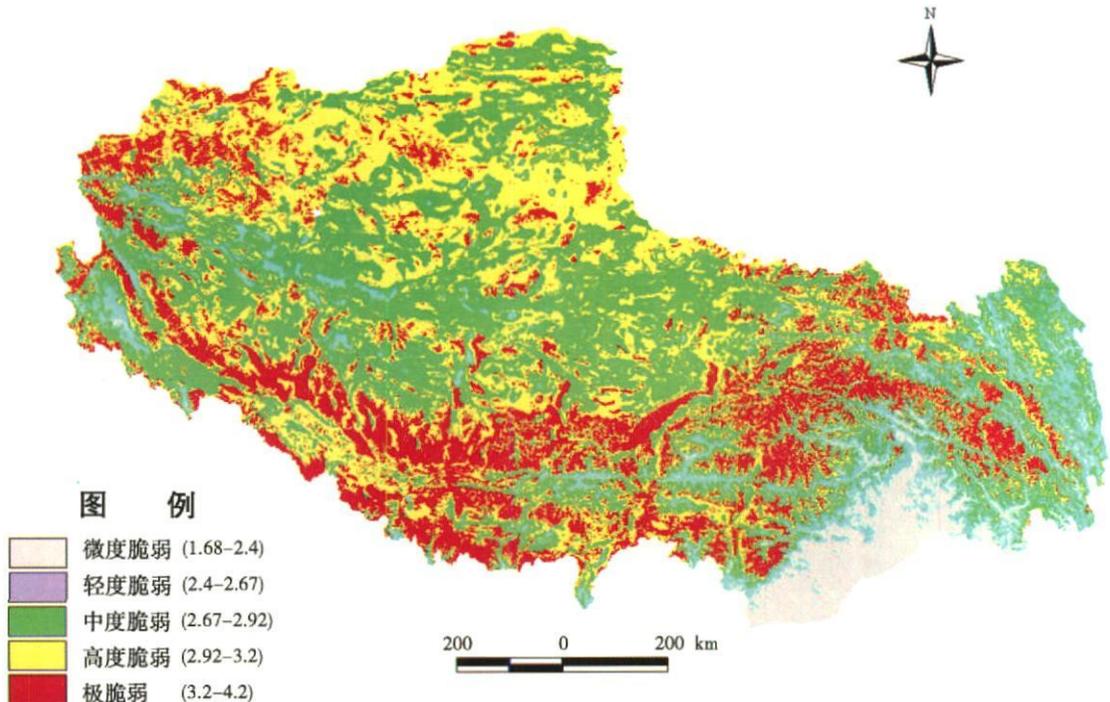


图 3 青藏高原生态环境脆弱度分级与分区图

Fig. 3. Distribution map of eco-environmental fragile degree on the Tibet plateau

区最大植被指数空间分布评价, 并作出了基于植被指数的西藏生态系统生产功能重要性空间分级与分布图。此外, 对西藏农田生态系统的粮食产出及与人口增长对粮食需求关系进行了分析, 结果表明, 在西藏人口增长率保持 10.4%, 不增加耕地面积、粮食单产按 2.13% 速度增加和不输入外来粮食情况下, 全自治区粮食安全可以保障。入户调查表明, 西藏农牧民粮食消费已有相当部分来自区外粮食, 特别是大米、面粉, 在西藏有较大市场, 多数农户有较多小麦剩余存粮。

西藏生态系统生态功能较之于生产功能的影响更为广泛和深刻, 它不但维持了生态系统自身生存环境质量的不变, 而且通过生态系统生态功能具有流动性特点, 影响和维持周边地区乃至中下游更远地区的环境安全。通过西藏主要植被类型、结构及对降水截流和相应土壤储水性能等特点的调查研究, 完成了西藏水源涵养功能重要性分级与分区评价。在完成主要河流、大中城市和县城城镇与土壤保持功能重要性评价基础上, 结合土壤侵蚀敏感性与土壤保持功能重要性关系的转换, 完成了西藏土壤保持功能分级与分区评价。以土地沙漠化敏感性评价结果为基础, 依据沙漠化直接影响目标的重要性, 对西藏土地沙漠化控制功能重要性进行了分级与分区评价。

