

碳达峰碳中和目标下自然资源管理领域的关键问题

赵荣钦¹, 黄贤金², 郇文聚³, 吴克宁⁴, 陈银蓉⁵,
王少剑⁶, 卢鹤立⁷, 方 恺⁸, 李 宇⁹

(1. 华北水利水电大学测绘与地理信息学院, 郑州 450046; 2. 南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210023;
3. 自然资源部国土整治中心, 北京 100035; 4. 中国地质大学(北京)土地科学与技术学院, 北京 100083;
5. 华中农业大学公共管理学院, 武汉 430070; 6. 中山大学地理科学与规划学院, 广州 510275;
7. 河南大学地理与环境学院, 开封 475001; 8. 浙江大学公共管理学院, 杭州 310058;
9. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 基于低碳目标创新自然资源管理体制, 对于提升生态系统碳汇水平和自然资源支撑能力, 推动经济社会中长期低碳转型具有重要意义。围绕“双碳”目标下的自然资源管理, 九位专家分别从不同视角提出了创新自然资源管理的策略, 为基于“资源要素—国土空间—生态系统”多层次视角构建低碳导向的自然资源管理体制提供参考借鉴。专家认为: 未来应构建“双碳”目标下自然资源管理领域的系统性应对框架, 建立健全自然资源“要素—空间—系统”多层次协同管理的体制机制; 构建全域自然资源及国土空间碳循环监测网络和符合中国国情的碳核算标准体系, 探索差别化国土空间管控方案; 加强“自然—经济—社会”复合系统的资源流通管理, 探寻基于资源优化管理的区域协同碳减排路径; 将碳汇价值纳入碳交易和生态补偿体系, 构建基于国土空间碳中和评价的区域横向碳补偿制度, 推动区域协同减排和公平协调发展。

关键词: 碳达峰; 碳中和; 自然资源管理; 国土空间

习近平总书记指出, 要力争于2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和(以下简称“双碳”目标)。这是党中央站在人类命运共同体高度提出的重大战略决策部署, 必将引起中国经济社会的系统性变革, 并将对全球应对气候变化及《巴黎协定》温控目标的实现带来深远影响^[1]。事实上, 从经济社会发展现状及能源结构来看, 中国碳中和目标仍然面临诸多挑战和不确定性^[2], 未来必须从资源配置、能源革新、生态碳汇与国土空间、产业结构和技术创新等多方发力, 推动经济社会的全面绿色低碳转型^[3-5]。

自然资源是经济社会的重要物质基础、承载要素和空间载体, 资源开发、利用和管理模式及资源利用效率对实现经济社会可持续转型至关重要。近年来, 自然资源管理领域不断面临着新的机遇和挑战, 如何更新管理理念以适应新时代要求是一个重要的课题。2018年自然资源部成立为自然资源统一管理和国土空间规划提供了契机, 也在很大程度上改变了以往的自然资源治理模式和管理体制。一方面, 在“山水林田湖草”生命共同体理念下, 自然资源要素关联^[6]、自然资源治理模式^[7]和管理体制改革^[8]等成为政府

收稿日期: 2021-09-09; 修订日期: 2022-01-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(41971241); 河南省高校科技创新人才项目(人文社科类)(2021-CX-011)

作者简介: 赵荣钦(1978-), 男, 河南孟津人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事资源环境与碳排放领域研究。

E-mail: zhaorq234@163.com

通讯作者: 黄贤金(1968-), 男, 江苏扬中人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事资源环境经济与政策研究。

E-mail: hxj369@nju.edu.cn

部门和学界关注的焦点；另一方面，面向“一张图”的“五级三类”国土空间规划全面展开^[9]，通过“双评价”^[10]，划定“三区三线”^[11,12]，打造差别化、可承载的国土空间格局，以期为美丽中国建设提供重要途径和空间保障^[13]。在当前“双碳”背景下，中央提出把碳达峰、碳中和纳入生态文明建设整体布局，各地自然资源部门也正积极行动制定“双碳”行动方案，这对未来应对和减缓气候变化的自然资源管理模式提出了新要求。百年未有之时代变革和国家战略的叠加进一步凸显了自然资源的地位和价值，对重塑自然资源治理体制产生了深刻影响^[6]。因此，亟需加强气候变化背景下自然资源管理领域创新，以更好地支撑中国经济社会的可持续发展，这不仅是中国履行国际碳减排承诺的要求，也是未来经济社会高质量发展的内在需求。

碳排放是近年来多学科交叉的研究热点之一^[14,15]。十余年来国内学界将资源利用和管理与碳源/汇相结合开展了大量研究。比如：土地利用碳排放^[16,17]和碳代谢^[18,19]、土地整治的碳效应^[20]、土地生态碳汇与能源消费碳排放^[21]、水系统碳排放^[22]、矿产资源开发的碳排放^[23]、碳汇价值^[24]与碳补偿^[25]等，为低碳导向的自然资源管理提供了重要参考。但前期研究主要集中在单一资源领域，对于碳中和目标下自然资源系统管理的研究尚需要进一步加强^[26]。因此，将“双碳”目标全面融入生态文明建设、自然资源管理和空间规划体系^[27]，不仅有助于为降碳增汇、推动碳中和目标实现提供自然资源领域的方案和贡献，而且对于提升经济社会的资源承载能力和资源利用效率、增强适应气候变化能力具有重要的现实意义。鉴于此，组织国内自然资源领域的九名专家学者就“碳中和目标下的自然资源管理”发表观点，以期为碳中和目标下的中国自然资源管理的系统性应对提供理论借鉴和实践指导。

