

DOI: 10.5846/stxb202008112093

崔晓伟, 杨明星, 孟宇辰, 罗伟雄, 汪家军, 孙鸿雁. 基于多源数据空间分析的国家公园管控分区研究——以钱江源国家公园体制试点区为例. 生态学报, 2021, 41(21): 8443-8455.

Cui X W, Yang M X, Meng Y C, Luo W X, Wang J J, Sun H Y. Study on the control zoning of National Parks based on spatial analysis of multi-source data: Take Qianjiangyuan National Park System Pilot Area as an example. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(21): 8443-8455.

基于多源数据空间分析的国家公园管控分区研究 ——以钱江源国家公园体制试点区为例

崔晓伟^{1,2}, 杨明星^{1,2}, 孟宇辰^{3,4,*}, 罗伟雄^{1,2}, 汪家军⁵, 孙鸿雁^{1,2}

1 国家林业和草原局昆明勘察设计院, 昆明 650216

2 国家林业和草原局国家公园规划研究中心, 昆明 650216

3 清华大学地球系统科学系, 教育部地球系统模拟重点实验室, 北京 100084

4 清华大学深圳国际研究生院海洋工程研究院, 深圳 518055

5 钱江源国家公园管理局, 开化 324300

摘要:《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》提出国家公园实行管控分区的要求, 以便实现国家公园最严格保护目标。然而, 国家公园管控分区评价的指标尚不明确, 以浙江钱江源国家公园体制试点区(以下简称“钱江源国家公园”)为研究对象, 采用层次分析法从基础环境(包括高程、植被指数、交通道路影响和基本农田)、重点野生动植物分布(野生动植物、黑麂生境适宜性和白颈长尾雉生境适宜性)、自然资源保护基础(古田山国家级自然保护区、钱江源国家森林公园、钱江源风景名胜区和生态公益林)和生态现状(生态功能适宜性评价、自然资源承载力、三区三线和土地利用现状)等指标构建多源数据空间分析指标体系, 利用空间叠加分析技术获取钱江源国家公园的管控分区结果, 并与管控分区最终结果进行对比分析。结果表明: (1) 基于多源数据的方法能有效地识别钱江源国家公园内生态保护价值较高区域; (2) 多源数据空间分析结果与最终管控分区结果对比显示, 其总体精度为 78.07% (197.70 km²), 在核心保护区精度为 83.55% (127.99 km²), 一般控制区精度为 69.67% (69.71 km²); (3) 影响精度主要原因是新调入区域基础数据不足, 以及通过定性分析解决管控分区破碎化等。研究认为基于多源空间数据分析技术能够客观、高效地划分国家公园管控分区, 具有一定普适性, 但仍需通过增加数据数量或优化算法提高精度。

关键词: 国家公园; 管控分区; 多源数据; 空间分析; 钱江源

Study on the control zoning of National Parks based on spatial analysis of multi-source data: Take Qianjiangyuan National Park System Pilot Area as an example

CUI Xiaowei^{1,2}, YANG Mingxing^{1,2}, MENG Yuchen^{3,4,*}, LUO Weixiong^{1,2}, WANG Jiajun⁵, SUN Hongyan^{1,2}

1 Kunming Institute of Survey and Design, State Administration of Forestry and Grasslands, Kunming 650216, China

2 Center of National Park Planning & Research, State Administration of Forestry and Grasslands, Kunming 650216, China

3 Key Laboratory for Earth System Modeling, Ministry of Education, Department of Earth System Science, Tsinghua University, Beijing 100084, China

4 Institute for Ocean Engineering, Shenzhen International Graduate School, Tsinghua University, Shenzhen 518055, China

5 Administration of Qianjiangyuan National Park, Kaihua 324300, China

Abstract: According to “Guidelines on the Establishing a System of Nature Reserves Dominated by National Parks”, zoning control is required to implement in national parks to achieve the objective of most strict protection. However, what

基金项目: 钱江源国家公园管理局项目

收稿日期: 2020-08-11; 采用日期: 2021-04-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mengyc17@tsinghua.org.cn

factors could be used in zoning is debated. For finding out a set of index system for zoning, we study the Qianjiangyuan National Park System Pilot Area (hereinafter referred to as Qianjiangyuan National Park) as an example. We collected the multi-source data including the general environmental information (such as Digital Elevation Model, DEM; Normalized Difference Vegetation Index, NDVI; impacts of traffic and permanent basic farmlands), major distribution of wildlife (such as wild animal and botany vegetation; Habitat suitability of *Muntiacus crinifrons* and *Syrmaticus ellioti*), natural resources protection (such as Gutianshan National Natural Reserve; Qianjiangyuan National Forest Park; Qianjiangyuan Scenic Spot and Ecological public forests) and ecological status indicators (such as evaluation of ecological function suitability; evaluation of natural resources carrying capacity; red lines of three spatial zones and land use planning), and used analytic hierarchy process (AHP) to build a set of index system for zoning. Based on the results of AHP, we adopt the spatial overlay analysis technique to obtain the spatial distribution including the core protected zone and general controlled zone in Qianjiangyuan National Park, and then compared our results with the current functional zones. The results showed that: (1) the analysis based on the multi-source data can effectively recognize high ecological protection value in Qianjiangyuan National Park; (2) compared to the actual functional zones, the overlap areas of these two results is 197.70 km², which indicated that the total accuracy of spatial analysis was 78.07%, and the overlap areas in core protected area and general controlled area were 127.99 km² and 69.71 km², which meaning that the accuracy in core protected area or general controlled area were 83.55% or 69.67%, respectively; (3) the reasons that affect the accuracy between spatial overlay analysis and the actual functional zones are including that insufficient basic data in the new areas, and errors introduced by qualitative analysis for solving the fragmentation of the zoning. Overall, this study confirmed that the multi-source spatial data analysis technology could efficiently and accurately work on zoning core protected area or general controlled area of national parks, and could be replicated into other nature protected areas, but it still needs more basic data or optimize algorithm to improve zoning accuracy.

