

引用格式: 张海燕, 樊江文, 黄麟, 等. 中国自然资源综合区划理论研究与技术看案[J]. 资源科学, 2020, 42(10): 1870-1882. [Zhang H Y, Fan J W, Huang L, et al. Theories and technical methods for the comprehensive regionalization of natural resources in China[J]. Resources Science, 2020, 42(10): 1870-1882.] DOI: 10.18402/resci.2020.10.05

中国自然资源综合区划理论研究与技术看案

张海燕¹, 樊江文¹, 黄麟¹, 汤宇磊², 岳颖³, 杨玉³, 刘晓煌⁴

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国地质调查局地球物理调查中心, 廊坊 065000; 3. 河南理工大学应急管理学院, 焦作 454000; 4. 中国地质调查局自然资源综合调查指挥中心, 北京 100055)

摘要: 自然资源综合区划是土地、矿产、森林、草地、湿地、水和海域海岛等复合自然资源空间异质性的直接反映, 是分区、分类、分级推进自然资源综合观测体系构建和野外科学观测研究站布设的重要科学依据。目前中国自然资源综合区划理论研究较为欠缺, 且技术方案尚未形成一套科学准确的评价范式。本文基于自然资源格局、演变和功能特性, 以山水林田湖草生命共同体系统管理为出发点, 阐述了自然资源综合区划的概念框架; 按照主体性、整体性、多尺度、等级性和发展性五大原则, 提出了区划技术方案, 并初步开展实证研究; 最后, 比较了自然资源综合区划与自然区划和生态区划的差异。本文研究成果可增强对自然资源耦合关系和分异特征的科学认识, 促进多学科建设, 服务于自然资源治理体系建设等国家战略需求。

关键词: 中国; 自然资源; 综合区划; 时空属性; 技术方案

DOI: 10.18402/resci.2020.10.05

1 引言

自然资源是生态可持续利用和经济可持续发展的重要物质基础, 具有组成结构复杂、区域差异显著、时空演变快等特点。而不合理的自然资源利用方式, 会导致生态环境日益恶化, 同时严重阻碍经济发展。当前中国已经开始全面进入生态文明、高质量发展、国家治理和国家安全的新时代^[1], 科学认识自然资源地域差异、时空演变及功能, 适度、有效地开发利用自然资源, 减少和避免生态破坏, 是缓解资源利用与环境保护矛盾的必然选择。

自然资源内容涵盖广泛, 涉及自然资源学、地理学、生态学、地质学、环境科学和经济学等不同学科领域, 其科学概念直到20世纪70年代才逐步形成, 目前国内外还未形成统一的定义。《英国大百科全书》将自然资源定义为“人类可以利用的自然生

成物, 以及生成这些成分的环境功能, 前者包含土地、水、大气、矿产、生物等, 后者包含太阳能、生态系统机能、地球物理化学循环机制”。Zimmermann等^[2]认为只有自然环境或其某些部分能够满足人类需要才叫自然资源, 不能被人类获取利用的只是叫自然禀赋(环境禀赋)。联合国环境规划署^[3]规定人在自然环境中发现的各种成分, 只要它能以任何方式为人类提供福利, 都属于自然资源; 在一定时间条件下, 能够产生经济价值以提高人类当前和未来福利的自然环境因素的总称。李文华^[4]定义为自然界天然存在的、可以为人类利用的物质与能量的总称, 是人类生存的物质基础和社会发展的动力源泉。自然资源部发布的关于印发《自然资源调查监测体系构建总体方案》^[5]将其概述为指天然存在、有使用价值、可提高人类当前和未来福利的自然环境

收稿日期: 2020-09-10, 修订日期: 2020-10-20

基金项目: 中国博士后面上基金项目(2019M650820); 全国自然资源要素综合观测体系规划与部署项目(DD20208063); 中国科学院战略先导专项(XDA23060405); 青藏高原自然资源要素综合观测试点项目(DD20208064)。

作者简介: 张海燕, 女, 山东潍坊人, 博士, 主要从事自然资源管理与草地生态学方面研究。E-mail: zhanghaiyan823@163.com

通讯作者: 刘晓煌, 男, 山西平遥人, 博士, 研究方向为自然资源学、基础地质学和矿床学。E-mail: liuxh19972004@163.com

2020年10月

因素的总和。本文采用比较狭义的自然资源定义,即具有自然、经济、社会、生态等多重基本属性特征,且以有限空间或物质实体形式存在的自然环境要素及其组合^[6,7],主要包含土地、矿产、森林、草地、水、湿地、海域海岛等7类自然资源。

区划是对生态、自然、环境、资源进行科学认识评价和合理优化管理的关键。区划研究逐步形成国家战略需求为导向,并引领多学科建设发展趋势。根据区划的研究对象和目标不同,自新中国成立以来陆续开展了综合自然区划、综合地理区划、生态地理区划、植被区划、生态功能区划、矿产资源区划、草地资源区划、森林资源区划等。20世纪50—80年代,社会生产实践的迫切需求使区划研究主要服务于工农业生产^[8-11];20世纪80年代一世纪末,中国各行业经济蓬勃发展,区划研究主要服务于多元经济建设^[12-14];20世纪末至今,我国进入构建人类与生态环境和谐发展的社会阶段,越来越多的学者逐渐将单一要素的区划发展为兼顾多要素的综合区划,服务于可持续发展^[15-19]。伴随着“3S”技术(RS、GIS和GPS)、信息挖掘、人工智能等新技术的不断发展,区划在研究范式、研究思路、区划尺度、指标选择、技术手段等方面发生了显著变化。①研究范式经历了“以定性方法为主—多采用定性方法与定量相结合—交叉综合研究方法”的发展历程^[20-22];②研究思路从避免“自上而下”跨区合并错误,到转向自下而上,再转为两者相结合^[23];③区划范围由全国陆地发展为海陆结合,区域基本单元由原始栅格数据网格单元向以县域为主导行政单元转变^[24];④指标体系经历了从单一要素向多要素的转变,即由气候、自然、生态等单一要素向兼顾热量、水分、土壤、植被等自然因素和森林、耕地、草地、湿地等资源要素、并融合社会经济发展的转变;权重系数经历了从由主观赋权^[25]到客观赋权^[26]的转变;⑤技术手段上,由以实地调查为主的传统技术到以“3S”技术、现代测量、模型模拟为代表的新技术的运用。

与较为成熟的生态^[27]、自然^[28-30]、地理^[31-33]等区划和森林^[34]、草地^[35]、矿产^[36]等单项自然资源区划相比,集合自然资源要素复杂交互作用下的自然资源综合区划研究仍较为缺乏。已有的单项自然资源区划存在空间分区叠置、年代较为陈旧、数据分辨率粗糙等问题,不能满足新时代自然资源观测与研

究需求。此外,自然资源综合区划的技术方案在指标构建、技术方法选择等方面还没有统一、科学、准确的评价标准,且自然资源综合区划的技术方案尚未形成一套科学准确的评价范式。不同区域由于其所处的自然环境特性、资源利用强度及未来发展定位的差异,所面临的问题不同。自然资源综合区划秉承山水林田湖草生命共同体系统管理的理念,将全国划分为不同自然资源主导的地理分区,是对当前单一自然资源区划和传统自然地理区划的有益补充。自然资源综合区划既是资源环境领域研究的热点问题,又是自然资源本底认知、经济高质量发展和生态文明建设的迫切需求,同时也是保障自然资源科学观测、合理开发利用、强化监管的有效途径^[37]。