赵荣钦：加强资源耦合管理，推动实现碳中和目标

赵荣钦：华北水利水电大学测绘与地理信息学院教授、博士生导师。主要研究领域为资源环境与碳排放。

核心观点：加强自然资源耦合管理，构建“双碳”目标下的区域资源耦合开发和协同管理模式，探索建立低碳型国土空间规划方案和生态修复模式，对于资源节约集约利用和区域低碳转型等具有重要意义。

前期研究较少关注区域资源耦合开发对碳排放的影响，对于从资源开发的源头探寻气候变化适应和减缓对策和路径研究还需要加强。自然资源涵盖水、土、能、矿、生等多种类型，不同区域资源组合格局、开发利用强度及经济社会需求不同，资源投入的组合格局和强度、资源流动和代谢效率、耦合开发模式从根本上决定了区域“自然—经济—社会”复合系统的碳排放效率。近年来，关于“水—能—粮食”^[28,29]、“水—土—能—碳”^[6,30,31]等多要素关联分析逐渐成为热点。碳中和是一项系统工程，对自然资源管理领域而言，需要考虑从区域自然资源禀赋和经济社会系统的资源需求（以及不同类型资源的相互需求）出发，考虑不同资源组合开发利用模式对碳排放的影响，并寻求面向碳增汇/减排的资源耦合开发和优化策略。这既是未来面向碳中和目标的自然资源统一管理的必然要求，也是我国履行国际碳减排承诺、推动生态文明建设的重要途径。从多要素资源耦合视角推动碳排放研究的深化，寻求低碳高效的资源综合利用模式，不仅有助于从生产源头和资源耦合开发的角度综合评估区域人类活动应对气候变化的碳减排潜力，而

且对于推动资源节约集约利用和区域低碳转型等具有重要的实践意义^[30]。建议未来应从以下几个方面强化资源耦合与协同优化管理:

(1) 自然资源耦合开发碳排放效应评价体系及协同优化管理模式。针对不同资源类型,探索建立基于全生命周期的自然资源开发碳排放核算标准、评价体系和预警机制,并开展试点示范。建立基于大数据的监测平台,开展水、土、能、矿、生等多种资源类型耦合开发的碳排放效应评价,分析区域社会经济活动对资源组合开发不同格局的需求及其引致的碳排放,深入研究资源系统低碳综合管理方案,提出“双碳”目标约束下的区域资源耦合开发和协同管理模式^[27]。

(2) 面向碳中和目标的国土空间规划与生态修复治理模式。将自然资源开发的碳排放强度融入“双评价”体系,并将其作为国土空间格局优化的重要依据,探索构建低碳型国土空间规划方案。基于“山水林田湖草沙冰”生命共同体理念,将碳源/汇效应评价与土地整治、复垦和矿区生态修复相结合,建立生态修复碳效应后评估与监控机制,并开展面向碳中和的生态修复试点。

(3) 研究“自然—社会—经济”复合系统资源能源耦合流动与代谢管理机理。分析自然资源与社会经济系统多要素资源能源流动和代谢与碳排放效率的关系,揭示区域之间隐含资源流动的碳排放效应^[27],探寻基于资源优化利用的区域协同碳减排路径;坚持区域协调理念,在考虑区域资源禀赋、经济发展水平、发展潜力和贫困程度的基础上,将资源利用及其碳排放效率与区域横向生态补偿相结合,推动资源节约集约利用和碳减排。

黄贤金: 基于碳承载力开展国土空间格局优化研究

黄贤金: 南京大学地理与海洋科学学院教授、博士生导师。主要研究领域为资源环境经济与政策。

核心观点: 碳达峰、碳中和战略的提出,业已使得碳要素成为资源环境承载力评价的重要内容,需要依据碳源/汇的时空规律,科学开展碳承载力评估。

“双碳”目标的提出,业已使得碳要素成为影响经济社会发展以及国土空间格局的关键要素。因此,不同区域的国土空间布局,已受制于人与自然系统的碳排放及碳汇能力影响。为此,需要在开展水、土地、能源、海洋以及污染排放等要素资源环境承载力评价的基础上,创新基于碳达峰、碳中和的人口、经济及建设用地等承载或开发规模的承载力评价内容,从而切实构建有利于支撑“双碳”战略实施的国土空间格局体系。

碳达峰目标的科学安排,既是经济社会发展调控能力的重要体现,也是经济社会发展规律的结果。由此,特定区域空间碳达峰的安排,也决定了相应时期人均碳排放、单位GDP碳排放的水平,由此也极大地影响了建设用地扩张规模。例如,有关研究表明,业已碳达峰城市的人均GDP为1.9万~2.2万美元^[32];而基于碳排放峰值的长江经济带人口承载力研究的结果表明,不同碳排放情景直接影响了长江经济带以及11个省、直辖市的人口承载力规模^[33]。