Key Words: national park; control division; multi-source data; spatial analysis; Qianjiangyuan

国家公园是我国一种新型的自然保护地类型,2017年中办、国办联合印发《建立国家公园总体方案》提出国家公园具有多功能的目标需求,其首要功能是重要自然生态系统的原真性、完整性保护,同时兼具科研、教育、游憩等综合功能^[1]。为充分发挥国家公园的综合服务功能,分区管理成为国际上对自然保护地普遍采用的管理方式,美国、加拿大、日本、以及我国台湾地区依据其国家公园的资源特色和功能定位,对国家公园划分不同类型的功能区^[2-6]。我国开启国家公园体制建设以来,国内学者围绕国家公园功能区划分的可行性开展了大量的研究和探讨,唐芳林等通过梳理我国10个国家公园体制试点的功能分区,借鉴国际经验提出了中国国家公园功能分区类型和方法^[7],王梦君等融合我国国家公园体制试点区和云南省国家公园功能区划分的经验,探讨了国家公园功能分区的评价指标体系^[8]。2019年中办、国办联合印发《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》明确提出国家公园实行管控分区的要求^[9],孙鸿雁等通过对国家公园管理需求的梳理分析,提出了国家公园“管控-功能”二级分区模式,为实现国家公园的有效管理提供了思路^[10]。

科学合理的管控分区是协调国家公园各种利害关系的重要手段,通过对管控分区将国家公园划分为既相对独立、又相互联系的不同管控区,明确各管控区的建设方向并采取相应的管理措施^[11],不仅有利于自然资源的优化配置,同时也为自然资源的保护与开展以及旅游容量控制等规划奠定基础,进而实现国家公园的绿色可持续发展^[12]。为科学地划分国家公园管控分区,国内外学者们探讨了从生态保护角度、生态系统健康评价、游憩利益角度、资源类型或景观类型的角度以及动物行为等方面构建功能分区评价指标体系^[13-17],采用了包括景观适宜性评价、栖息地分布模型、聚类分析等多种方法开展研究^[18-25]。钱江源国家公园功能分区研究已有相关研究,其中虞虎等从土地利用结构、高程与居民点分布(人口密度)、重点保护动植物资源分布进行空间叠加,将钱江源国家公园划分为四个功能分区^[26];Liu等从生态敏感性评价的角度研究钱江源国家公

园功能分区^[27];李杰等利用近低空遥感识别技术对钱江源国家公园功能区进行划分^[28]。然而,为满足《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》对国家公园的管控分区最新要求,以实现科学、客观、定量、快速获取国家公园管控分区的目标,本研究拟从国家公园的基础环境、重点野生动植物分布、自然资源保护基础和生态现状 4 个方面全面反应国家公园内生态保护价值,通过 Python 语言在 GIS 平台将熵值法、层次分析法和空间叠加分析等构建为统一化标准模型,将国家公园按照管控分区要求划分为核心保护区和一般控制区,为我国国家公园及其他自然保护地开展管控分区等工作提供标准化模型。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

钱江源国家公园地处浙江省开化县西北部,东北部与安徽省休宁县相邻,西南部与江西省婺源县接壤(图 1),是浙江省母亲河钱塘江的主要发源地和重要的水源涵养地,面积共计 252.96 km²,包括古田山国家级自然保护区、钱江源国家森林公园、钱江源省级风景名胜区等各类自然保护地。钱江源国家公园拥有典型的亚热带常绿阔叶林群落类型和罕见大面积集中分布的中亚热带低海拔原生性常绿阔叶林,是国家 I 级保护野生动物黑麂和白颈长尾雉的集中分布区,区域内海拔最高为 1241 m,最低为 111 m,相对高差 1130 m。该地区属于白际山脉,具有典型的江南古陆强烈上升的地貌特征;年降水总量为 1963 mm,相对湿度为 92.4%,日平

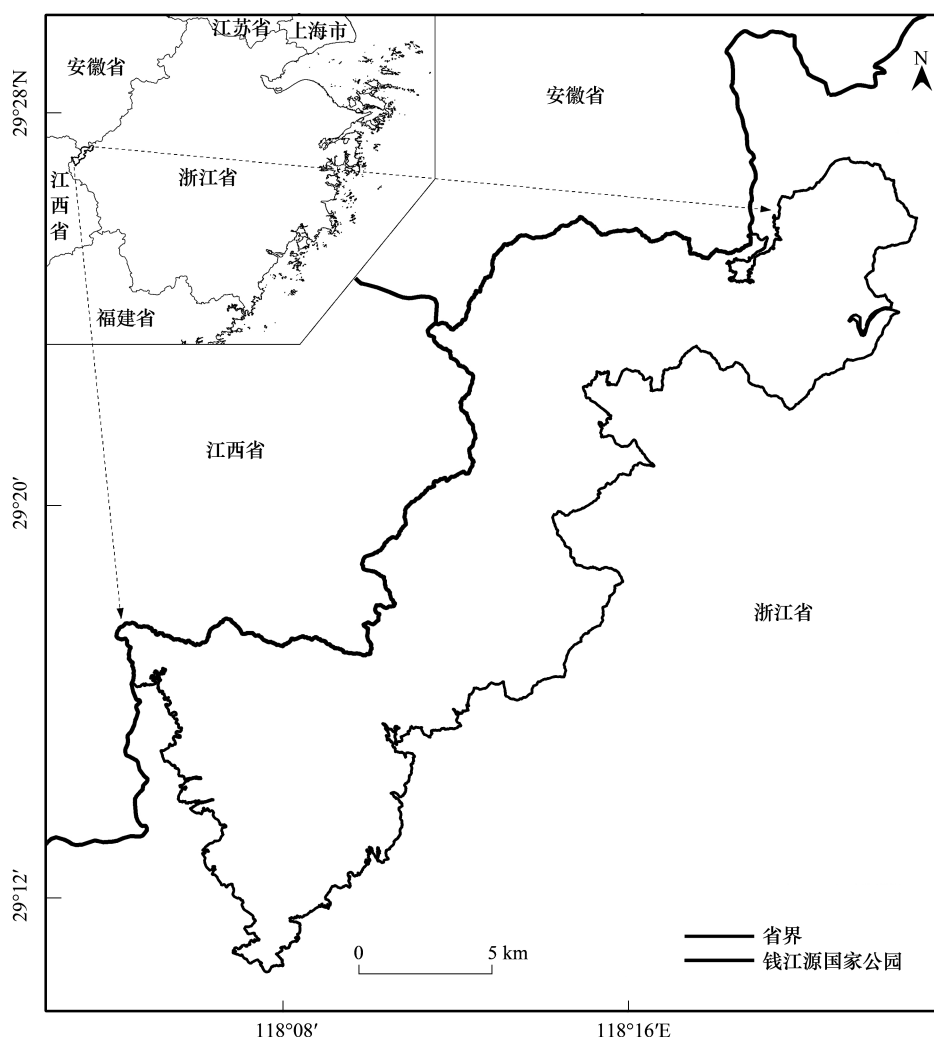


图 1 钱江源国家公园空间位置分布图

Fig.1 The spatial distribution of Qianjiangyuan National Park

均气温为 16.2℃,年日照总时数为 1334.1 h,无霜期约为 250 d。钱江源国家公园内河流流经地区森林茂密,地下水源以裂隙水为主,富含多种对人体有益的矿物质,符合国家一级饮用水标准,同时河谷、阶地为野生动物和各种鸟类的活动提供适宜的栖息地,具有重要的生态保护价值。

1.2 数据来源

依据国家公园生态保护优先,同时兼具科研、宣教、游憩和社区协调发展的基本功能要求,本研究主要收集基本环境指标、重点野生动植物保护指标、自然资源保护基础指标和生态现状指标方面的数据全面反映钱江源国家公园的保护和发展现状。本研究收集到数据类型共 14 项,用于提取和计算研究所需的其他数据,为保障数据空间分辨率的一致性,本研究将矢量数据栅格处理过程中,均按照 30 m 分辨率的精度进行转化。具体数据说明、用途及来源如表 1 所示。