本文立足于新时代生态文明建设的宏观背景,基于山水林田湖草生命共同体的理念,着眼于自然资源自身时空属性,阐述了自然资源综合区划的概念框架,探讨形成了自然资源综合区划的研究思路、指标体系和技术方法,并以像元为区划基本单元,研究制订了自然资源综合区划技术方案,提高自然资源综合区划的科学性和准确度,此外还分析了自然资源综合区划与传统区划的差异。本文不仅有助于更清晰地认识自然资源地域分异规律,为分区、分类、分级推进自然资源综合观测体系的构建及野外科学观测研究站的布设提供决策支持,而且对于自然资源优化和调控具有重要的指导意义。

2 自然资源综合区划的概念框架

2.1 区划目的

自然资源综合区划是在生态环境、自然地理、自然资源等研究的基础上,以山水林田湖草生命共同体系统管理为出发点,对自然资源进行重新整合,以高质量可持续发展为目标,将国土空间进行以森林、草地、湿地、水和海域海岛等为主导资源的综合评价和区域划分。其目的包括两点:一是研究我国各自然资源的空间分异特征和动态演变规律,揭示自然资源复杂系统在陆地表层综合分异特点,提高对自然资源的认知程度,结合当下自然资源统一管理的要求,促进实现自然资源“一张图”统筹管理的新目标;二是以不同等级的自然资源综合区划为基础,探索自然资源各要素间的耦合关系、

变化趋势和动因机制,为不同区域自然资源的调查监管、开发利用和环境保护提供决策依据,服务于自然资源综合观测体系,提高野外科学观测研究站布设的科学性和可行性。

2.2 区划内涵

自然资源综合区划是以土地、矿产、森林、草地、湿地、水和海域海岛等自然资源的地域分异规律为主要依据,辅以地形地貌、气候、植被、水文、土壤、景观等自然环境要素,充分考虑自然资源要素类型及其组合特征、环境要素的地域分异性和相似一致性,分时段地将全国划分为不同空间层级、相对独立完整、并具有有机联系的自然资源地理单元。自然资源综合区划以山水林田湖草生命共同体为基本理论,既考虑了单种资源要素属性和地域性分布规律,又考虑了区域不同资源间互馈机制、耦合作用与人地交互关系。区别于现有区划,自然资源综合区划实现了从单一资源要素为主的划分,向山、水、林、田、湖、草等全要素资源整体划分,发展了从静态区划向动态区划转变的探索。其内涵主要包括以下几点(图1):①涉及自然资源学、生态学、地理学等相关学科的知识,具有高度的综合性;②建立在充分认识自然资源与环境地理特性、生态过程及其与人类活动关系的基础之上;③将自然资源的空间、时间和功能异质性作为区划的主要依据,特别考虑了自然资源的空间结构和变化过程的地域分异;④增强了对自然资源内部结构、变化过程和人与自然关系的认识。

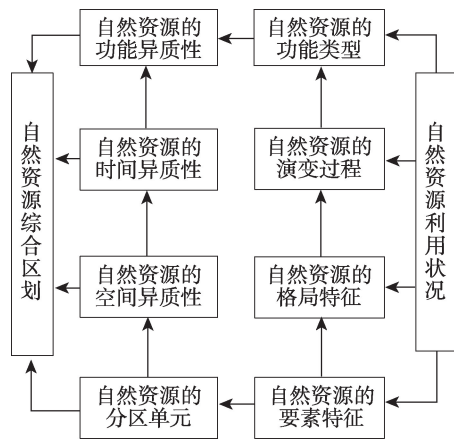


图1 自然资源综合区划的概念框架

Figure 1 Framework for the comprehensive regionalization of natural resources

2.3 需求与意义

2.3.1 顺应多学科发展需求,加强中国自然资源综合区划研究

自然资源综合区划是自然资源学、地理学、生态学、地质学、环境科学和经济学等多科学交叉应用,是区划研究的重要趋势。自然资源综合区划过程中涉及到资源环境承载力理论,遵循可持续利用原则,是生态环境科学领域重要的探索和尝试。历史上“胡焕庸线”的简单区划,对中国经济学研究产生了较大影响。当下自然资源综合区划中运用的“区域经济”“资源配置”理论是经济学和资源区划的纽带,可以预见,区划成果图也将对经济学研究产生一定影响。综上,自然资源综合区划客观满足了相关多学科发展的新需求。

2.3.2 强化对自然资源要素时空差异性、复杂多样性和特色性的科学认识

中国历史悠久,幅员辽阔,自然资源具有地域差异显著和动态变化明显等特征,自然资源综合区划有利于促进当前和历史资源本底状况的掌握,对国家自然资源变化规律与生态环境态势认识,而且能全面反映自然资源单元之间具有资源要素的地域差异性和异质性,单元内部具有资源要素的地域相似性和同质性^[38,39]。

2.3.3 满足自然资源治理体系建设等国家战略的实际应用需求

自然资源综合区划是对土地、矿产、森林、草地、湿地、水和海域海岛等资源在地域空间上进行系统梳理和总结的基础性工作。自然资源综合区划能够满足国家对自然资源要素综合观测的新需求,是落实自然资源治理体系建设等国家战略的有效途径^[40,41]。自然资源综合观测网的建设需要一张囊括各类资源要素综合、系统、科学的区划底图,并以此为依据进行各类野外站点的布设^[42-44]。而区划是认识各自然资源的空间分布特征以及深入分析其相互耦合关系的重要前提,是开展观测网工程的前提,是合理布站(点)、科学观测的基础^[45-47]。开展自然资源综合区划的研究不仅能指导自然资源的合理开发利用、改善产业结构和优化生产布局,还可为保护生态环境,实施自然资源有偿使用制度、自然资源统一综合管理奠定科学基础。

3 自然资源综合区划的原则

基于自然资源有效保护、合理利用和综合管理,结合国家自然资源体系建设的需求,自然资源综合区划原则的制定不仅要遵循自然区划的相关原则,而且要参照自然资源学的基本原理,充分考虑自然资源本身的结构和功能特性。基于此,自然资源综合区划应遵循以下五大原则。

3.1 主体性原则

自然资源系统复杂,一个区域内可能存在多种类型的自然资源。在大尺度的范围内,自然资源的差异较大,难以考虑资源要素,确定主导资源;但在小尺度的区划范围内,区域内的优势资源逐渐凸显。一个区域一般都有一两种最主要的资源作为主导资源。在自然资源综合区划的过程中,面对区域内多种资源同时存在的局面,要充分调研分析,掌握不同空间范围主导资源,使同一区域内的主导资源相一致,不仅有利于区域内自然资源的统一管理,而且有利于主导资源产业的发展。

3.2 整体性原则

人与自然的耦合具有复杂性^[48],任何区域都是由自然地理要素和人文经济要素耦合组成的整体。各类自然资源之间也存在相互联系、相互制约,构成了自然资源循环体系,任何一种自然资源的改变,都可能引起连锁反应。同时,还需确保区划单位是一个连续的地域单元,不能存在独立于区域之外而又从属于该区的单位,做到不重复、不包含、不遗漏。区别于以往单要素自然资源区划仅考虑单一要素地域分异规律的情形,自然资源综合区划则是把各类自然资源看作一个整体,从区域整体出发,充分考虑自然资源系统性和整体性的特点,通过分析自然资源的自身特征及其与周围环境和自然资源之间的相互联系,揭示自然资源时空分布的整体性规律。