基于上述各项生产与生态功能重要性评价结果的集成综合, 得出西藏生态系统服务功能重要性空间分异规律(图 4)。

### 3.3 生态环境脆弱性与社会经济关系

在全面调查西藏经济社会发展现状、特点和问题基础上, 对不同生态环境脆弱区农牧民经济收入、消费结构状况进行了深入分析, 发现生态环境脆弱度高的区域, 农牧民收入水平低, 消费结构简单, 收入中用于生活性支出的比例高, 表现出基尼系数与生态环境脆弱度显著相关。

在分析西藏社会经济对生态环境影响关系基础上, 选择人口发展、放牧强度、垦殖和公路交通建设等要素, 开展人类活动干扰度评价。通过人口密度、放牧度、垦殖指数和公路密度等单项指标评价基础上的综合, 得出西藏人类活动干扰度空间格局(图 5)。结果表明, 西藏人类干扰度区域差异明显, 总体处于低干扰状态, 仅局部区域处于中等干扰强度水平, 这为区分全球变化和人类活动对高原生态环境的影响奠定了基础, 也为西藏生态保护与建设规

划和环境管理决策的制定提供了依据。

### 3.4 生态安全的空间格局

在生态环境脆弱度、生态服务功能重要性、人类社会经济发展干扰度和生态风险评价基础上, 结合西藏生态功能分区资料, 构建了高原高寒生态安全综合评价指标体系。运用专家知识库和层次分析法确定评价指标权重, 计算出生态安全综合评价指数, 在 GIS 技术支持下, 完成了西藏生态安全综合评价(图 6)。结果表明, 目前处于不安全(V 级)和较不安全(IV 级)状态区域面积占西藏国土面积的 48.1%, 处于安全(I 级)和较安全(II 级)状态区域面积分别占西藏国土面积的 2.7% 和 7.5%, 而处于基本安全(III 级)状态, 即不同程度地受人类活动和全球气候变化影响, 但尚未出现明显的生态环境问题, 其面积占西藏国土面积的 41.7%。

### 3.5 高原生态安全屏障保护与建设体系

具有“世界屋脊”之称的西藏高原地形屏障作用, 为世人所关注, 其作用主要表现为对物流和能流等的阻挡、阻滞与分流, 在空间上产生大尺度的环境效应, 对我国东部乃至亚洲生态环境安全带来影响。发育于该高原山地上的生态系统的生态屏障作用, 主要表现为对物流和能流的储存、缓冲和过滤等, 这些生态过程产生地表热、动力效应, 对环境过程起重要的调节作用, 进而对高原区域及其周边地区生态环境安全带来重要影响。基于高原生态屏障作用在地形屏障作用基础上的叠加效应, 对高原自身和周边区域环境安全带来重大影响的认识, 提出西藏高原生态安全屏障的概念内涵: 当西藏高原山地条件下的生态系统服务功能与生态过程处于良性循环状态, 在空间上形成多层次结构和有序化的稳定格局, 不但与其所在区域自然环境相协调, 而且与其所在区域人文环境相和谐, 就能给人类生存和发展提供可持续发展的物质和环境服务, 并对相邻环境乃至更大尺度环境安全起着一定的保障作用。

依据西藏生态安全空间格局, 综合考虑主要生态系统的相似性和地貌格局与地貌类型组合特征的相似性, 生态环境与社会经济条件组合特征的相似性, 以及生态环境与社会经济条件组合特征的相对一致性, 将西藏分为 3 个生态安全屏障区和 13 个亚区(图 7)。在明确每个生态安全屏障区(亚区)功能定位基础上, 对各区生态系统类型、分布及其资源地位和功能重要性进行了分析, 提出西藏高原生态安全屏障保护与建设体系。