同样,碳源/汇的时空格局也是有规律的。作为碳源/汇平衡结果的碳中和实现,需要在科学揭示不同时期碳源/汇时空规律的基础上,平衡好特定时期及其以后时期的碳源/汇的空间关系。需要指出的是,所预测的未来特定时期的碳汇能力,受制于气候变化不确定性以及其他自然或人类活动要素的影响,其自身也具有不确定性,由此也将对碳要素

的人口、经济等承载力产生影响。例如,有研究表明,近40年来全球陆地生态系统二氧化碳施肥效应出现大幅下降,这进一步减少陆地的气候作用且加速全球变暖,为解决气候问题所做出的各种努力增添难度^[34]。因此,在基于碳承载力优化国土空间格局的研究中,需要基于有效时间尺度的碳源/汇时空规律加以深入分析,从而为增强人类社会应对气候变化能力提供科学参考。

鄢文聚: 建设18亿亩生态良田,提升农田生态系统碳汇能力

鄢文聚: 自然资源部国土整治中心研究员、博士生导师。主要研究领域为耕地资源评价与国土整治。

核心观点: 将碳中和目标纳入高标准农田建设和绿色农业发展,加强耕地碳汇的重大科学问题和关键技术研究,以耕地碳增汇为目标强化农田精细化管理,实现粮食安全和耕地固碳能力提升的双重目标。

与森林土壤、草原土壤的碳库建设相比,我国耕地碳库建设的意义更加重大^[35]。改革开放后,大量施用化肥,增加了作物秸秆还田,提高了耕地有机碳含量;近年,大规模退耕还林还草还湿,把耕地碳库转化为森林、草原、湿地碳库,也有效增加了土壤碳汇。但是,综合国内外文献研究,总体上讲,我国耕地土壤有机碳水平普遍距离饱和水平还有较大距离,与欧盟及美国耕地土壤相比,由于耕作模式及管理措施的差异,我国耕地土壤有机碳密度尚处于较低水平。我国耕地土壤碳汇潜力巨大。我国实测数据约为32.34~33.47 t/hm²,而欧盟同期均值为46.8 t/hm²。另据测算,如果能广泛采用最佳农田管理措施,到2050年,我国耕地土壤固碳潜力能够达到20亿~25亿t,固碳速率将达到3680万t/a;我国耕地土壤年固碳潜力为596万~8840万t/a,单位面积耕地土壤固碳潜力为0.05~0.68 t/(hm²·a⁻¹)。因此,宜采取果断措施,努力使我国耕地土壤未来固碳潜力达到20亿t碳以上,对2060年实现碳中和目标发挥重要作用。反过来看,如不采取果断措施,继续目前的自然状态不改变,一是不利于种植业可持续发展,过度利用,甚至耗竭耕地自然肥力;二是不利于有效发挥耕地土壤消纳降解有害物质的功能,继续恶化耕地土壤大面积退化形势;三是不利于生态文明建设,发挥耕地土壤固碳增汇功能,为实现碳中和目标作出应有贡献。因此,应加强耕地碳汇的重大科学问题和关键技术研究,分区域有针对性地开展研发整装成套技术,以耕地碳增汇为目标导向,精细化管理耕地可持续利用,推行少耕免耕、秸秆还田、增施有机肥等农田管理措施,既要保障国家粮食安全,又要不失时机地提升我国耕地固碳增汇能力。

与此同时,要完善中国耕地土壤碳汇监测台站体系与标准化碳汇数据产出,研制中国耕地碳汇核算标准体系和绿色农田建设标准,构建耕地土壤碳交易政策与运行机制,完善耕地固碳增汇政策机制保障。大规模建设高标准农田,发展绿色农业已经成为我国一项国家战略。根据耕地土壤固碳增汇的时代要求,建议将固碳增汇纳入高标准农田建设规范,从提高农田作物生物量及碳吸收能力方面制定土地平整、施肥技术等标准;从增加土壤有机碳库方面制定秸秆还田、绿肥翻压还田和有机肥施用标准;从减少土壤呼吸及土壤碳库分解方面制定保护性耕作等标准;从减轻土壤侵蚀和碳库损失方面制定灌溉水源、渠道、田间灌溉、泵站、渠系建筑物等田间工程标准;从全面提高农田生态系统碳汇方面制定田间绿色道路、绿色田埂、农田防护林网建设标准。

吴克宁:管好土地资源,助力“双碳”目标

吴克宁:中国地质大学(北京)土地科学与技术学院教授、博士生导师。主要研究领域为土地资源管理。

核心观点:以结构调整、用地管制和多措管控等手段为切入点,统筹考虑气候、地质、土壤、水文和生物等因素,协调能源、产业、技术的发展和土地利用,助力“双碳”目标的实现。