表 1 钱江源国家公园数据说明及获取来源
Table 1 Data explanation and sources in Qianjiangyuan National Park

数据类型 Data types	数据说明 Data details	数据用途 Data function	数据来源 Data source
数字高程模型 Digital elevation model, DEM	分辨率 30 m	提取高程信息	地理空间数据云平台
遥感影像 Remote sensing image	2018 年,分辨率 30 m	用于计算植被归一化指数 (Normalized difference vegetation index, NDVI)	地理空间数据云平台
国土开发适应性评价 Evaluation of adaptability of land development	2017 年开化县空间规划	提取交通干线影响评价、生态 功能适宜性评价和资源环境 承载力评价结果	开化县发改局
永久基本农田 Permanent basic farmlands		提取基本农田分布区域	开化县自然资源规划局
野生动植物 Wield plants and animals	2019 年钱江源国家公园生态 保护专项规划	提取珍稀濒危野生动植物分 布区及重大保护野生动物生 境适宜区	国家公园管理局
古田山国家级自然保护区 Gutianshan National Natural Reserve	2019 年古田山国家级自然保 护区界线矢量化成果报告	提取钱江源国家森林公园功 能分区	国家公园管理局
钱江源国家森林公园 Qianjiangyuan National Forest Park	2017 年钱江源国家森林公园 总体规划	提取古田山国家级自然保护 区功能分区	开化县林场
钱江源风景名胜区 Qianjiangyuan Scenic Spots	2013 年钱江源风景名胜区总 体规划	提取钱江源风景名胜区功能 分区	开化县林场
生态公益林 Ecological public forests	2019 年开化县省级及以上公 益林小班面积	提取生态公益林分布区域	开化县林业局
国土空间规划 Land space planing	2017 年开化县空间规划	提取城镇发展空间、农业生产 空间和生态保护空间范围	开化县发改局
林地变更成果 Woodland change investigation data	2018 年开化县林地变更成果	提取内林业资源数据	开化县林业局
土地利用规划 Land use planing	2017 年开化县土地利用规划 成果	提取土地利用现状	开化县自然资源规划局
重大工程项目规划 Important projects planing	2018 年开化县重大工程建设 项目规划图	提取重大工程分布区域	开化县发改局、开化县水利局和 开化县交通局
国家公园总体规划 National pmater planing	2017 年钱江源国家公园体制 试点区总体规划	提取国家公园原边界范围	国家公园管理局

植被归一化指数(NDVI)的计算公式为 $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$,其中 NIR 为近红外波段,R 为红光波段

2 研究方法

2.1 空间分析指标体系构建

本研究为全面反映钱江源国家公园内的生态保护和社区发展的情况,以国家公园内环境资源承载力和国土空间开发适宜性评价为基础,在坚持生态保护第一的原则下,选取国家公园范围内的基本环境指标数据

(包括高程、植被指数、交通道路影响和基本农田等)、重点野生动植物保护(野生动植物、黑麂生境适宜性和白颈长尾雉生境适宜性等)、自然资源保护基础(古田山国家级自然保护区、钱江源国家森林公园、钱江源风景名胜区和生态公益林等)以及国家公园生态现状(生态功能适宜性评价、自然资源承载力、三区三线和土地利用现状等),详见表 2。

表 2 管控分区区划综合评价模型指标体系
Table 2 Comprehensive evaluation model index system for management and control zoning

目标层 Target layer	准则层 Rule layer	指标因子层 Index layer
管控分区指标体系 Index system of management and control division	基本环境指标	高程
		植被指数
		交通道路影响
		基本农田
	重点野生动植物保护指标	野生动植物
		黑麂生境适宜性
		白颈长尾雉生境适宜性
		古田山国家级自然保护区
	自然资源保护基础指标	钱江源国家森林公园
		钱江源风景名胜区
		生态公益林
		生态功能适宜性评价
		自然资源承载力
	生态现状指标	三区三线
		土地利用现状

2.2 空间分析指标赋值

由于各指标数据间存在差异,为便于统一计算和分析,根据各指标的数值类型,参考相关标准规范中指标等级划分依据,采用专家打分法确定各指标的阈值范围,并将其指标值域范围划定在 0—10 之间,各指标的赋值结果见表 3。为确定各指标值在不同空间位置上的权重,本研究基于像元基础上计算各指标的权重空间分布数据,基于各指标的权重和指标值通过空间叠加分析计算得出钱江源国家公园生态保护价值的空间分布值。

2.3 数据处理

本研究收集到不同类型的数据,为满足空间数据分析的要求,将不同数据通过矢量化、几何校正、坐标系转换、空间化处理等方法进行标准化处理,形成数据类型统一、坐标系一致、空间分辨率相同的标准数据类型,并将多源空间数据统一存储到数据库中,为空间分析做好数据储备。

2.4 空间叠加分析模型构建

按照国家公园管控分区划分要求进行科学规划,运用 GIS 空间分析技术和层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)^[29],综合多源空间数据特征,建立保护区管控分区综合评价体系,对保护区的自然资源现状和人类活动干扰情况进行综合评价,将钱江源国家公园划分为 2 个管控分区。借助 GIS 空间分析进行管控分区划分,改变了以定性分区为主的做法,很大程度上减少了人的主观随意性,增加了分区的科学性和准确性^[30],同时将空间叠加分析以用 Python 语言构建流程化模型,增强本研究计算方法和成果的可推广性。

3 结果分析

3.1 钱江源国家公园基础资源环境结果分析

3.1.1 基本环境指标分析

基本环境指标包括高程、植被指数、交通道路影响和基本农田等环境背景数据(图 2)。高程数据结果表

明,海拔较高的区域主要是钱江源国家森林公园的莲花塘周边以及古田山国家级自然保护区的核心保护区等范围,同时试点区的最北边以及中部最东侧和最西侧也有较高的山地分布,其他区内则地势比较平缓;植被指数空间分布表明,试点区内植被总体分布广泛,森林覆盖率高,而海拔较高的山区植被质量相对好于海拔较低的区域;交通道路影响结果表明,试点区的北部区域内受道路交通影响显著高于其他地区,由于该区域内有高速公路及国道横穿,而其他地区则主要是县道、乡道为主,其干扰影响则较小;永久性基本农田空间分布情况表明,试点区中部区域是主要分布区域,而北部区域内仅在齐溪村以及莲花溪沿岸村庄周边零散分布,南部区域则主要分布于公路沿线村庄周边,同时也是居民点主要分布区域。

表 3 管控分区区划模型指标分级赋值
Table 3 The index assignment of the management and control zoning model