3.3 多尺度原则

尺度是研究客体或过程的空间维与时间维,在自然资源综合区划的研究中需要考虑数据的时空尺度^[49]。大尺度范围的区划注重成因分析,适合选择大尺度数据,运用古地理法、地理空间分析法和专家经验法等。小尺度范围则应选择小尺度数据,通过叠置法与空间聚类分析法自下而上进行聚合,

并通过判别分析法将独立于区划单元之外的小块图斑进行分类。时间尺度是指自然生态过程和现象在多大的时间间隔上表现出来。由于资源形成过程总是在特定的时间尺度上发生的,在进行某一时期自然资源区划时,需采用同一时限的数据。同时,应关注自然资源的动态变化,进行多情景分析。坚持时空数据多尺度原则,全面提升数据获取能力,有利于进一步提升区划精度。

3.4 等级性原则

任何尺度上的区域都是多种资源的综合体,自然资源综合区划必须按区域内部差异划分层级,逐级揭示自然资源的区域差异,遵循具有先后顺序、主次分明等逻辑关系。采用自上而下方法与自下而上方法相结合,较高等级的区域划分多采用自上而下的演绎法进行逐级划分,较低等级的区域划分多根据自然资源组合运用自下而上的聚类分析法。自然资源综合区划体系应体现出等级性,高级别和低级别之间应存在包含关系,且高、低级的指标应受分区等级影响。

3.5 发展性原则

自然资源综合区划不仅要考虑不同区域经济与社会发展对自然资源的需求,而且要考虑资源安全和资源安定两个基本方面,努力实现自然资源利用效率最大化,最大程度促进人类经济社会发展。一是要注意区划过程中对不同区域的自然资源“合理分配性”,对全国不同区域的自然资源进行合理划分,目的在于使不同区域内的自然资源能够得到协调利用、互补利用,优化区域内自然资源产业布局,站在国家整体利益的基础上,同时兼顾各区域经济发展与全国自然资源的需求,形成区域互补性、相互协调性。二是要注意自然资源利用的“可持续性”,自然资源综合区划过程中要充分考虑区域自然资源的承载力,树立“保护优先、合理开发”理念,减少环境生态系统压力,实现自然资源可持续利用。“合理分配性”和“可持续性”都体现了人类社会经济的科学“发展性”,统称为“发展性”原则。

4 自然资源综合区划的技术方案

4.1 区划的研究思路

自然资源综合区划技术方案遵循“区划需求分析—自然资源大数据库建立—自然资源分布格局

及其动态变化分析—区划成果评价与应用”等工作流程(图2)。**①**根据自然资源综合区划的对象、目标、影响要素、范围、基本研究单元和时间点6个方面

完成自然资源区划的需求分析。**②**通过参考相关文献和咨询该领域内专家,根据七大主要自然资源特点,建立包含地形地貌、气候条件、植被生长状

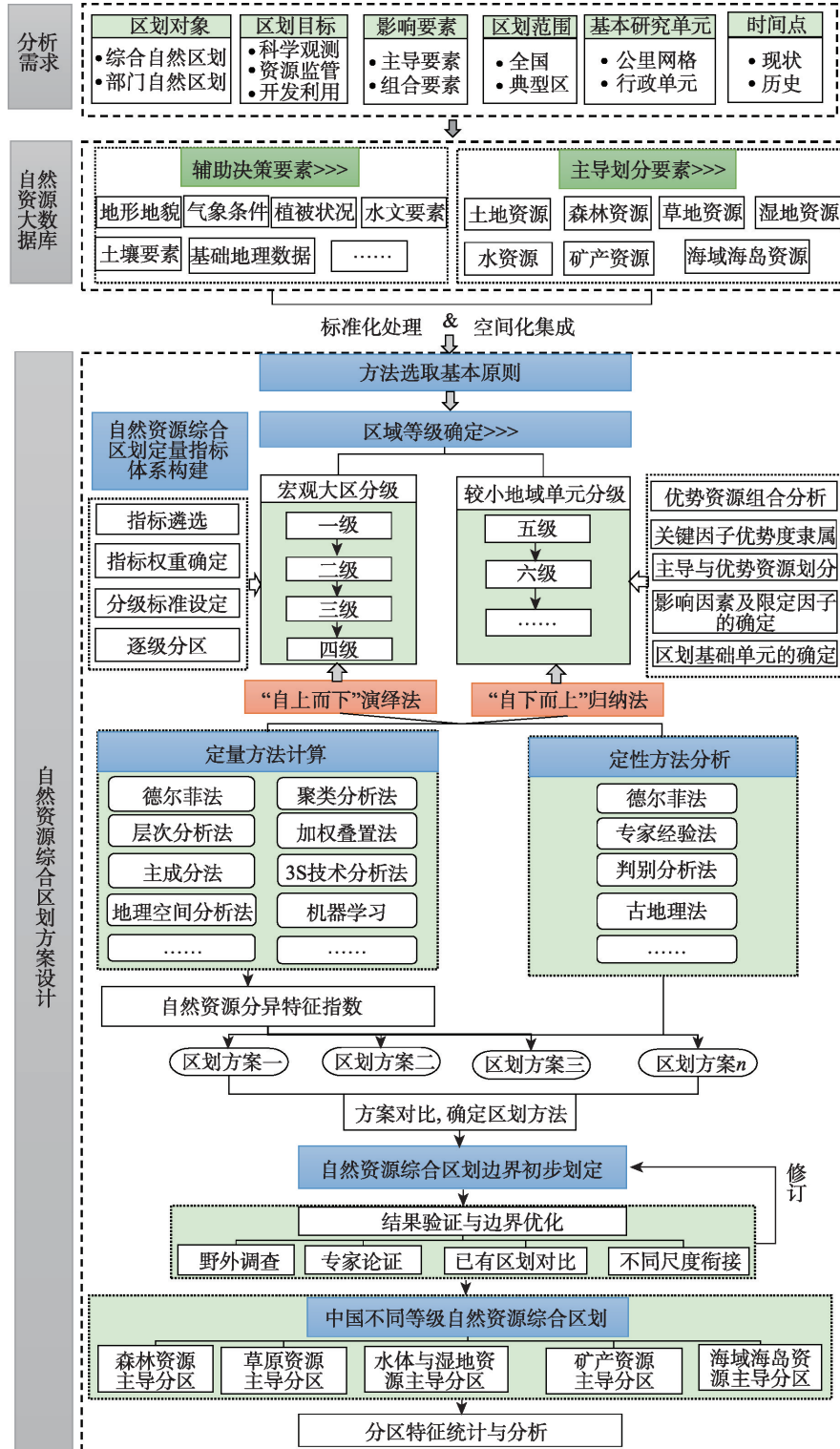


图2 自然资源综合区划技术流程图

Figure 2 Technical flowchart for the comprehensive regionalization of natural resources