土地利用与覆被变化是影响陆地系统碳循环过程、引起碳源/汇变化的重要原因。有研究表明,目前全球每年排放的二氧化碳大约是400亿t,其中14%来自土地利用,86%来自化石燃料利用。排放出来的这些二氧化碳,大约46%留在大气,23%被海洋吸收,31%被陆地吸收。发挥土地的载体作用,将“双碳”目标引入土地资源管理中,以结构调整、用地管制和多措管控等手段为切入点,统筹考虑气候、地质、土壤、水文和生物等因素,协调能源、产业、技术发展和土地利用,能够助力“双碳”目标的实现。

(1) 优化国土空间结构,助力碳中和。在国土空间规划中,以低碳为目标引导人口和产业的合理布局,以土地利用数量结构和空间格局的优化促进产业布局的调整。减少以化石能源消耗为主的能源消费型地类,倒逼能源利用效率的提高。增加清洁能源的空间布局,促进能源利用结构的转移和合理化。

(2) 加强土地用途管制,减少碳排放。不同土地利用方式的碳排放差异明显。目前我国碳排放主要集中在建设用地中的工矿用地、交通用地和城乡居民点用地。加强土地用途管制,严控建设用地规模扩张、森林砍伐等增加碳排放的土地利用行为。控制国土开发强度,在不同尺度建立碳循环监测网,对主要用地类型的碳排放数量和强度进行监测,加强土地利用碳排放过程的政策干预。

(3) 保护自然生态系统,增加碳储存。森林、草原、农田、湿地等自然生态系统具备一定的碳储存能力。结合生态保护红线和自然保护区的划定和管护,有效发挥自然生态系统的固碳能力。统筹考虑生态保护与粮食安全两方面问题,对于耕地中的边际土地,可适当地退耕还林还草,提高植被和土壤碳库碳储量。从国土空间治理出发,系统推进生态保护和生态修复工作,提升自然生态系统的固碳能力。

(4) 创新土地管理措施,调控碳源/汇。农田既是碳源又是碳汇,耕作方式、养分投入、种植制度等不同的土地管理方式对其碳储量也存在一定的影响。在区域尺度,创新管理技术,采用针对性地施肥和排水措施,开展少耕免耕栽培等技术,增加土壤固碳量。采用经济 and 政策激励措施,引导农户种植高碳汇作物,增加农田和草地的碳储量。

陈银蓉:“双碳”目标下国土空间布局与管控应差别化

陈银蓉:华中农业大学公共管理学院教授、博士生导师。主要研究领域为资源开发利用与管理。

核心观点:在“双碳”目标下,针对不同区域条件和碳排放水平,采取区域差别化的国土空间碳排放管控目标和方案,以实现经济社会的可持续发展。

20世纪70年代以来,大气CO₂浓度增加导致的温室效应,对全球农牧业、生态系统、水资源、海岸带、社会经济等造成巨大影响。土地既是陆地生态系统碳汇的自然载体,也是人类生产生活的空间载体,土地利用碳减排对于“双碳”目标的实现具有重要意义。

(1) 从不同区域自然禀赋条件和发展状况来看, 各地碳排放水平存在较大差异。省域尺度, 我国碳排放水平在空间分布上呈从东至西递减的态势, 各省碳汇是造成地均碳排放和建设用地地均碳排放空间分布差异的主要原因^[36]。近年来, 各省由农业活动带来的碳排放比较稳定, 但碳排放量存在区域差异, 河北、广东、湖南、河南、广西、四川、云南等地区是农业活动碳排放量相对较高的区域; 而工业活动碳排放量不仅在不同年份存在较大差异, 而且在第二产业发展迅速的地区, 如河北、江苏、山东、陕西、河南、内蒙古等地区碳排放变化较大; 碳吸收则大多与林业活动密切相关, 福建、广东、吉林、黑龙江等地碳吸收水平较高。显然, 若忽视这种不同区域自然、经济、社会条件和发展阶段的差异, 采取统一规则和方式下的碳排放管控目标, 目标的可实施性不强, 公平和合理性也显不足, 为此, 需要考虑区域减碳条件和减碳潜力的差异。

(2) 我国城市化发展迅速, 带来的农用地占用与减少、能源消费提升、交通用地增加和设施改善、产业发展和集聚等无时不刻不影响着城市“自然—社会”碳循环过程。现有研究表明土地利用规划、产业政策、能源发展政策、用地管理等对降低碳排放产生了积极影响。城市规划与土地利用规划曾是城市土地利用安排和管控的重要依据, 未来的国土空间规划则是国土空间开发利用与管控的依据, 其规划的实施涉及到碳源、碳汇用地数量和空间分布及建设开发的强度。然而, 不同区域城市 and 不同城市化发展阶段, 其经济结构和碳减排能力存在差异。如长三角城市群、珠三角城市群、京津冀都市圈等业已成为我国城市集聚和经济高速高质量发展的代表, 而长江中游城市群、武汉城市圈等这类城市化集中发展区域也开始步入高速发展阶段。针对不同区域制定适宜的“双碳”目标实施方案, 需要从区域整体的碳环境稳定性和协调发展角度出发, 讨论国土空间调控的减碳效应, 由此制定切实可行的国土空间低碳配置方案和管控措施。同时, 还需要在明确其碳排放管控目标和减碳策略的前提下, 根据每个区域自身条件和发展诉求, 在追求整体利益的同时, 兼顾区域和城市个体的发展愿望, 建立和完善区域碳排放交易和补偿机制, 以保证在兼顾发展公平的同时, 实现“双碳”目标。