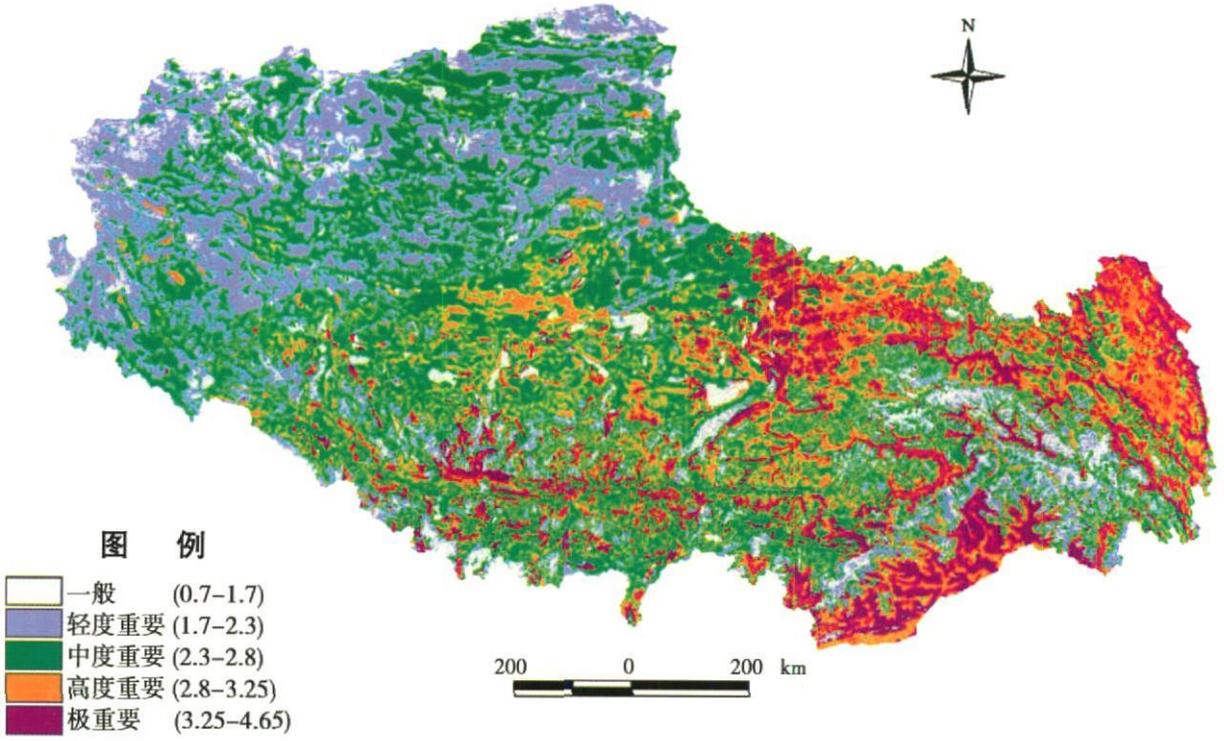


图4 青藏高原生态系统服务功能重要性空间分异规律  
 Fig. 4 Spatial differences of the ecosystem services on the Tibet plateau