2020年10月

况、水文、土壤和基础地理等指示环境自然属性的基础数据库和土地资源、森林资源、草地资源、湿地资源、水资源、矿产资源和海域海岛资源等七大资源空间分布的专题数据库。③依据自然资源综合区划方法的基本原则,采取“自上而下”演绎法与“自下而上”归纳法相结合,定量计算方法与定性分析方法相结合,传统技术与新技术相融合,划定中国不同等级的自然资源综合区划。④采用野外调研、专家论证、已有区划对比和不同尺度衔接等方式,结合实际区域的资源禀赋以及社会经济状况进行区域的人工检查,避免边界明显错误和过度破碎化,对自然资源综合区划进行进一步修订和完善,最终形成中国不同等级自然资源综合区划,并进行分区特征统计与分析。

4.2 大数据库的建立

自然资源综合区划是多指标的空间规划,数据来源繁多,自然资源大数据库是进行区划的核心与基础,不仅能快捷高效地进行自然资源数据的存储、分析和管埋,而且可以提高数据的利用效率,进行复杂的运算过程。在进行自然资源综合区划准备工作中,需要参照已有区划方案,整合环境地理、七大自然资源和相关区划等不同要素类数据(表1),

对其进行整理、优化、重构、融合和集成,达到“精度合理、尺度多样、时序稳定”的要求,构建自然资源大数据。主要包括:①标准化处理。数据来源于多部门,指标类型兼有数值型和描述型,在精度、空间尺度、格式方面存在差异,要进行投影方式转换、数据格式转换、数据配准等标准化处理,将大尺度数据与中小尺度数据相协调,基础环境要素和自然资源要素相统筹,使数据便于统一管理和使用。②空间化集成。统计数据需按照地理编码标准进行关联,使得属性数据与空间数据连接;纸质图纸数据需将描述性的资料矢量数字化,通过空间匹配、图像修边和图像叠置,生成复合图。③信息管理数据库的建立与管理服务。建立不同尺度下的“基础要素数据—自然资源数据—相关区划数据”一体化系统数据库,实现大量空间数据和属性数据的管理与浏览、编辑维护、交换和转换。

4.3 区划指标的选取

建立自然资源定量评价指标体系是保证区划科学性、客观性的关键。本文在充分借鉴自然地理、生态、森林、草地、矿产等区划基础上,以山水林田湖草生命共同体系统管理为出发点,针对自然资源的区位特征、耦合关系、动态变化、存在问题等特

表1 自然资源综合区划主要数据列表

Table 1 Data type and indicators of the comprehensive regionalization of natural resources

要素类别	数据类型	指标名称
环境地理数据	气候条件	温度、降水、湿度、风速、日照时数、蒸发量等
	地形地貌	地貌类型、海拔、坡度、坡向等
	基础地理	国界线、中国各级行政边界(包括省、市、县、乡等)、数字高程模型数据库(DEM)等
	土壤	土壤类型、土壤湿度、土壤养分含量(有机质、氮、磷、钾等)、土壤质地、土壤侵蚀类型及分布等
	水文	水温、水位、流量、流向、流速、水质、基流量、断流、暴雨径流等
	植被生长状况	归一化植被指数(NDVI)、叶面积指数(LAI)、净初级生产力(NPP)等
	土地利用	耕地、林地、草地、水域、居民地和未利用土地
	陆地生态系统	农田生态系统、森林生态系统、草地生态系统、水体与湿地生态系统、荒漠生态系统、聚落生态系统和生态系统
	遥感影像数据	航天遥感影像(高、中、低分辨率)、航空摄影成果、无人机影像等
	自然资源数据	土地资源
森林资源		森林类型及空间分布等
草地资源		草地类型及空间分布等
水资源		河川径流量、地下水储量、流域产水模数等
湿地资源		湖泊、沼泽、河流、滨海湿地等
矿产资源		矿产类型及空间分布等
海域海岛资源		岛屿分布、海岸线长度等
相关区划数据	主要参考区划	生态地理区划、自然地理区划、生态区划、植被区划、气候区划、干湿区划、土壤区划等
	其他辅助区划	综合农业区划、草地资源区划、林业区划、水资源区划、全国生态功能区划、人文地理区划等

点,借鉴现有区划成果,以自然资源要素为主导,综合考虑外部环境作用,兼顾指标的可操作性和可量化性,设定静态和动态两种区划方式,构建自然资源综合区划评定指标体系。该指标体系共分为目标层、要素层和指标层三层结构,其中,目标层分为自然资源要素和环境地理要素;要素层包括土地资源要素、水体与湿地资源要素、森林资源要素、草地资源要素、耕地资源要素等五大主导要素,和以地形地貌、气候要素、土壤要素、植被要素和水文要素等五大辅助决策要素。

4.4 区划方法的选择

区划方法是为达到区内差异最小、区间差异最大的区划目标而进行区域划分的过程^[50]。根据划分方法的量化与否,可分为定性方法和定量方法,定性方法包括德尔菲法、专家经验法、古地理法等,定量方法既包括传统的主成分法、判别分析法、聚类分析法、层次分析法、加权叠置法、地理空间分析法

等,又包含机器学习(深度学习、人工智能、大数据挖掘)等新方法(表2)。

自然资源综合区划方法主要采取“自上而下”演绎法与“自下而上”归纳法相结合,区划要素定量方法计算与辅助决策要素定性分析相结合。宏观大区在于区分大的区域差异,采用“自上而下”的演绎法,选取体现地域分异规律的自然要素作为指标,数据的尺度随级别的降低而变小,通过设置区划等级标准对较高等级区划进行逐级划分。由于较高级区划关注形成区划的根本成因,注重研究各要素间的联系,因此应结合古地理法、层次分析法、主成分分析法、地理空间分析法、聚类分析法等,进行不同等级宏观大区的界定。本文主要采用空间聚类分析法对宏观大区边界进行确定。

较低等级的区划,即较小地域单位区划的主要目的是认识小区域内的主导资源,以便为区域经济发展服务,因此宜采用“自下而上”的研究角度,以

表2 常用区划方法概述

Table 2 Commonly used regionalization methods

区划方法	主要内涵	优点	不足
德尔菲法	利用函询形式进行的集体匿名思想交流	独立思考判断,集思广益,探索性解决问题	专家间缺少交流,存在主观影响
专家经验法	利用专家丰富的实践经验进行判断	最大限度发挥专家个人能力,操作简单便捷	主观性强,要求具体操作人员熟悉情况
古地理法	通过对丰富的历史研究资料的深入分析,查明其年龄和发展历史	追本溯源,揭示本质	应用缺乏成熟经验,古地理资料缺乏时应用困难
判别分析法	在对对象分类确定的条件下,根据特征值来判别类型	可操作性强,不受尺度大小影响	划分界限有一定的主观性
主成分法	通过矩阵转换计算特征值和特征向量得到主成分,从而减少相关指标数量,适用于区划指标繁杂,相关性高的情况	消除指标间干扰,简化信息,且能客观评定各指标权重	对样本容量要求高,计算过程复杂,极易造成信息损失
加权叠置法	将所有相关数据层面进行叠加产生一个新的数据层面的操作	方便快捷直观实现区划	不同图层间尺度精度难以统一
3S技术分析法	将统计数据、矢量数据和栅格数据等不同数据形式进行空间叠加计算	能做指标的时空动态分析、处理速度快、数据管理便捷	电脑软硬件和人员专业技术要求高
聚类分析法	按照相似性或差异性的指标,对要素或样本进行聚类	简单、直观、适用性强	易受异常值和特殊变量的影响
层次分析法	通过对比确定各层次指标权重,逐层求和,适用于区划指标复杂,结构清晰	层次性强、灵活、简洁	无法摆脱定性判断的主观性和随机性
地理空间分析法	分析各自然要素间的相互关系后进行分区,适用于要素联系紧密,相关度高的区域	关注要素间联系,区划系统性强	各区划的界线经常会相互矛盾,难以协调
深度学习	利用多层非线性信息的处理方法来进行无监督学习或者有监督学习	自适应提取、人工干预少、适用范围广、挖掘精度深度高	多类型数据冲突难以处理,对硬件设施要求高
人工智能	利用计算机科学技术研究,开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统	高效的自学习、自适应和自创造,运算高速、算法优	技术体系不够成熟,大量决策需人工参与
大数据挖掘	通过对大数据聚类、关联分析、分类、预测等,揭示背后隐含的信息、知识、规律	有效挖掘隐藏信息,获取、处理大数据的新技术丰富	数据多源多格式、大量、价值密度低,统一处理难