(3) 建立因地制宜的调控措施。如中西部地区在承接东部地区产业转移发展当地经济的同时, 将土地利用碳排放效率纳入土地利用强度管控范围, 以便更好地借鉴和分享东部发达地区的科技成果, 同时避免因用地和能源消耗的增加带来的碳排放大幅提升。对于耕地和林地区位优势明显的区域, 应加大耕地和林地保护力度和生态补偿机制建设。总体来看, 生态补偿呈“东付西补”的空间格局, 经济发达的东中部省份为补偿主体, 补偿客体主要为西北和西南的欠发达省份。而对于城镇村及工矿用地区位优势明显但碳排放效率较低的区域, 加强技术效率水平的提升, 严格用地指标控制, 改善生产要素的投入比, 在提高经济效益的同时实现最小化碳排放产出。在第二产业用地碳排放水平较高的区域如河北、江苏、山东、陕西、河南、内蒙古等, 考虑细化用地管理规则, 提高供地门槛, 盘活存量土地, 引导产业结构调整, 实现低碳发展。

王少剑:“双碳”目标下的城市土地利用碳代谢与土地调控

王少剑: 中山大学地理科学与规划学院副教授、博士生导师。主要研究领域为城市地理、新型城镇化与低碳发展。

核心观点: 城市生产和生活用地扩张会挤占生态用地, 打破了原先城市碳代谢网络结构和平衡状态, 通过土地利用调控来重新平衡无序的城市碳代谢系统, 是实现城市碳

达峰碳中和目标的重要切入点。

土地承载着城市的社会经济活动，土地利用变化使得城市碳排放增多并是城市碳代谢系统失衡的重要来源，土地利用调控已成为平衡城市碳代谢系统以及实现“双碳”目标的重要切入点。城市作为人类社会经济活动的主要集聚地，是最大的温室气体排放源。土地是社会经济活动的载体，土地利用变化在反映城市社会经济各主体部门的发展和影响的同时也能够产生反向影响并改变城市碳排放状态，城市碳排放中已有近三分之一来源于土地利用变化。基于土地利用的城市碳代谢系统能够反映城市各部门和各主体之间复杂的物质和能量流动，耦合了“人文—自然”系统各主体的碳流动过程^[37]，能够揭示城市发展建设过程中人与自然环境的相互作用关系。城镇化过程中，土地利用/覆被的嬗变使得城市碳排放和碳存储在空间及其他特征上产生变化。城市生产生活用地的扩张和挤压侵占了生态用地，严重削弱了土壤储碳和植被固碳的能力，这一过程使得城市碳源空间不断增长；但另一方面碳汇空间则逐渐缩小并呈现破碎化、边缘化的特征；城市建设用地的无序蔓延和扩张打破了城市碳代谢系统的网络结构和平衡状态。因此，通过土地利用调控，重新平衡不合理土地利用引起的无序城市碳代谢系统是实现“双碳”目标愿景和提升城市可持续性水平的重要路径。

在“双碳”目标的约束下，开展城市土地利用碳代谢网络机制与土地利用调控路径分析研究具有重要意义。主要体现在：（1）揭示城镇化过程中社会经济部门和生态环境主体间碳流动的方向和规模，反映土地利用碳代谢系统的结构和功能，体现城市社会经济活动同生态环境之间的相互作用关系；（2）基于城市土地利用的碳代谢网络能够追踪城市完整碳代谢系统的全过程，量化追踪城市土地利用碳代谢的物质能量流动，从而可以剖析城市代谢机理及其城市代谢效率，有效服务于低碳城市建设；（3）碳作为区域社会经济生产的关键要素，厘清城市土地利用碳代谢网络关系并开展土地利用调控，可以统筹城市区域内各种资源的利用和组合关系，同时还能够倒逼区域土地利用结构和空间布局的优化升级，为城市低碳发展空间调整提供科学指导和理论依据，提升城市可持续性水平。

卢鹤立：以可持续森林资源管理机制促进实现碳中和目标

卢鹤立：河南大学地理与环境学院教授、博士生导师。主要研究领域为资源管理、气候变化与可持续发展。

核心观点：强调森林资源的碳汇信用，积极引入外部资金，利用市场机制来减少森林破坏和防止森林退化，利用基于自然的解决方案提升碳汇和其他生态系统服务功能。

目前，因森林砍伐导致的碳排放已占全球总温室气体排放量的五分之一，超过了交通部门碳排放量的占比。然而，由于核定和监测问题，以稳定温室气体浓度、实现全球碳减排为目标的京都议定书，却并没有涉及到这个方面。2015年12月，《联合国气候变化框架公约》近200个缔约方在巴黎气候变化大会上通过《巴黎协定》，为2020年后全球应对气候变化行动做出了安排。《巴黎协定》同时也使该协定第五条涉及的森林资源可持续管理机制得到了国际法上的确认，为国际社会进一步强化森林在应对气候变化问题上的效用，以及发展中国家扩大森林经营，实现低碳发展铺平了道路。要实现“双碳”目标，显然离不开第五条行动框架。开展联合国可持续森林资源管理机制，不仅需要国际组织、国家、当地政府、当地居民的紧密配合，还需要外部资金的紧密合作。而机制的