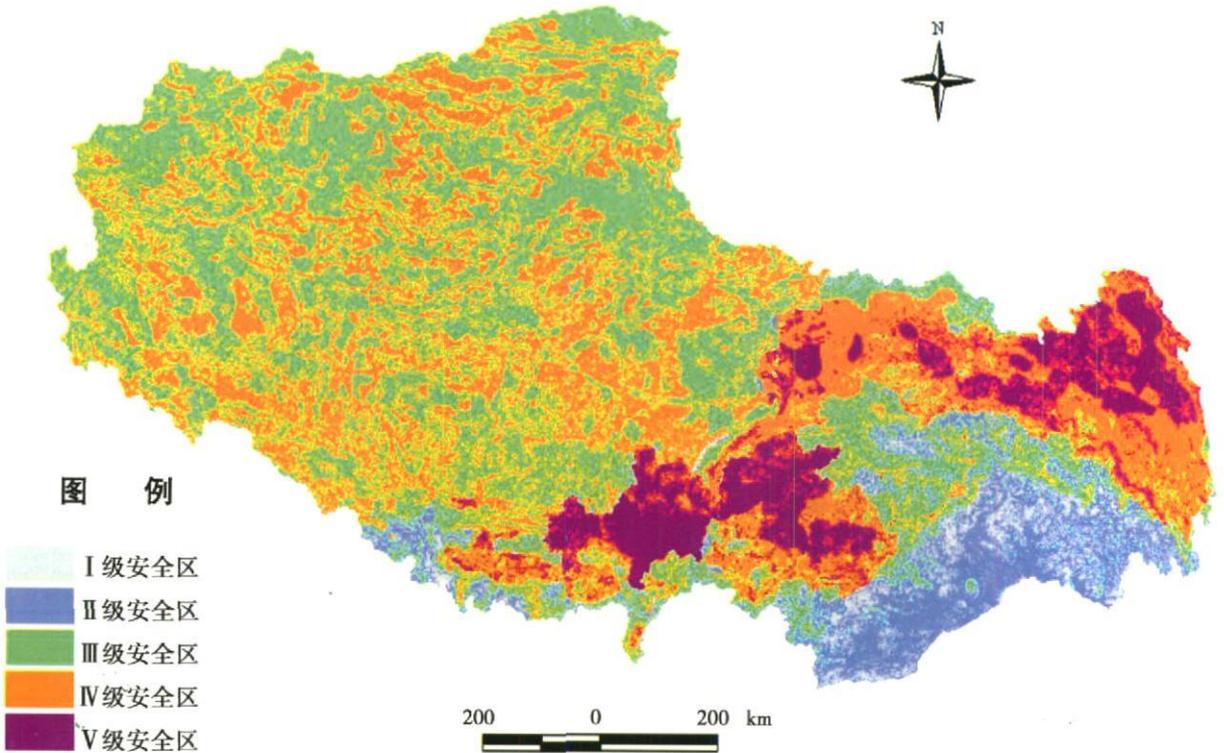


图5 青藏高原人类干扰度空间格局

该体系由 3 个部分组成, 即生态系统保护体系, 生态系统建设体系和生态系统支撑保障体系。各体系区域组成和分布及其建设目标和内容详见图 8

### 3.6 研究方法上的改进与创新

#### 3.6.1 退化草地调查新方法与技术

##### 1. 构建了退化草地评价指标体系

以退化草地生态系统特征为基本依据, 通过藏北高原典型区不同退化草地类型样方样点调查, 构

建了相对完整的退化草地评价指标体系, 突破了以往仅以生物量单一指标或以历史数据为指标的评价方法。评价体系包括草地盖度、建群种、优势种、毒害草、产草量、土壤有机质、紧实度、地表状况、载畜能力、鼠虫害 10 个因子。根据实地调查资料和样方数据, 确定了藏北高原草地中高寒草甸类、高寒沼泽草甸亚类、高寒草原类等主要类型的退化评价标准。