2020年10月

自然要素和自然资源要素作为指标,数据尺度比高级区划有所降低。依据区划面积大小,选取一定面积网格作为区划基础单元。低级区划指标复杂,指标间相关性高,因此应采取主成分分析法、层次分析法、经验法等确定区划影响因素及限定因子,确定各个区域主导资源与优势资源情况,得出各个区域因素因子优势隶属度。此外,机器学习从低层到高层进行特征提取,可以获取研究对象更深刻更本质的特征,分类性能强,通过深度学习方法进行边界确认。

4.5 区划体系的构建

4.5.1 区划单元的确定

自然资源综合区划不同于以往区划直接以行政区划作为基本单元,基于所获取到的数据精度,综合考虑自然环境、地域差异、社会经济发展等客观条件,采用网格法进行平均划分全国陆地范围。以像元尺度为区划最小单元,实现不同等级区划界线的数字化矢量格式表达,突破了行政单元限制,开创了精细数字化区划的先河。

4.5.2 区划等级划分

宏观大区等高级区划界定时,由于综合自然区划对认识自然资源地区差异起重要作用,且区域内部自然资源差异大,区域优势资源难以确定,故采用自然地理分异的地带性规律与非地带性规律进行逐级区划,数据以大、中尺度为主,初步将全国范围划分为1~4级。在进行较小地域单元等低级区划时,资源的差异决定了具体分区,把主导资源当成区划影响因素,以反映资源质量的指标要素进行限定,数据以中、小尺度为主,初步将典型区域划分为6级或7级及以上。

4.5.3 区划的命名

本文宏观大区采用四级区划,一级为自然资源大区,二级为自然资源亚区,三级为自然资源地区,四级为自然资源小区。

自然资源大区:以“大地理位置+自然资源(森林、草地、耕地、荒漠、湿地等)+大区”命名。

自然资源亚区:以“自然地理位置+地貌形态的组合特征+温湿情况/气候类型+自然资源一级类型+亚区”命名。

自然资源地区:以“具体自然地理位置+地貌形态的组合特征+自然资源二级类型+地区”命名。

自然资源小区:以“更详细的地理位置名称+地形地貌形成及环境特征+典型地带性植被(参照植被类型大类/草地资源类型大类/作物种植类型)+小区”命名。

4.6 区划的预期成果

以服务于全国自然资源综合观测为导向,集成多源、多时空、多类型“自然资源大数据库”,构建自然资源综合区划指标体系,形成一套满足观测体系建设的全面、完善、科学的区划技术方案;基于自然资源综合评价结果和主导因素识别,衔接自然生态地理和各类单项资源空间区划成果,按照区域特色和动态变化特征,将国土空间按照时间间隔划分为森林、草地、水体与湿地等资源主导分区,并形成区划专题数据库、成果报告及相应图件;利用自然资源综合区划成果指导自然资源综合观测体系的构建和“一级-二级-三级-四级”及更多等级野外科学观测研究站布设,健全自然资源治理体系建设。因当前受限于数据缺乏,目前仅完成自然资源综合区划一级分区的划定,共分为7个自然资源大区,即东北林耕自然资源大区、华北草耕自然资源大区、华东林耕自然资源大区、西南林耕自然资源大区、华南森林自然资源大区、西北荒漠自然资源大区和青藏草地自然资源大区(图3和表3)。

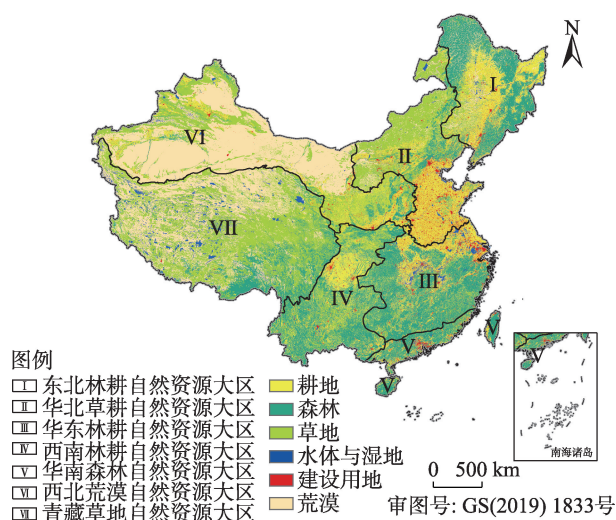


图3 自然资源综合区划

Figure 3 The new scheme for the comprehensive regionalization of natural resource

表3 自然资源综合区划大区基本概况

Table 3 Basic information of the regions delineated by the comprehensive regionalization of natural resources

自然资源大区		面积概况		包括行政范围	主要资源类型及占比	
代码	名称	面积/万 km ²	占比/%		1990年	2018年
I	东北林耕自然资源大区	104.12	10.98	黑龙江、辽宁、吉林3省及内蒙古东部地区	森林(44.71%)、耕地(29.61%)、草地(12.81%)、水体与湿地(3.94%)	森林(43.41%)、耕地(34.32%)、草地(7.59%)、水体与湿地(9.18%)
II	华北草耕自然资源大区	118.47	12.50	河北、山东、北京、天津以及内蒙古东部、河南、安徽、江苏省北部地区	草地(41.10%)、耕地(35.07%)、森林(8.86%)、水体与湿地(3.34%)	草地(38.50%)、耕地(33.40%)、森林(10.3%)、水体与湿地(4.40%)
III	华东林耕自然资源大区	114.20	12.05	湖北、湖南、江西、浙江和河南、安徽、江苏南部、福建、广西、广东北部、重庆东部	森林(51.62%)、耕地(34.00%)、草地(6.28%)、水体与湿地(5.38%)	森林(52.52%)、耕地(31.46%)、草地(5.81%)、水体与湿地(4.85%)
IV	西南林耕自然资源大区	102.38	10.80	云南、贵州以及陕西南部、甘肃南部、重庆西部、广西西部	森林(47.93%)、耕地(30.97%)、草地(18.88%)、水体与湿地(0.88%)	森林(48.39%)、耕地(30.12%)、草地(18.52%)、水体与湿地(1.11%)
V	华南森林自然资源大区	28.13	2.97	台湾、海南、广东南部、广西东南部以及福建东南部	森林(59.41%)、耕地(27.27%)、草地(3.87%)、水体与湿地(5.24%)	森林(58.48%)、耕地(24.98%)、草地(4.71%)、水体与湿地(4.52%)
VI	西北荒漠自然资源大区	220.34	23.24	新疆、甘肃、宁夏、以及内蒙古西部、陕西北部和山西南部	荒漠(52.42%)、草地(27.27%)、耕地(10.58%)、水体与湿地(1.79%)	荒漠(54.63%)、草地(26.05%)、耕地(11.99%)、水体与湿地(1.26%)
VII	青藏草地自然资源大区	260.39	27.47	西藏、青海、四川西部、以及新疆南部、云南西北部	草地(58.13%)、荒漠(28.89%)、森林(10.21%)、水体与湿地(8.87%)	草地(48.97%)、荒漠(30.61%)、森林(12.82%)、水体与湿地(6.41%)