核心是利用市场机制来鼓励因森林砍伐导致的温室气体排放的国家减少森林破坏和防止森林退化,同时允许通过碳市场获利。

因此,在对外方面,中国需要表明:发达国家有义务和责任帮助发展中国家,发达国家须提供充足的资金,通过技术培训提升发展中国家应对气候变化的能力,特别是毁林和森林退化导致的碳排放;有些跨国金融机构在森林碳汇方面的贡献不足,需要世界各国政府联合行动,促进气候变化领域的全球治理。在对内方面,中国可以考虑开放碳市场中的志愿市场(Voluntary Carbon Market),从而引入森林生态有偿服务机制;强调造林和再造林的森林碳汇信用,以体现中国生态保护工程的效果;可以先让一些企业和发达地区对森林保护进行投资,以保护森林资源和生态环境,通过增强森林碳储量提高森林治理在地区发展中的作用。在保护措施方面,需要重视基于自然的解决方案,如保护森林面积,减少人为干扰,减少森林病虫害,提高森林质量;通过森林生态系统的保护和修复,提升生态系统固碳能力。同时,中国需要进一步加强土地和森林生态系统固碳潜力的科学论证,对固碳极限或者潜力阈值要有明确的认知,以在碳监测、报告和核查(MRV)、碳交易和碳金融业务中拥有话语权,推动对外合作中的环境和低碳标准建设。

方恺:构建现代生态碳汇体系,助力碳中和目标实现

方恺:浙江大学公共管理学院研究员、博士生导师。主要研究领域为资源环境管理与政策。

核心观点:“双碳”目标下,碳汇作为一种稀缺产权、生态产品和新兴产业的重要性不断凸显。应从供给侧和需求侧两方面发力,尽快建立与此相适应的现代生态碳汇体系,通过引入市场机制和完善治理体系实现制度性增汇。

“双碳”目标展现了中国积极应对气候变化、坚定推动气候治理的大国担当。发达国家承诺的碳排放从自然达峰到中和时间间隔一般在40年以上,而我国要在30年甚至更短的时间内完成由政策性碳达峰到碳中和的跨越,难度之大前所未有的。因此,应从碳中和整体目标出发,统筹谋划碳达峰行动方案。当前,以化石能源效率提升和清洁利用为标志的技术性减排潜力不断缩小,越来越多的专家学者将目光投向结构性减排,呼吁构建以可再生能源为主体的新型能源体系。但是,可再生能源大规模替代化石能源必然要经历一个相对漫长的过程,以逐步破除经济、技术、产业、资源、体制机制和文化观念等方面因素的制约。

与碳达峰不同,碳中和的实现需要减排与增汇并举。碳汇一般分为人工碳汇和生态碳汇两大类。其中,以碳捕获、利用与封存(CCUS)为代表的人工固碳技术虽然取得了长足发展,但与可再生能源利用技术一样,依然面临不少现实挑战。相比之下,以森林、草原、湿地、海洋等自然资源为载体的生态碳汇规模巨大、性状稳定,对于保证我国如期实现碳中和意义重大。为此,呼吁从供给侧和需求侧两方面同时发力,尽快建立与碳中和目标相适应的现代生态碳汇体系。

在供给侧方面,一要尽快摸清我国生态碳汇“家底”,借助卫星遥感、智慧监测、大数据分析等手段,全面掌握各类具有碳汇属性的自然资源的分布特征、质量等级、功能结构等信息;二要抓紧编制符合我国实际的生态碳汇核算规程,建立系统集成、动态精准的中国生态碳汇基础数据平台;三要积极开展碳汇资源确权试点,明确所有权、使用权和经营权主体,为市场化经营和交易扫清产权障碍;四要有序推进碳汇产业规划布

局，突出规模化、集群化和数字化赋能，并适时纳入国家战略性新兴产业发展规划。

在需求侧方面，一要鼓励有条件的地区和行业开展碳汇交易试点，推动交易平台建设；二要探索将碳汇交易接入碳排放权市场，围绕存量与增量、域内与域外、配额与全额等关键问题完善交易机制和运行规则，实现碳汇交易与碳排放权交易有机联动；三要开展碳汇产品（如生态竹木制品）绿色认证和个人碳信用体系建设，提升消费者对碳汇产品的支付意愿；四要主动参与碳汇领域国际规则制定，在碳汇技术研发和专业人才培养方面加强国际合作，加强对相关领域“走出去”企业的引导和服务。

现代生态碳汇体系建设是一项系统工程，必须从生态环境治理体系和治理能力现代化的高度加强顶层设计，将碳汇视作一种稀缺产权、生态产品和新兴产业，充分发挥市场机制在资源配置中的决定性作用，调动社会各方力量积极投身碳达峰、碳中和进程，做到政府有为、市场有效、社会有序，驱动我国由现阶段技术性减排为主向结构性减排和制度性增汇并举迈进，为实现“双碳”目标奠定良好基础。