##### 2. 提出了退化草地遥感识别光谱指数

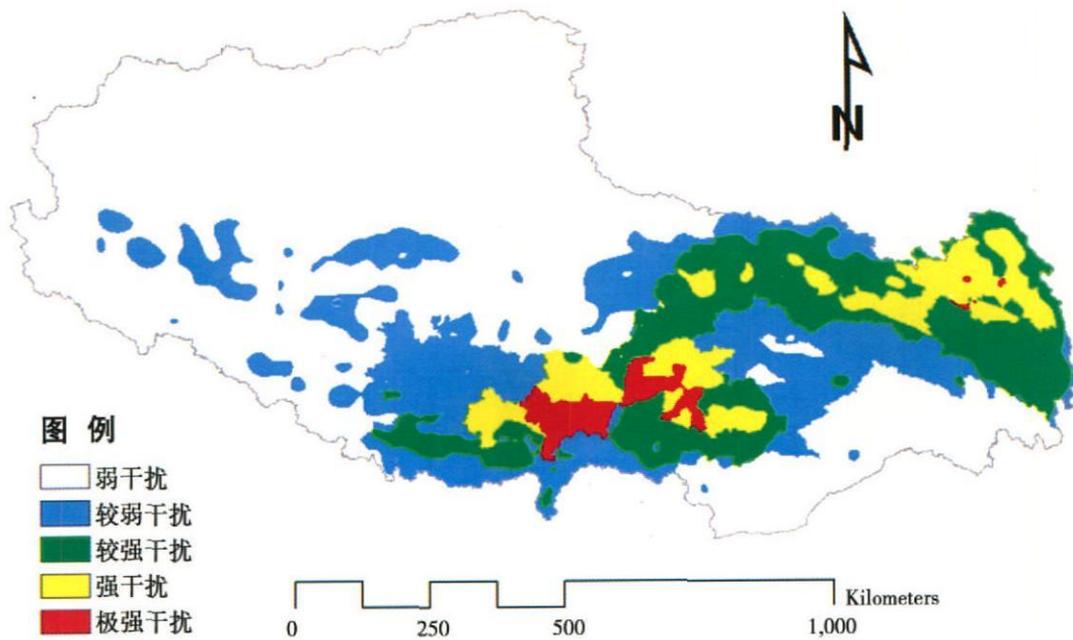


图 6 青藏高原生态安全空间格局

Fig. 6 Spatial pattern of the ecological security on the Tibet platea

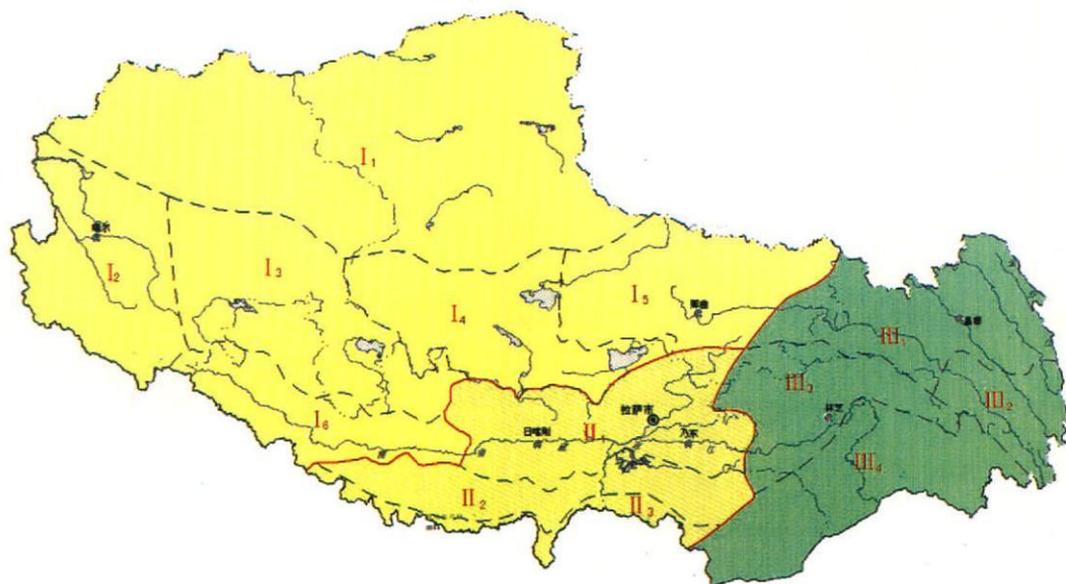


图 7 青藏高原生态安全屏障分区图

Fig. 7 Zonal map of the ecological security shelters on the Tibet Plateau

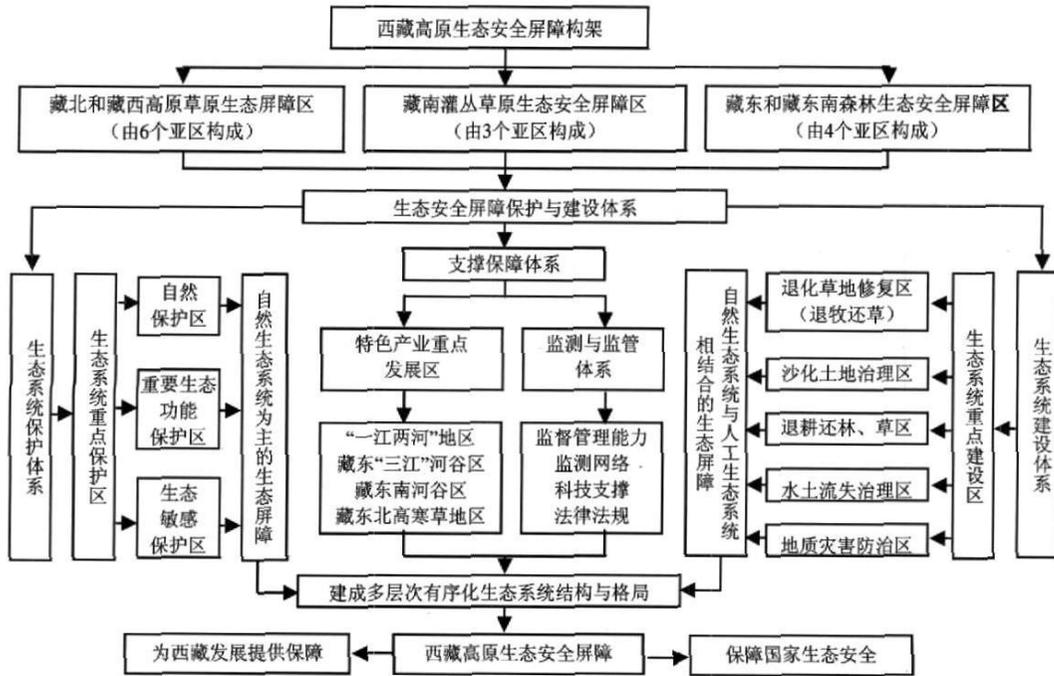


图 8 青藏高原生态安全屏障保护与建设体系

Fig. 8 Systems of protection and construction of the ecological security shelters on the Tibet Plateau

通过不同退化程度草地的光谱曲线和试验区的剖面光谱曲线的分析,发现  $TM_3$ 、 $TM_5$  和  $TM_7$  三个波段为草地退化强度的敏感波段,其中  $TM_5$  波段尤为明显,表现为对水分变化尤为敏感。实地调查发现,退化草地的地表比正常草地干燥,反射率高,即呈现高反射值,草地退化越严重,  $TM_5$  反射值则越高。而  $TM_4$  波段对绿色最敏感,草地长势越好,  $TM_4$  波段反射值越高,反之,则低。显然,  $TM_4/TM_5$  比值增强了不同退化程度草地植被的光谱反射值的差异。为此,我们提出光谱指数 ( $TM_4/TM_5$  比值) 为提取草地退化遥感信息的重要指标。通过反映草地退化的草地盖度、生物量和植株高度三个指标的数学处理得出的草地退化综合指数与  $TM_4/TM_5$  值关系的分析,表明  $TM_4/TM_5$  能很好地反映草地退化的综合信息,并通过实地调查得到了验证。