指标因子层 Index layer	10 分 Ten score	7 分 Seven score	5 分 Five score	1 分 One score
高程数字高程模型 Digital elevation model, DEM	≥800	600—800	400—600	≤400
植被指数 Normalized difference vegetation index, NDVI	≥0.55	0.40—0.55	0.2—0.4	≤0.2
交通道路影响 Impacts of traffic	不影响	较小影响	较大影响	影响严重
永久基本农田 Permanent basic farmlands	—	—	—	有基本农田分布
野生动植物 Wild animal and botany vegetation	国家一级重点保护动植物分布区	国家二级重点保护动植物分布区	国家二级以下动植物分布区	无重点野生动植物分布
黑麂生境适宜性 Habitat suitability of <i>Muntiacus crinifrons</i>	适宜	—	较适宜	不适宜
白颈长尾雉生境适宜性 Habitat suitability of <i>Syrnaticus ellioti</i>	适宜	—	较适宜	不适宜
古田山国家级自然保护区 Gutianshan National Natural Reserve	核心区	缓冲区	—	实验区
钱江源国家森林公园 Qianjiangyuan National Forest Park	核心保护区	生态保育区	传统利用区	游憩展示区
钱江源风景名胜區 Qianjiangyuan Scenic Spots	特别保护区	风景游览区	发展控制区	旅游服务区
生态公益林 Ecological public forests	公益林分布	—	—	—
生态功能适宜性评价 Evaluation of ecological function suitability	高	—	中	低
自然资源承载力评价 Evaluation of natural resources carrying capacity	强	—	中	弱
三类空间控制线 Red lines of three spatial zones	生态保护空间	—	农业发展空间	城镇发展空间
土地利用规划 Land use planning	林地、灌木等类型	园地、水域水利设施用地等类型	耕地、交通用地和其他类型	建设用地类型

3.1.2 重点野生动植物保护指标分析

钱江源国家公园内野生动植物资源丰富,其中珍稀濒危植物有 32 种(如野含笑、常绿阔叶林等),国家重点保护动物 34 种(如黑麂、白颈长尾雉等),主要分布在古田山自然保护区的核心区、钱江源风景名胜区的中西部。黑麂和白颈长尾雉均属国家一级保护动物,具有重要的保护价值。黑麂是亚热带森林生态系统的指示性物种,倾向于生活在森林较为原始和道路密度较低的区域,依据黑麂生境适宜性来进行管控分区的划分才能有效促进黑麂的合理保护。据余建平等^[21]的研究表明,钱江源国家公园范围内的黑麂适宜性栖息地主要存在三大不连续的空间分布区,即古田山保护区的核心保护区和缓冲区、长虹与何田两个乡镇的周边山区、齐溪镇的南部和西南部山区。除此之外,与古田山自然保护区相连的外围地区、钱江源国家森林公园的特级和

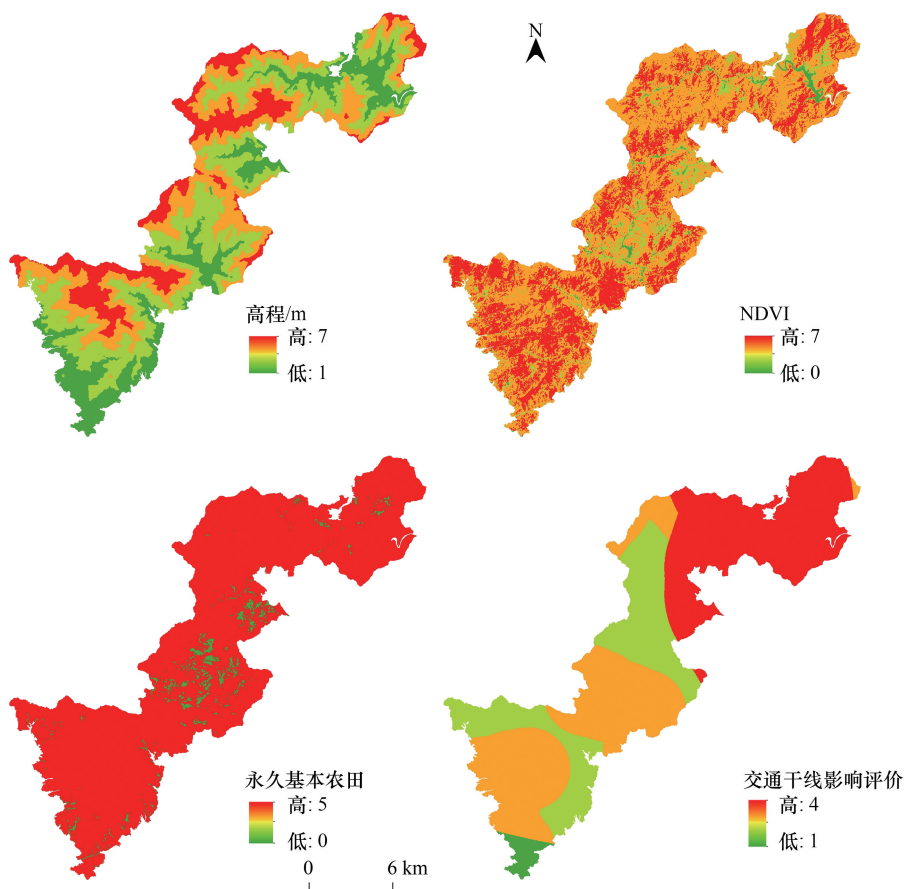


图2 基本环境指标空间化分布图

Fig.2 Spatial distribution of basic environmental indicators

DEM: 数字高程模型 Digital elevation model; NDVI: 植被归一化指数 Normalized difference vegetation index

一级保护区等部分区域也有分布;白颈长尾雉的适宜生境则主要分布在古田山保护区的西部和南部,以及齐溪镇的东部和中部,何田乡西部和长虹乡东部也有部分分布。较适宜生境区域则包括了古田山保护区、长虹乡、何田乡、齐溪镇的大部分地区以及钱江源风景名胜区内(图3)。

3.1.3 自然资源保护基础指标分析

钱江源国家公园范围内包括3个原自然保护地,其中原古田山国家级自然保护区集中分布有原始状态的大片低海拔中亚热带常绿阔叶林,黑麂广泛分布,其特有植物种类金钱松、中华小烛蕨以及开化鳞毛蕨和古田山鳞毛蕨特有植物种类也分布其中,生态系统完整性高,天然动植物资源丰富,是重点管护区域;原钱江源国家森林公园、钱江源风景名胜区主要位于齐溪镇,园内森林质量较高,环境优美,资源价值和旅游价值也较高,生态环境适宜,且分布有重要的野生动植物,具有较高的科学、文化价值。钱江源国家公园内广泛分布国家级、省级等公益林,公益林严格禁止以生产木材为主要目的的采伐、抚育和改造活动,多具备较好的林木资源,公益林的生态健康程度较高,具有一般森林不具备的保护优势,只有在龙坑村、田畈村、大源头村、四联村附近小区域没有分布,以及齐溪镇北部局部有所缺失(图4)。