李宇：“双碳”目标下的自然资源管理

李宇：中国科学院地理科学与资源研究所研究员、博士生导师。主要研究领域为城市化资源环境效应及国土空间规划。

核心观点：未来“双碳”目标下中国自然资源管理的基础应从“汇”上做文章，主要是“山水林田湖草沙海冰”系统治理，加强“三区四带”生态屏障建设及生态系统保护成效综合监测评估，重点做好碳汇林地、碳汇草地、碳汇湿地等方面的建设与保护。

气候变化的速率与影响强度已远超人们的各种预期，成为全球性的环境问题，减碳以应对气候变化已日益成为从科学到政治的全球主流共识。2020年，作为发展中国家的中国庄严承诺了“双碳”目标，日本、加拿大、美国、韩国等发达国家也提出各自时间表。目前已有约130个国家和地区都做出了碳中和承诺，其从“碳达峰”到“碳中和”平均时间是43年，而我国只有30年。“双碳”是一次广泛、细致的从自然资源到经济社会再到政治文化的系统性变革和绿色低碳转型，深刻影响至少未来四十年的中国自然资源管理与区域发展方向。未来“双碳”目标下中国自然资源管理的基础应从“汇”上做文章，主要是“山水林田湖草沙海冰”系统治理，加强“三区四带”生态屏障建设以及生态系统保护成效综合监测评估，重点做好碳汇林地、碳汇草地、碳汇湿地等的建设与保护，这方面工作的关键是碳交易机制的建立^[38,39]。十多年来我们长期关注的黄河上游生态屏障典型地区——甘肃省甘南藏族自治州，其生态承载力一直在提升，碳汇水平也在提升，但经济社会发展受限，探索区域性、全国性的生态补偿、碳补偿机制紧迫性凸显。

总体上看，“双碳”目标的实现，特别是近、中期重点，仍在于“源”涉及的化石能源管理、工业转型以及农业特别是畜禽养殖业减排领域。从2006年研究《应对气候变化国家方案》以来，我们长期关注碳排放与经济社会系统的关系^[38,39]。对于目前我国整体的经济增长方式和经济体系来说，主要工业污染物、碳排放与经济社会系统之间仍存在长期协整关系，且呈现显著的环境库兹涅茨倒“U”型曲线关系，而拐点并没有出现在过低的水平（人均GDP约1.5万~2万美元）^[40]。对于第二大碳排放源农业来说，减排压力也很大，从第一次到第二次污染普查来看，农业源污染排放量占总排放量“半壁江山”的格局并未改变，且养殖业的污染排放情况日益高于种植业，而由于面源特征，农业排

放拐点处在比之工业排放更高的水平（约人均GDP 1.2万~2.5万美元）之上，基于周边16个国家数据比较，中国甚至比这一数字更高^[40,41]。中国的碳减排投资在逐年快速增长，根据模型研究及国际经验总结，要实现碳达峰，自然资源与环境投资水平至少应达到相当于历史同期的投入，即GDP的3%~5%^[40]。这与有关国际机构测算也是一致的，即要实现《巴黎协定》温升控制目标全球每年需投入2.5万亿~2.8万亿美元，平均各国每年要拿出相当于GDP 3%的资金投入到绿色低碳转型中^[40,42]。所以，我国“双碳”目标面临巨大的挑战，实现“双碳”目标的碳减排和自然资源管理升级需要花费巨大的额外成本。

结论

“双碳”目标的提出，使碳要素成为未来经济社会发展的重要约束因素。碳中和理念的核心是碳源和碳汇的平衡。科学合理的自然资源开发管理模式能够从碳汇功能提升、国土空间优化、生态治理修复和社会运行效率等基础层面推动经济社会的低碳转型。对于自然资源管理而言，就是要通过创新管理手段和方式，从“减排”和“增汇”两方面发挥自然资源领域对于碳达峰碳中和的贡献。综合各位专家的观点，未来在自然资源管理领域应特别关注以下关键问题：

（1）构建“双碳”目标下自然资源管理领域的系统性应对框架。将低碳理念全面融入自然资源管理和开发、国土空间治理和生态系统建设等全过程，做好低碳导向的系统性制度设计和安排。比如，开展自然资源碳汇底数调查、监测与评价，实施碳排放约束下的自然资源双控制度；开展自然资源开发的碳效应评价，探索自然资源碳价值核算和补偿制度；以国土空间碳核算为基础，探索面向低碳的国土空间规划模式与国土空间管制制度；实施生态系统碳汇价值提升方案和生态碳汇交易制度，提出面向碳中和的生态修复模式等。通过自然资源管理政策的双碳措施与制度安排，以低碳理念全面引领自然资源管理和国土空间治理（图1）。

（2）面向“双碳”目标的多层次自然资源管理体制创新。在“双碳”目标下，应进一步加强顶层设计，建立健全自然资源“要素—空间—系统”多层次协同管理的体制机制，进一步提升资源利用效率、国土空间的承载能力和资源系统的碳汇价值。通过资源要素管理，提升碳承载能力和资源利用效率；通过国土空间优化，控制开发强度和倒逼产业