### 3. 提出了退化草地毒草遥感识别技术

通过遥感影像和大量实地调查发现,藏北高原高寒草地类型区滋生毒草主要有狼毒 (*Stellera Chamejasme*) 和 茎直黄芪 (*Astragalus Strictus Grah. Ex Bond*), 这两种毒草的生境特征与原生草地生境特征有显著差异,表现在土壤干湿程度和地表温度不一样;此外,还发现这两种毒草绿度指数与其周边原生草地相比也有显著差异,毒草的绿度指数高。采用穗帽变换 (TC) 提取反映毒草生境特征的

土壤亮度、植被绿度、温度和湿度等信息。通过调查结果与遥感影像进行比对,在 ENV I 软件支持下,对毒草滋生区生境进行匹配滤波处理,得到反映毒草滋生程度的毒草化指数,指数最小值为 0 最大值为 1,运用遥感影像数据计算得到的毒草化指数可以清晰地判识毒草化程度,精度可达 85% ~ 90%。这为狼毒和茎直黄芪毒草动态变化的监测提供了技术。运用这一技术,我们完成了藏北高原那曲地区高寒草原分布区内这两种毒草空间分布及其退化程度的分级图。

### 3.6.2 建立了基于“稳定发展与波动态势”的生态承载力模型

通过青藏高原典型区人口负荷与生态承载互动过程的综合分析,发现西藏在人口快速增长中的经济社会发展的基本特征,表现为其发展具有一些“稳定因素”的支撑,但同时又受到某些“波动因子”的影响而表现出不稳定(如投资拉动型经济的波动性),在稳定因子和波动因子耦合作用下驱动着经济社会跨越式发展。已有的生态承载力模型研究缺乏在高原高寒环境区域的建模和实证,在设置模型运行环境时普遍缺乏考虑“波动因子”,进而无法分析“波动因子”对经济社会快速发展的不确定作用。为此,本研究引入随机函数 (Normal [Mean, SD]) 和斜坡函数 (Ramp [slope]), 用随机函数表达波动

过程, 用斜坡函数表达稳定过程, 构建联立方程 ( $u_{\text{nite}}[\text{Norm md Ramp}]$ ), 在前人假设、约束和发展模块基础上, 增加了诊断和检验模块, 这两个模块具有对政府已有发展规划目标和决策的可行性进行诊断和检验功能。由此建立了适用于高原高寒环境下的生态承载力模型。