3.1.4 生态功能现状指标分析

生态功能适宜性评价,通过认识研究区域的自然资源与环境特点,分析区域发展所涉及的生态敏感性和稳定性,以此来区分保护价值高低情况地区,便于有针对性的开展保护区划工作。评价结果表明(图5),钱江源国家公园范围内生态功能较高,只有在建制城镇的中心商业区域存在生态负面效益,以及国家公园南部苏

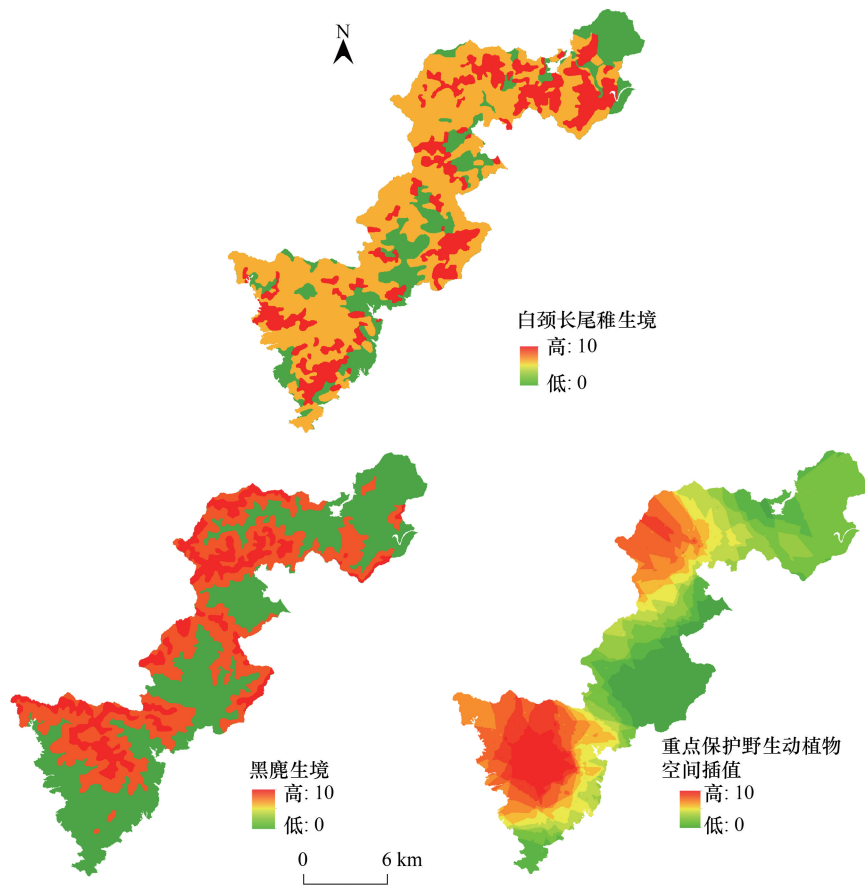


图 3 重点野生动植物保护指标空间分布图

Fig.3 Spatial distribution of key wildlife conservation indicators

庄镇的所涉及居民点沿线,原国家公园范围内的传统利用区内,还有齐溪镇区域。自然资源承载力,是指一个国家或地区资源的数量和质量,对本区域人口的基本生存和发展的支撑力,是可持续发展的重要体现。区内的自然资源承载力呈现出高中低三种类型,且中部区域多承载力多表现为为中,主要分布在古田山东部的长虹乡区域,其余大部分区域自然资源承载力表现为较弱,自然资源承载力高的区域很少。三区三线和土地利用规划,三区三线是构建空间规划体系的重要内容,对生态系统保护有着重要意义。从空间分布来看,钱江源国家公园内生态空间分布面积最大,城镇空间分布面积很小,只有在莲花塘道路入口处有很小的分布,农业空间分布则多集中在居民点、道路周围。土地利用规划是对土地使用的统筹和长远规划,以便合理的来调控和使用土地。国家公园内土地类型以林地为主,在道路、居民点周边也分布有部分园地,还有齐溪水库等水库存在,城镇用地很少。

3.2 钱江源国家公园空间叠加结果分析

空间叠加分析结果表明(图 6),生态保护价值较高的区域从北至南主要集中在齐溪镇江源村东西两侧的山区、莲花溪沿岸的南北两侧的森林、何田乡和长虹乡西北部山区、古田山国家级自然保护区的核心区和缓冲区等区域。

齐溪镇江源村东西两侧的植被生长状况良好,社区分布较少,其生产生活用地较少,且是白颈长尾雉的生长适宜区之一,大部分区域都纳入了开化县生态保护红线的范围,生态适宜性较高,是试点区内生态保护价值较高的区域;而生态保护价值较低区域,以社区居民点、耕地、园地等生产生活空间为主,属于开化县的农业和城镇发展空间,人为活动频繁。