5 自然资源综合区划与传统区划的差异

自然资源综合区划是在不断探索、认识和积累周围环境与自然资源的基础上,深入认识人与自然关系的产物。自然资源综合区划虽然是在自然区划的基础上发展起来的,但其对象、目的和依据有所不同。首先,从区划的对象来看,自然区划如自然地理区划、综合自然地理区划和植被区划等均按地表自然综合体或各个组成要素的差异划分成各种区域,并按从属关系得出一定的区域等级系统,反映的是自然资源地域分异规律^[51]。而自然资源综合区划则以自然资源作为研究对象,从“山水林田湖草是生命共同体”理念出发,强调其空间格局、生态过程和功能的异质性。其次,从区划的目的来看,传统自然区划的目的是科学认识客观存在的自然综合体,并不考虑社会经济特征,而自然资源综合区划强调自然资源区域分异特征,着眼点在于协调资源开发与生态环境保护之间的关系,尽可能多地关注人类活动对区域资源利用和生态环境影

响。再次,从区划的依据来看,传统自然区划往往借助具体的界线(各类等值线、河流、山脉等)划分自然综合体,自然资源综合区划的边界通常表现为动态变化,强调不同时间尺度上自然资源动态变化特征,从结构相似、过程相关和功能联系的角度来确定其分区边界。

生态区划则是在对生态系统客观认识和充分研究的基础上,按各自然区域的生态相似性和差异性划分生态区域单元,从而进行整合和分区的过程。自然资源综合区划是基于生态系统的复杂系统理论和等级结构理论,其对象是自然资源,目的是深化对自然资源异质性的认识,更强调自然资源分布格局、变化过程以及功能的异质性,相对而言,自然资源综合区划更注重发挥自然资源作为主体要素的服务功能。

6 结论与讨论

6.1 结论

(1)基于山水林田湖草生命共同体新理念,以资源生态可持续利用为目标,针对土地、矿产、森

2020年10月

林、草地、水、湿地、海域海岛等7类自然资源,在自然资源格局、过程和功能研究的基础上,阐述了自然资源综合区划的概念框架。

(2)按照主体性、整体性、多尺度、等级性、发展性等原则,以像元为基础区划单元,通过集成环境地理要素和自然资源要素的数据,构建中国自然资源综合区划指标体系,采用自上而下与自下而上相结合的区划思路和空间聚类分析方法,形成自然资源综合区划技术方案,将中国自然资源划分为7个自然资源大区。

(3)自然资源综合区划通过对自然资源格局、过程及功能特征的空间相似性及差异性进行分析,分区确立自然资源的功能定位,能够有效提升国土空间规划的针对性和自然资源利用管控的可操作性,同时可为今后区划研究和实践操作提供思路和借鉴。

6.2 讨论

基于自然资源观测大数据,自然资源综合区划时空尺度精度得到大幅提升;通过机器学习等新方法,较快确定区划指标数量及主导指标,逐步攻克海量空间数据处理周期长、操作卡顿等问题,以及分区方案逐渐实现标准化和自动化。但当前受限于数据获取能力、实践能力、技术方法等方面,自然资源综合区划在以下四方面仍有待完善,同时也是未来研究的重要方面。

(1)高精度、多尺度和长时序的数据需求未完全得到满足

当前部分资源基础数据,尤其是水资源观测指标,还存在大量的数据缺失现象。随着全国自然资源综合观测体系不断完善,获取数据能力的增强,数据种类不断丰富,数据时空分辨率不断提高,自然资源综合区划的精度也将得到相应提高。

(2)需进一步凸显自然资源综合区划的时空动态性

自然资源受气候变化、经济发展、人口增长、生态失衡等因素的影响,其数量、质量、结构、区位特征等都是动态变化的。自然资源综合区划不仅需要考虑当前静态状态量,还需要兼顾历史演变过程和未来变化方向,基于长时段多源异构数据,采用科学准确的技术方法,在不同时空尺度上进行多情

景动态变化研究。

(3)自然资源空间认知和表达有待完善

应通过加强新型遥感机理、地理空间信息网格、机器视觉、时空大数据建模、新型位置服务产品模式等研究,增进自然资源数据的深入挖掘,建立适应自然资源表达的新型地图理论方法。

(4)区划结果的应用研究有待拓展

自然资源综合区划是不仅仅按照自然资源时空格局特征进行区划的动态分区,还需要进一步分析演变过程和驱动因素,研究人地耦合方式、资源利用模式、资源保护措施等,为开展自然资源的分区治理和有效调控提供政策建议和咨询报告。

参考文献(References):

- [1] 谷树忠,吴太平.中国新时代自然资源治理体系的理论构想[J].自然资源学报,2020,35(8):1802-1816.[Gu S Z, Wu T P. On China's governance system for natural resources in the New Era[J]. Journal of Natural Resources, 2020, 35(8): 1802-1816.]
- [2] Zimmermann E W. World Resources and Industries: A Functional Appraisal of the Availability of Agricultural and Industrial Resources[M]. New York: Harper & Row Publishers, 1933.
- [3] United Nations Environment Programme. U. N. Conference on Human Environment[C]. Stockholm, Sweden, June 20-26, 1972.
- [4] 李文华.《中国自然资源通典》介绍[J].自然资源学报,2016,31(11):1969-1970.[Li W H. Introduction of Dictionary of Chinese Natural Resource[J]. Journal of Natural Resources, 2016, 31(11): 1969-1970.]
- [5] 自然资源部.自然资源调查监测体系构建总体方案[EB/OL].(2020-02-17)[2020-09-10].http://gi.mnr.gov.cn/202001/t20200117_2498071.html. [Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. Scheme for the Construction of Natural Resources Investigation and Monitoring System[EB/OL]. (2020-02-17) [2020-09-10]. http://gi.mnr.gov.cn/202001/t20200117_2498071.html.]
- [6] 葛良胜,夏锐.自然资源综合调查业务体系框架[J].自然资源学报,2020,35(9):2254-2269.[Ge L S, Xia R. Research on comprehensive investigation work system of natural resources[J]. Journal of Natural Resources, 2020, 35(9): 2254-2269.]
- [7] 陈国光,张晓东,张洁,等.自然资源分类体系探讨[J].华东地质,2020,41(3):209-214.[Chen G G, Zhang X D, Zhang J, et al. Discussion on natural resources classification system[J]. East China Geology, 2020, 41(3): 209-214.]
- [8] 郑景云,尹云鹤,李炳元.中国气候区划新方案[J].地理学报,2010,65(1):3-12.[Zheng J Y, Yin Y H, Li B Y. A new scheme