运用该模型在西藏山南地区实地验证表明, 区内面积不足 10% 的宽谷平坝, 承载了占全区 43% 的人口和 59% 的经济总量, 具备较好的经济基础和人口集聚规模, 是支撑未来区域发展的重要经济区。通过 1965~2004 年间山南地区生态环境与社会经济资料的模拟, 发现该地区生态承载力出现退化态势, 退化率为 0.86%, 生态环境脆弱的局部地区人类负荷超出生态承载力高达 2~4.5 倍, 其中水资源承载力有所下降, 而矿产资源和旅游资源对 GDP 的增长和居民增收贡献率大。

### 3.6.3 提出了冻融侵蚀界定方法和冻融侵蚀强度分级评价指标体系

冻融侵蚀是青藏高原最主要的土壤侵蚀类型, 也是高原主要的生态环境问题之一, 为此需要解决高原冻融侵蚀区的界定问题。本研究通过有关文献资料分析和多达 186 个样点的调查, 提出青藏高原冻融侵蚀下界海拔的计算公式

$$H = 1.21 \times 10^4 - 164.35N - 25.70E$$

式中  $H$  为冻融侵蚀区下界海拔 (m),  $N$  为纬度 ( $^{\circ}$ ),  $E$  为经度 ( $^{\circ}$ )。

根据这个公式, 运用 GIS 技术, 计算了青藏高原不同区域冻融侵蚀区分布的下界海拔, 在冻融侵蚀下界海拔以上区域剔除冰川区、裸岩区和沙砾化分布区后, 首次获得了西藏冻融侵蚀区分布范围为  $6.6432 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 占整个西藏自治区面积的 55.3%, 其中, 那曲、阿里、拉萨、昌都和日喀则地区(市)冻融侵蚀区面积占该区(市)国土面积分别为 71.9%、67.6%、57.7% 和 47.6%; 那曲地区的巴青、聂荣、嘉黎、比如冻融侵蚀区面积占该县面积都在 90% 以上。

本研究在大量实地调查并综合分析冻融侵蚀影响因子基础上, 筛选出了对冻融侵蚀有重要影响的因子, 在此基础上, 建立了青藏高原冻融评价指标体系, 在 GIS 平台支持下, 完成了西藏冻融侵蚀强度分级评价(分微度、轻度、中度、强度), 并首次编制了西藏冻融侵蚀分布图, 其中, 中度和强度冻融侵蚀区面积分别占西藏国土面积的 14.8% 和 7.7%。

### 3.6.4 改进了土壤非线性特征的计算方法

在对青藏高原生态环境问题调查中, 从微观上对西藏干旱和半干旱区土壤退化特征进行了实地调查与采样分析。在此基础上, 综合分析了土壤非线性特征与土壤风蚀、土壤肥力之间的定量关系, 把土壤的非线性特征与生态环境和人类活动进行系统集成, 改进了土壤非线性特征的计算方法, 从而解决了前人研究中函数不连续的问题, 为制定高寒干旱环境下土壤的保护与管理措施提供了依据。

结语: 依据本项目研究成果, 由我们作为技术负责编制的《西藏生态安全屏障保护与建设规划》于 2009-02-18 得到了温家宝总理主持国务院常务会议审议通过。通过《规划》的实施, 将产生重大生态环境效益和社会经济效益, 可以提升我国在全球环境保护中负责任的大国形象, 为和谐西藏的建设起着重要的保障作用。本项目研究成果荣获 2009 年国家科技进步二等奖。本项目研究得到了西藏自治区发展与改革委员会、自治区环境保护局等有关部门及相关人员的大力支持, 在此表示衷心感谢! 参加本项目研究的主要成员还有张永泽、鄢燕、张建国、朱万泽和陶和平等 37 人, 他们为本项目成果的取得作出了重要贡献。