莲花溪沿岸南北两侧区域,基本都是阔叶林分布,植被质量高,原属钱江源国家森林公园和钱江源风景名

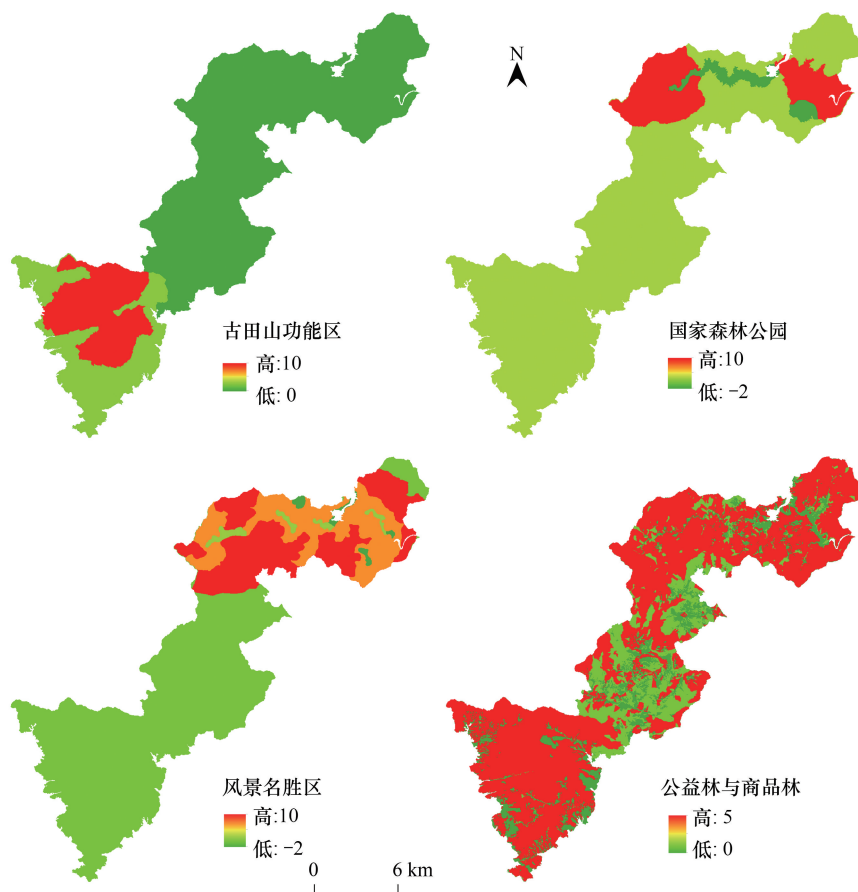


图 4 自然资源保护基础指标空间分布图

Fig.4 Spatial distribution of basic indicators for natural resource protection

胜区的范围内,同时也是开化县生态红线范围内,保护基础良好,生态适宜性高、自然资源承载力强,生态保护价值高;而莲花溪沿岸的社区居民点及其生产生活用地(包括耕地、园地等)的生态保护价值较低,但其具备生态体验、科普宣教的条件,可作为国家公园发挥游憩体验、科普宣教等功能的区域。

何田乡和长虹乡西北部山区与莲花塘景区的森林空间上是一个完整的生态系统,该区域内阔叶林广泛分布,植被质量高,尽管该区域之前未被纳入任何自然保护地范围,但在开化县生态保护红线范围内,其自然资源承载力和生态适宜性均较高,且公益林分布为主,具备较高的生态保护价值;何田乡和长虹乡的东部区域则主要分布社区居民点、耕地、园地、水域及水利设施用地等为主,尤其是耕地和园地占主体部分,是开化县重要的农业发展空间,其生态保护价值相对较低。

古田山国家级自然保护区的核心区和缓冲区内分布有重要的野生动植物,是阔叶林分布的集中区域,植被质量非常高,是开化县重要的生态保护空间,受人为活动干扰影响较少,具有极高的生态保护价值;而其周边区域,从横中村沿转大线到油古线至唐头村和洪源村范围内,社区居民点、耕地、园地等农业发展和城镇发展空间将区域内森林植被分割较为破碎,植被呈块状分布,生态系统完整性较差,生态保护价值相对较低。

3.3 钱江源国家公园管控分区结果分析

3.3.1 定性分析

通过管控分区空间叠加结果定量分析综合评分,根据国家公园规划相关的区划原则,结合钱江源实际情况,如区域内道路分布、山脉沟谷走向、水源分布等自然地形、地物及行政界限,以及重点野生动植物、居民点的分布特点。同时考虑研究区域空间上生态系统服务功能的差异,根据实现保护目标的管理需求和满足社区

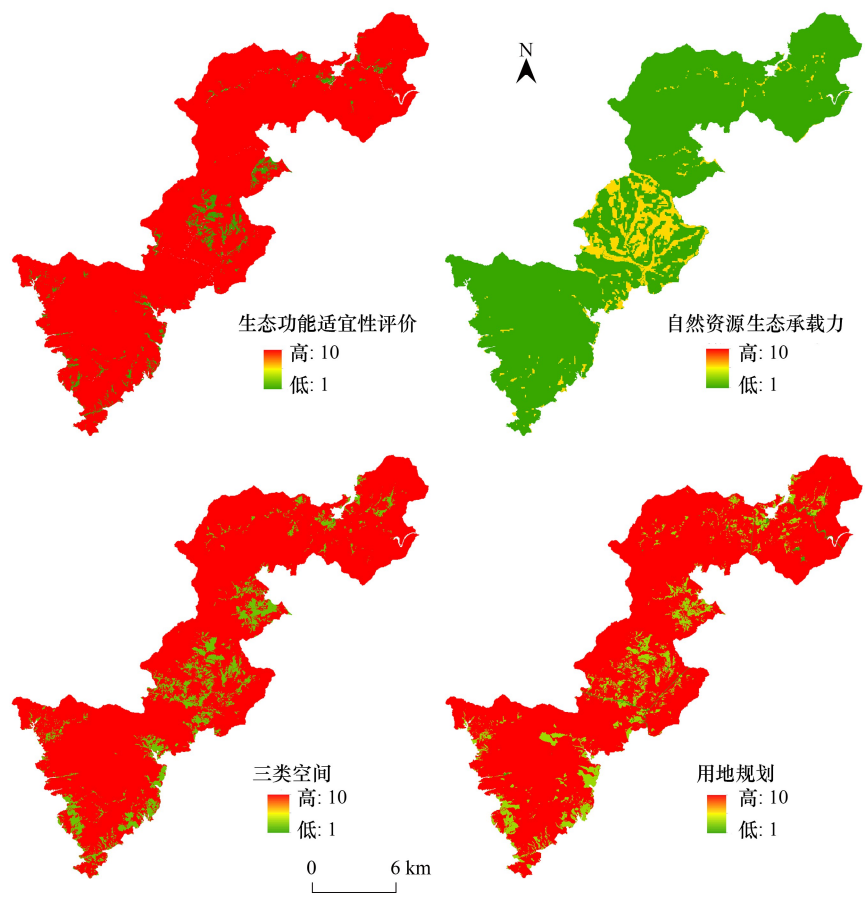


图 5 生态功能现状指标空间分布图

Fig.5 Spatial distribution of ecological function indicators

生计发展的利用需求。在土地权属、发展需求等其他限制条件上实现不同组合的生态系统服务功能的空间规划,限制特定土地利用形式,科学进行资源配置,合理进行管控分区的划定和相关法规条例的制定落实,方便各项方案实施及保护活动的开展,最终完成了钱江源国家公园的管控分区的划分。

将钱江源国家公园范围内生态保护价值高的区域划分出来,但其结果仍需满足国家公园的实际管理需求以及符合开化县政府及地方政府和社区的发展规划要求,以空间叠加分析为基础,参考现地调研收集的情况,通过定性定量分析后,对边界范围及管控分区进行完善和调整,最终获取钱江源国家公园的边界范围及管控分区结果。

3.3.2 管控分区特征

核心保护区包括原范围内的核心保护区和生态保育区的大部分区域,核心保护区内涵盖了大部分的动植物资源,进行最严格的保护。核心保护区内动植物资源丰富,具有重要的保护价值,是国家公园的保护的重点