- for climate regionalization in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2010,65(1): 3-12.]
- [9] 赵松乔, 陈传康, 牛文元. 近三十年来我国综合自然地理学的进展[J]. *地理学报*, 1979, (3): 187-199. [Zhao S Q, Chen C K, Niu W Y. Thirty years in integrated physical geography in people's republic of China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1979, (3): 187-199.]
- [10] 林超. 中国自然区划大纲(摘要)[J]. *地理学报*, 1954, 20(4): 395-418. [Lin C. Natural division outline of China(abstract)[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1954, 20(4): 395-418.]
- [11] 黄秉维. 中国综合自然区划草案[J]. *科学通报*, 1959, (18): 594-602. [Huang B W. Draft of comprehensive natural division of China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1959, (18): 594-602.]
- [12] 周起业, 刘再兴, 祝诚, 等. *区域经济学*[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1990. [Zhou Q Y, Liu Z X, Zhu C, et al. *Regional Economics*[M]. Beijing: China Renmin University Press, 1990.]
- [13] 郭焕成. *中国农业经济区划*[M]. 北京: 科学出版社, 1999. [Guo H C. *Agricultural economic division of China*[M]. Beijing: Science Press, 1999.]
- [14] 侯学煜. 论我国自然生态区划及其大农业的发展(I)[J]. *中国科学院院刊*, 1988, (1): 28-37. [Hou X Y. On the division of natural ecology and the development of agriculture in China(I)[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 1988, (1): 28-37.]
- [15] 刘军会, 傅小锋. 关于中国可持续发展综合区划方法的探讨[J]. *中国人口·资源与环境*, 2005, 15(4): 11-16. [Liu J H, Fu X F. Discussion on method of China's sustainable development integrated regional planning[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2005, 15(4): 11-16.]
- [16] 黄秉维. 论地球系统科学与可持续发展战略科学基础(I)[J]. *地理学报*, 1996, (4): 350-354. [Huang B W. On earth system science sustainable development strategy(I)[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1996, (4): 350-354.]
- [17] 刘秀花, 李永宁, 李佩成. 西北地区不同地域生态-经济-社会综合区划指标体系研究[J]. *干旱区地理*, 2011, 34(4): 642-648. [Liu X H, Li Y N, Li P C. Index system for ecological-economic-social comprehensive regionalization in the northwest China[J]. *Arid Land Geography*, 2011, 34(4): 642-648.]
- [18] 念沛豪, 蔡玉梅, 张文新, 等. 面向综合区划的国土空间地理实体分类与功能识别[J]. *经济地理*, 2014, 34(12): 7-14. [Nian P H, Cai Y M, Zhang W X, et al. Geographic entity division and functions identification oriented comprehensive regionalization[J]. *Economic Geography*, 2014, 34(12): 7-14.]
- [19] Lin H X, Huang J C, Fang C L, et al. A preliminary study on the theory and method of comprehensive regionalization of cryospheric services[J]. *Advances in Climate Change Research*, 2019, 10(2): 115-123.]
- [20] 程维明, 周成虎, 李炳元, 等. 中国地貌区划理论与分区体系研究[J]. *地理学报*, 2019, 74(5): 839-856. [Cheng W M, Zhou C H, Li B Y, et al. Geomorphological regionalization theory system and division methodology of China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(5): 839-856.]
- [21] 罗开富. 中国自然地理分区草案[J]. *地理学报*, 1954, 20(4): 379-394. [Luo K F. A draft for physical geography regionalization of China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1954, 20(4): 379-394.]
- [22] 吴绍洪. 综合区划的初步设想: 以柴达木盆地为例[J]. *地理研究*, 1998, 17(4): 367-374. [Wu S H. The basic design of integrated zonation: Case study of Qaidam Basin[J]. *Geographical Research*, 1998, 17(4): 367-374.]
- [23] 张学儒, 张德铨, 刘林山, 等. 基于SOFM神经网络模型的土地类型分区尝试: 以青藏高原东部样带为例[J]. *地理研究*, 2013, 32(5): 839-847. [Zhang X R, Zhang Y L, Liu L S, et al. Zoning by land types based on SOFM network: A case study on transect of eastern Tibetan Plateau[J]. *Geographical Research*, 2013, 32(5): 839-847.]
- [24] 赵松乔. 中国综合自然地理区划的一个新方案[J]. *地理学报*, 1983, 38(1): 1-10. [Zhao S Q. A new scheme for comprehensive physical regionalization in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1983, 38(1): 1-10.]
- [25] 钱纪良, 林之光. 关于中国干湿气候区划的初步研究[J]. *地理学报*, 1965, 32(1): 1-14. [Qian J L, Lin Z G. A preliminary study on the dry and wet climatic regionalization of China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1965, 32(1): 1-14.]
- [26] 林振耀, 吴祥定. 青藏高原气候区划[J]. *地理学报*, 1981, 48(1): 22-32. [Lin Z Y, Wu X D. Climatic Regionalization of the Qinghai-Xizang Plateau[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1981, 48(1): 22-32.]
- [27] 傅伯杰, 刘国华, 陈利顶, 等. 中国生态区划方案[J]. *生态学报*, 2001(1): 1-6. [Fu B J, Liu G H, Chen L D, et al. Scheme of ecological regionalization in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001(1): 1-6.]
- [28] 吴波, 郭书海, 李宝林, 等. 中国土壤环境功能区划方案[J]. *应用生态学报*, 2018, 29(3): 961-968. [Wu Bo, Guo S H, Li B L, et al. Draft of soil environmental function regionalization of China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, 29(3): 961-968.]
- [29] 郑景云, 卞娟娟, 葛全胜, 等. 1981-2010年中国气候区划[J]. *科学通报*, 2013, 58: 3088-3099. [Zheng J Y, Bian J J, Ge Q S, et al. The climate regionalization in China for 1981-2010. *Chin Science Bulletin*, 2013, 58: 3088-3099.]
- [30] 吴绍洪, 潘韬, 刘燕华, 等. 中国综合气候变化风险区划[J]. *地理学报*, 2017, 72(1): 3-17. [Wu S H, Pan T, Liu Y H, et al. Comprehensive climate change risk regionalization of China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 3-17.]
- [31] 刘闯. 中尺度对地观测系统支持下中国综合自然地理区划新方法论研究[J]. *地理科学进展*, 2004, 23(6): 1-9. [Liu C. A new methodology for comprehensive physical regionalization of China