### 参考文献 (References)

- [1] Cui Shenghui, Hong Huasheng, Huang Yunfeng *et al*. Progress of Ecological Security[M]. Beijing: Scientific and Technological Press in Beijing, 1984[崔胜辉, 洪华生, 黄云凤, 等. 生态安全研究进展[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1984]
- [2] Ullman Richard H. Redefining Security[J]. *International Security*, 1983, 8(1): 129~153
- [3] World Environment and Development Committee. Our Common Future[M]. Changchun: People Press in Jilin, 1997[世界环境与发展委员会. 我们共同的未来[M]. 长春: 吉林人民出版社, 1997]
- [4] Geoffrey D. Dabelko, David D. Dabelko. Environmental Security: Issues of Conflict and Redefinition. Environmental Change and Security Project (ECSP) Report 1[R].
- [5] Qu Geping. Concern for Ecological Security. Eco-environment Issues are hot topics of national security[J]. *Environment Protection*, 2002, 5: 3~5 [曲格平. 关注生态安全之一: 生态环境问题已成为国家安全的热门话题[J]. 环境保护, 2002, 5: 3~5]
- [6] Xia Duning, Chen Wenba, Guo Fuliang. Basic connotation and study content on ecological security[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 13(3): 354~358[肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本内涵和研究内容[J]. 应用生态学报, 2003, 13(3): 354~358]
- [7] Sun Honglie. Formation and Evolution of Qinghai-Xizang Plateau

- [M]. Shanghai Scientific and Technological Press in Shanghai 1994: 1~ 369 [孙鸿烈. 青藏高原的形成演化 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1994: 1~ 369]
- [ 8] Li W enhua, Zhou Xingmin. Ecosystems of Qinghai-Xizang (Tibetan) Plateau and Approach for Their Sustainable Management Guangzhou[M]: Guangdong Science and Technology Press, 1998: 1~ 382 [李文华, 周兴民. 青藏高原生态系统及优化利用模式 [M]. 广州: 广东科学技术出版社, 1998: 1~ 382]
- [ 9] Zhong Xianghao, Liu Shuzhen, Wang Xiaodan, et al. Environmental fragility and ecological security strategy in Tibet [J]. *Journal of Mountain Science*, 2003, 21: 1~ 6 [钟祥浩, 刘淑珍, 王小丹, 等. 西藏生态环境脆弱性与生态安全战略 [J]. 山地学报, 2003, 21: 1~ 6]
- [ 10] Ouyang Zhiyun, Wang Rusong, Zhao Jinzhu. Ecosystem services and assessment of their economic valuation [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1990, 10(5): 635~ 640 [欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价 [J]. 应用生态学报, 1990, 10(5): 635~ 640]

## Research of Ecological Security on the Tibet Plateau

ZHONG Xianghao<sup>1</sup>, LU Shuzhen<sup>1</sup>, WANG Xiaodan<sup>1</sup>, LI Hua<sup>2</sup>, ZHOU Wei<sup>3</sup>, LI Xiangni<sup>4</sup>

(1 Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China; 2 Foshan University, Foshan, 528000, China; 3 Hohai University, Nanjing 210098, China; 4 Nanjing Agricultural University, Nanjing 210014, China)

**Abstract** The Tibet Plateau as the principal of the Qinghai-Tibet Plateau with the average elevation of 4 727 m is called “the Third Pole of the Earth”. The eco-environment of the plateau is very fragile. The shelter action of the terrain and the ecosystem of the plateau has an important effect on the ecological security of China or even of the Whole Asia.

Research of ecological security on the Tibet Plateau was conducted in this paper, which was aimed to protect the fragile eco-environment and unique ecosystem from destruction, to coordinate the ecosystem services with survival and development of human beings, and to guarantee eco-environment security of neighboring regions. Centering on the relationship of human beings and eco-environment, and taking the principle of ecology, ecological economics and sustainable development as guideline, systemic investigation and assessment of the related components of ecological security of the Tibet Plateau were conducted, including the eco-environmental problems and their reasons, interference of economic society development to the eco-environment, regional difference of ecosystem services, and effect of ecological carrying and ecological risk to the ecological security et al. by the methods of combination use of ‘3S’ techniques, field surveys and mathematical statistics. Based on these, the spatial patterns of eco-environmental fragile degree, interference degree of human beings, and ecological security of the Tibet plateau were revealed, and the systems of protection and construction of the ecological security shelters on the Tibet Plateau were presented through comprehensive integration of the multidisciplinary.

These ecological security research results enriched and improved the research contents of related disciplines in the Qinghai-Tibet plateau, and provided scientific basis for the maintenance of ecological security of the Tibet plateau and the assurance of the sustainable development of the regional economic society.

**Key words** the Tibet Plateau; ecological security; ecological security shelter