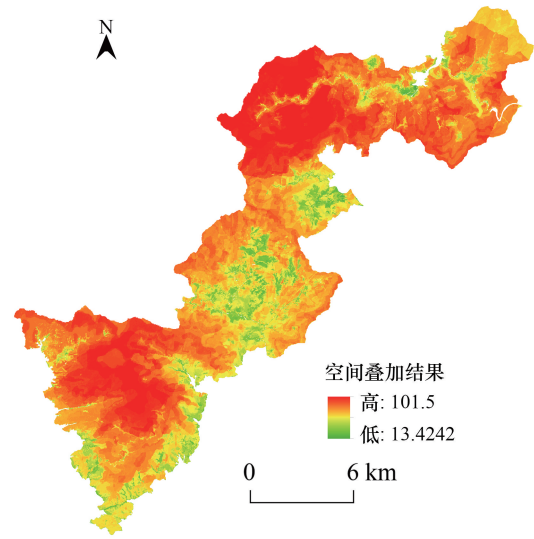


图 6 多源数据空间叠加分区结果图

Fig.6 The results of multi-source data spatial analysis

区域。核心保护区涵盖了古田山自然保护区的大部分区域、国家森林公园的大部分区域,以及古田山沿白际山脉至风景名胜区的连通的生态廊道,以及齐溪水库周边生态环境质量高的区域。核心区面积 151.33 km², 占整个国家公园面积的 59.82%。

一般控制区主要包括原范围内的游憩展示区和传统利用区的大部分区域,在一般控制区内可进行适当的人为活动,引导社区居民保护生态环境,开展科普教育工作。一般控制区包括适宜开展游憩展示、科普教育等的区域,包括长虹乡村庄密集的人为活动较多区域、齐溪镇至齐溪水库周边、莲花塘景区周边,及国家公园最南端苏庄镇的道路密集区、何田乡东部村庄分布区等。一般控制区面积 101.63 km²,占整个国家公园面积的 40.18%。在国家公园的一般控制区,采取适当地限制人类活动,禁止大规模的毁坏性开发利用,引导社区居民参与到生态环境保护中来,共同维护国家公园内的生态环境。

3.4 空间叠加分析结果精度评价

3.4.1 精度分析结果

钱江源国家公园管控分区空间分析结果与最终管控分区结果一致的面积共计 197.70 km²(图 7),其中核心保护区面积 127.99 km²,一般控制区面积 69.71 km²;空间分析结果的总体精度为 78.07%,其中核心保护区精度为 83.55%,一般控制区精度为 69.67%(表 4)。

表 4 空间叠加与管控分区结果对比表/km²

Table 4 Comparison between the results of space overlay and control zoning

面积 Areas	空间分析结果 The results of spatial analysis	管控分区结果 The final results	重叠面积 Overlapping Area	精度/% Accuracy
总面积 Total areas	252.96	252.96	197.7	78.07
核心保护区面积 Core protected areas	157.82	151.33	127.99	84.58
一般控制区面积 General control areas	95.14	101.63	70.81	69.67

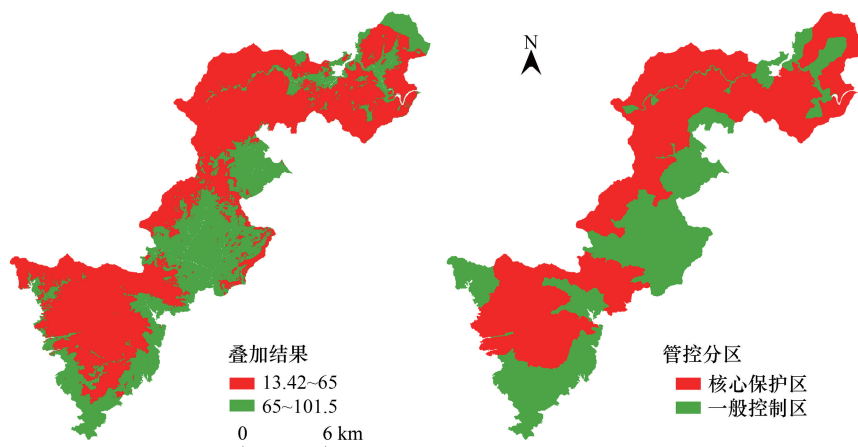


图 7 空间叠加结果精度分析图

Fig.7 Accuracy analysis of spatial overlay results

3.4.2 差异因素分析

精度分析结果显示,存在差异较大区域主要集中在钱江源国家公园北部新调入区域、中东部何田乡和长虹乡以及西北角区域。首先,钱江源北部新调入区域范围空间叠加分析结果显示为一般控制区,主要由于其不属于原自然保护地范围,保护基础相对较弱,但其范围内 90% 以上为森林,同时也是主要保护对象黑麂的潜在适宜分布区,因此,通过定性分析将其纳入核心保护区范围;其次,在中东部长虹乡和何田乡范围内,分布有零散的核心保护区,且个片区并未连通成片,周边范围被基本农田、村庄和商品林等隔断,尽管具有保护价

值,但不利于实际管理和未来勘界立标工作的开展,因此,将其调整为一般控制区;最后,西南角区域的空间叠加分析结果显示此区域为核心保护区,但动植物生境斑块比较破碎,经现地查验发现,此区域内种植有大面积的油茶林和耕地,人为活动比较频繁,纳入核心保护区不符合当地社区发展需求,因此,将其调整为一般控制区。

综上所述,通过多源数据空间分析,不仅可以快速获取钱江源国家公园生态保护价值较高的区域,其结果精度也较高,因此,说明空间分析结果具有一定的科学性和实用性。

4 结论与讨论

4.1 客观性和科学性分析

本研究基于钱江源国家公园的生态环境指标、自然保护区保护现状指标、重点野生动植物保护指标以及生态保护现状指标等,通过对多源数据空间分析,客观地反应了钱江源国家公园内生态保护价值分布的情况,有效降低了调整过程中的人为干扰影响;同时,规范设置各类指标的标准值,采用层次分析法和熵值法确定指标空间化统计方案,使其结果更具科学性。因此,该方法在国家公园及其他各类自然保护区边界范围调整和管控分区划定中,既展示出客观性,也具备科学性。本研究方法与我国近年来在土地利用功能分区、自然保护区功能区划以及国家公园的功能区划等^[20,22,30]采用方法具有传承创新性,以突出功能区划的客观性为主,同时其区划结果具有一定的科学性。

4.2 可行性和实用性分析

通过对比多源空间数据分析结果与最终管控分区结果精度分析结果表明,空间叠加分析结果的核心保护区与实际结果的对比精度达 80%左右,一般控制的精度分析结果也在 75%左右,说明该方法在实际应用中具有较高的可行性;同时,本研究中融合层次分析法和空间叠加分析等方法,基于 Python 语言平台构建一整套管控分区的自动划分流程,即空间叠加分析用 Python 语言转为流程化工具,其结果仅需人为进行较小区域范围的优化调整,不仅有利于提高工作效率,其流程化工具使该方法具有良好的推广性和实用性。本研究采用方法在流程化、标准化方面具有一定的优势,其实用性更广泛,但是本研究所采用的方法相对从生态分级保护规划、土地利用管理、历史文化等方面划分功能区分区^[12-13,19]相比在定性分析方面尚存不足,这也是导致一般控制区划分精度较低的关键因素。因此,未来在指标设置方面仍需进一步研究定性指标的定量化分析,以提高空间叠加分析结果的精度。