2020年10月

- supported by EOS in the moderate scale[J]. *Progress in Geography*, 2004, 23(6): 1-9.]
- [32] 高江波, 黄姣, 李双成, 等. 中国自然地理区划研究的新进展与发展趋势[J]. *地理科学进展*, 2010, 29(11): 1400-1407. [Gao J B, Huang J, Li S C, et al. The new progresses and development trends in the research of Physio-Geographical regionalization in China [J]. *Progress in Geography*, 2010, 29(11): 1400-1407.]
- [33] Fang C L, Liu H M, Luo K, et al. Process and proposal for comprehensive regionalization of Chinese human geography[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2017, 27(10): 1155-1168.
- [34] 李南岍, 陈建伟. 对中国森林区划的新探讨[J]. *林业资源管理*, 2011, (4): 1-5. [Li N Y, Chen J W. New approach of forest zoning in China[J]. *Forestry Resources Management*, 2011, (4): 1-5.]
- [35] 白永飞, 赵玉金, 王扬, 等. 中国北方草地生态系统服务评估和功能区划助力生态安全屏障建设[J]. *中国科学院院刊*, 2020, 35(6): 675-689. [Bai Y F, Zhao Y J, Wang Y, et al. Assessment of ecosystem services and ecological regionalization of grasslands support establishment of ecological security barriers in Northern China[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2020, 35(6): 675-689.]
- [36] 张玉韩, 侯华丽, 沈悦, 等. 乌蒙山片区矿产资源开发功能分区及扶贫政策探索[J]. *资源科学*, 2018, 40(9): 1716-1729. [Zhang Y H, Hou H L, Shen Y, et al. Study on the functional division of mineral resources development and poverty alleviation policy in Wumeng Mountain Area[J]. *Resources Science*, 2018, 40(9): 1716-1729.]
- [37] 高春东, 何洪林. 野外科学观测研究站发展潜力大应予高度重视[J]. *中国科学院院刊*, 2019, 34(3): 344-348. [Gao C D, He H L. Great importance should be attached to development potential of field scientific observation and research[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2019, 34(3): 344-348.]
- [38] Fang J Y, Yu G R, Liu L L, et al. Climate change, human impacts, and carbon sequestration in China[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2018, 115(16): 4021-4026.
- [39] Tang X L, Zhao X, Bai Y F. Carbon pools in China's terrestrial ecosystems: New estimates based on an intensive field survey[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2018, 115(16): 4021-4026.
- [40] 中华人民共和国自然资源部. 自然资源科技创新发展规划纲要[EB/OL]. (2018-10-16) [2020-09-10]. http://www.mnr.gov.cn/gk/tzgg/201811/t20181113_2364664.html. [Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. Outline of Scientific and Technological Innovation Development Planning for Natural Resources[EB/OL]. (2018-10-16) [2020-09-10]. http://www.mnr.gov.cn/gk/tzgg/201811/t20181113_2364664.html.]
- [41] 沈镭, 钟帅, 胡纾寒. 新时代中国自然资源研究的机遇与挑战[J]. *自然资源学报*, 2020, 35(8): 1773-1788. [Shen L, Zhong S, Hu S H. Opportunities and challenges of natural resources research of China in the New Era[J]. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(8): 1773-1788.]
- [42] 中华人民共和国科学技术部. 国家野外科学观测研究站管理办法[EB/OL]. (2018-06-29) [2020-09-10]. http://www.gov.cn/gongbao/content/2018/content_5346686.htm. [Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China. The Measures for the Administration of the National Wild Scientific Observation Station[EB/OL]. (2018-06-29) [2020-09-10]. http://www.gov.cn/gongbao/content/2018/content_5346686.htm.]
- [43] 孙鸿烈. 发挥优势, 提高野外观测试验水平[J]. *中国科学院院刊*, 1987, 2(1): 5-9. [Sun H L. Advantage, improve the level of field observation test[J]. *Proceedings of the Chinese Academy of Sciences*, 1987, 2(1): 5-9.]
- [44] 郭亚曦. 抓住机遇建设国际一流水平野外台站[J]. *中国科学院院刊*, 2000, 15(5): 366-369. [Guo Y X. Seize the opportunity to build an international first-class field station[J]. *Proceedings of the Chinese Academy of Sciences*, 2000, 15(5): 366-369.]
- [45] 刘勇卫. 野外站在科研、生产中的作用及其管理[J]. *地球科学信息*, 1987, 31(3): 23-25. [Liu Y W. The wild stood in the role of scientific research, production and management[J]. *Earth Science Information*, 1987, 31(3): 23-25.]
- [46] 沈镭, 张红丽, 钟帅, 等. 新时代下中国自然资源安全的战略思考[J]. *自然资源学报*, 2018, 33(5): 721-734. [Shen L, Zhang H L, Zhong S, et al. Strategic thinking on the security of natural resources of China in the new era[J]. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(5): 721-734.]
- [47] 张文驹. 自然资源一级分类[J]. *中国国土资源经济*, 2019, 32(1): 4-14. [Zhang W J. The classification for natural resources[J]. *Natural Resource Economics of China*, 2019, 32(1): 4-14.]
- [48] Liu J G, Dietz T, Carpenter S R, et al. Complexity of coupled human and natural systems[J]. *Science*, 2007, 317(5844): 1513-1516.
- [49] 朱会义, 刘述林, 贾绍凤. 自然地理要素空间插值的几个问题[J]. *地理研究*, 2004, (4): 425-432. [Zhu H Y, Liu S L, Jia S F. Problems of the spatial interpolation of physical geographical elements[J]. *Geographical Research*, 2004, (4): 425-432.]
- [50] 念冲豪, 蔡玉梅, 马世发, 等. 国土空间综合分区研究综述[J]. *中国土地科学*, 2014, 28(1): 20-25. [Nian P H, Cai Y M, Ma S F, et al. Review of Spatial Comprehensive Zoning in China[J]. *China Land Sciences*, 2014, 28(1): 20-25.]
- [51] 李正国, 王仰麟, 张小飞, 等. 景观生态区划的理论研究[J]. *地理科学进展*, 2006, (5): 10-20. [Li Z G, Wang Y L, Zhang X F, et al. Principles and systems of landscape ecological regionalization[J]. *Progress in Geography*, 2006, (5): 10-20.]

Theories and technical methods for the comprehensive regionalization of natural resources in China

ZHANG Haiyan¹, FAN Jiangwen¹, HUANG Lin¹, TANG Yulei², YUE Ying³,
YANG Yu³, LIU Xiaohuang⁴

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. Center for Geophysical Survey, China Geology Survey, Langfang 065000, China; 3. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 4. Natural Resources Comprehensive Survey Command Center, China Geological Survey, Beijing 100055, China)

Abstract: The comprehensive regionalization of natural resources directly reflects the spatial heterogeneity of complex natural resources of land, minerals, forests, grasslands, wetlands, waters, islands, and so on. It provides an important scientific basis for the construction of the national natural resources observation system and the spatial distribution of scientific field observation stations by zones, categories, and levels. At present, theoretical research on the comprehensive regionalization of natural resources in China is still lacking. Furthermore, a scientific and accurate evaluation paradigm for its technical methods has not been formed. First, based on the spatial pattern and dynamic characteristics of natural resources, and starting with the systematic management of mountain, water, forest, cropland, and grassland systems, this article presented a conceptual framework for the comprehensive regionalization of natural resources. Next, we developed an indicator system and technical methods for the comprehensive regionalization of natural resources according to the basic principles of subjectivity, integrality, multiple scale, hierarchy, and expansibility. Finally, we examined the differences between the comprehensive regionalization of natural resources and natural system and ecological regionalization. This study may help enhance our knowledge of the coupling relationship and differentiation characteristics of natural resources, promote multidisciplinary development, and serve the requirements of the national strategies including the system of natural resource management.

Key words: China; natural resources; comprehensive regionalization; spatiotemporal attributes; technical methods