4.3 不确定性分析

本研究选取的空间分析指标体系主要基于钱江源国家公园现有基础数据库开展工作,然而钱江源国家公园属于较小尺度的研究范围,通过空间叠加分析能够准确、科学、精确地划定边界范围及管控分区,但在更大尺度保护地的应用仍有待进一步研究;同时,层析分析的计算过程具有客观性,然而其在设置指标层级、类型以及数量上存在很大的人为干扰因素,本研究中现有指标还不够完善和全面,在选择指标过程中明显受到人为因素影响,例如可收集到指标数量、指标的正负向影响的选取等。因此,在今后的研究中尽可能多的选取具有代表性的指标因子,建立更为科学的评判模型,提高管控分区划分的科学性和客观性,尽量将空间信息融入到指标体系中,减少人为的干扰影响,使管控分区的结果更为客观和精准,进一步提升管控分区划方法的普适性。

参考文献 (References):

- [1] 中共中央办公厅, 国务院办公厅. 建立国家公园体制总体方案. (2017-09-26). http://www.gov.cn/zhengce/2017-09/26/content_5227713.htm.
- [2] Shafer C L. US National Park buffer zones: historical, scientific, social, and legal aspects. *Environmental Management*, 1999, 23(1): 49-73.
- [3] Kuroda N, Ono R. Transition of landscape's position in the national monuments at the beginning of preservation systems, from the end of the Meiji era to the beginning of the showa era. *Journal of the Japanese Institute of Landscape Architecture*, 2004, 67(5): 597-600.

- [4] McNamee K. From wild places to endangered spaces; a history of Canada's national parks//Dearden P, Rollins R, eds. Parks and Protected Areas in Canada: Planning and Management. Don Mills: Oxford University Press, 1993: 17-44.
- [5] Hockings M, Cook C N, Carter R W, James R. Accountability, reporting, or management improvement? development of a state of the Parks assessment system in new south Wales, Australia. *Environmental Management*, 2009, 43(6): 1013-1025.
- [6] 张全洲, 陈丹. 台湾地区国家公园分区管理对大陆自然保护区的启示. *林产工业*, 2016, 43(6): 59-62.
- [7] 唐芳林, 王梦君, 黎国强. 国家公园功能分区探讨. *林业建设*, 2017(6): 1-7.
- [8] 王梦君, 唐芳林, 张天星. 国家公园功能分区区划指标体系初探. *林业建设*, 2017(6): 8-13.
- [9] 中共中央办公厅, 国务院办公厅. 关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见. (2019-06-26). http://www.gov.cn/xinwen/2019-06/26/content_5403497.htm.
- [10] 孙鸿雁, 余莉, 蔡芳, 罗伟雄, 唐芳林. 论国家公园的"管控-功能"二级分区. *林业建设*, 2019(3): 1-6.
- [11] 杨锐, 曹越. 怎样推进国家公园建设? 科学意识提升 科学研究支撑. *人与生物圈*, 2017(4): 28-29.
- [12] 何思源, 苏杨, 闵庆文. 中国国家公园的边界、分区和土地利用管理——来自自然保护区和风景名胜区的启示. *生态学报*, 2019, 39(4): 1318-1329.
- [13] 朱志高. 南山国家公园生态分级保护规划初探//活力城乡美好人居——2019 中国城市规划年会论文集(08 城市生态规划). 重庆: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [14] Coppedge B R, Engle D M, Fuhlendorf S D, Masters R E, Gregory M S. Landscape cover type and pattern dynamics in fragmented southern Great Plains grasslands, USA. *Landscape Ecology*, 2001, 16(8): 677-690.
- [15] Mulyana A, Moeliono M, Minnigh P, Indriatmoko Y, Limberg G, Utomo N A, Iwan R, Saparuddin, Hamzah. Establishing special use zones in national Parks: can it break the conservation deadlock in Indonesia? [R]. Center for International Forestry Research (CIFOR), 2010.
- [16] Fu M D, Tian J L, Ren Y H, Li J S, Liu W W, Zhu Y P. Functional zoning and space management of Three-River-Source National Park. *Journal of Geographical Sciences*, 2019, 29(12): 2069-2084.
- [17] 林志玮, 涂伟豪, 洪宇, 黄嘉航, 刘金福. 结合多空间特性的保护区功能分区最优化设计. *森林与环境学报*, 2019, 39(3): 248-255.
- [18] Li F, Xu M, Liu Q, Wang Z F, Xu W J. Ecological restoration zoning for a marine protected area; a case study of Haizhouwan National Marine Park, China. *Ocean & Coastal Management*, 2014, 98: 158-166.
- [19] 胡宏友. 台湾地区的国家公园景观区划与管理. *云南地理环境研究*, 2001, 13(1): 53-59.
- [20] 叶菁. 大熊猫国家公园功能分区研究——以四川成都片区为例. *绿色科技*, 2018(14): 20-21.
- [21] 余建平, 申云逸, 宋小友, 陈小南, 李晟, 申小莉. 钱江源国家公园体制试点区功能分区对黑麂保护的有效性评估. *生物多样性*, 2019, 27(1): 5-12.
- [22] 付梦娣, 田俊量, 朱彦鹏, 田瑜, 赵志平, 李俊生. 三江源国家公园功能分区与目标管理. *生物多样性*, 2017, 25(1): 71-79.
- [23] 马冰然, 曾维华, 解钰茜. 自然公园功能分区方法研究——以黄山风景名胜区为例. *生态学报*, 2019, 39(22): 8286-8298.
- [24] 田倩倩, 黄凤莲, 王开心, 王大娟, 李嘉琪, 王欢. 自然保护区土地生态适宜性评价——以湖南省万佛山自然保护区为例. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, 2020, 46(2): 201-208.
- [25] 李纪宏, 刘雪华. 基于最小费用距离模型的自然保护区功能分区. *自然资源学报*, 2006, 21(2): 217-224.
- [26] 虞虎, 陈田, 钟林生, 周睿. 钱江源国家公园体制试点区功能分区研究. *资源科学*, 2017, 39(1): 20-29.
- [27] Liu Q Q, Yu H. Functional zoning mode and management measures of Qianjiangyuan National Park based on ecological sensitivity evaluation. *Journal of Resources and Ecology*, 2020, 11(6): 617-623.
- [28] 李杰, 李巍岳, 付晶, 高峻, 杨蕾, 何苇航. 基于近低空遥感技术的国家公园功能分区边界识别: 以钱江源国家公园体制试点区为例. *生物多样性*, 2019, 27(1): 42-50.
- [29] 刘瑞雪, 江诗瑶, 陈龙清. 基于空间分析和层次分析法的自然保护区功能区划研究. *中国园林*, 2018, 34(11): 119-122.
- [30] 文胜欢, 师学义, 和文超, 邵泽慧, 孙静静. 基于 GIS 空间分析法的土地利用功能分区研究. *资源与产业*, 2012, 14(2): 66-70.