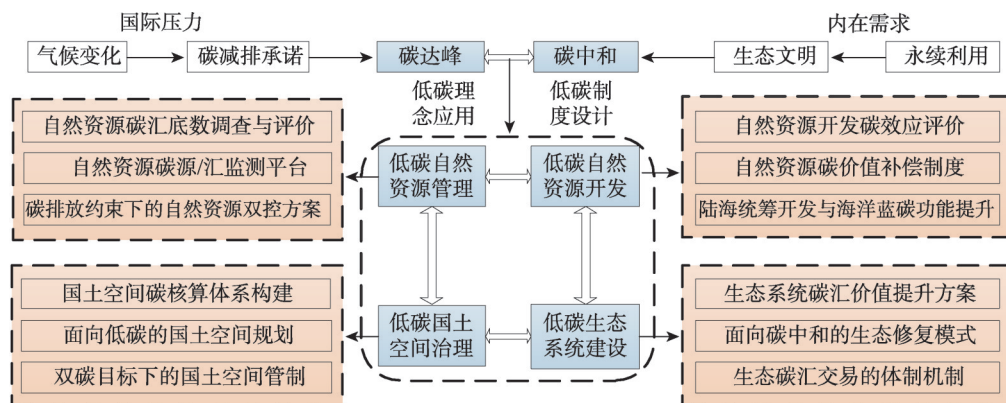


图1 “双碳”目标下自然资源管理领域的系统应对框架

Fig. 1 The systematic response framework of natural resource management under the target of carbon emission peak and carbon neutrality

转型;通过资源系统管理,提升生态系统功能,发挥国土空间的增汇/减排综合效益。

(3) 碳排放约束下的自然资源耦合管理与国土空间优化。面向碳中和目标,构建全域自然资源及国土空间碳循环监测网络和符合中国国情的碳核算标准体系,强化资源要素耦合管理、国土空间精细化管理和格局优化,探索差别化国土空间管控方案,创新低碳型生态修复模式,从“增汇”和“减排”两个方面推动构建中长期应对气候变化的自然资源管理体制和国土空间治理模式。

(4) “自然—经济—社会”系统资源管理与碳代谢效率提升。水、能、矿等关键资源的流动与碳代谢密切相关。未来应进一步关注“自然—经济—社会”复合系统的资源流通管理,通过追踪并量化资源能源流动路径,构建碳代谢及区域关联的网络框架,揭示区域之间隐含资源流动的碳排放效应,探寻基于资源优化利用的区域协同碳减排路径。

(5) 自然资源碳汇价值的实现机制。要充分重视资源要素和国土空间的碳汇价值,编制符合中国国情的生态碳汇核算规程,积极探索将碳汇价值纳入碳交易和生态补偿体系,鼓励有条件的地区和行业开展碳汇交易试点,并将碳汇交易接入碳排放权市场;立足不同区域主体功能定位,探索构建基于国土空间碳中和评价的区域横向碳补偿制度,推动区域之间的公平协调发展。

致谢:感谢研究生罗慧丽在论文文献整理和校对等方面的帮助。

参考文献(References):

- [1] VAN SOEST H L, DEN ELZEN M G J, VAN VUUREN D P. Net-zero emission targets for major emitting countries consistent with the Paris Agreement. *Nature Communications*, 2021, 12(1): 1-9.
- [2] NORMILE D. Can China, the world's biggest coal consumer, become carbon neutral by 2060?. *Science*, 2020, 29, Doi: 10.1126/science.abf0377.
- [3] ZHAO X, MA X W, CHEN B Y, et al. Challenges toward carbon neutrality in China: Strategies and countermeasures. *Resources, Conservation and Recycling*, 2022, 176: 105959, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105959>.
- [4] LIU Y Y, CHEN S, JIANG K J, et al. The gaps and pathways to carbon neutrality for different type cities in China. *Energy*, 2021, 122569, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122569>.
- [5] DE LA PEÑA L, GUO R, CAO X J, et al. Accelerating the energy transition to achieve carbon neutrality. *Resources, Conservation and Recycling*, 2022, 177: 105957, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105957>.
- [6] 沈镭, 钟帅, 胡舒寒. 新时代中国自然资源研究的机遇与挑战. *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. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(8): 1773-1788.]
- [7] 郝庆, 封志明, 赵丹丹, 等. 自然资源治理的若干新问题与研究新趋势. *经济地理*, 2019, 39(6): 1-6. [HAO Q, FENG Z M, ZHAO D D, et al. Some new problems and research trends in natural resource governance. *Economic Geography*, 2020, 35(8): 1773-1788.]
- [8] 严金明, 王晓莉, 夏方舟. 重塑自然资源管理新格局: 定位、价值导向与战略选择. *中国土地科学*, 2018, 32(4): 1-7. [YAN J M, WANG X L, XIA F Z. Remold new pattern of natural resource management: Target orientations, value guidelines and strategic choices. *China Land Science*, 2018, 32(4): 1-7.]
- [9] 岳文泽, 吴桐, 王田雨, 等. 面向国土空间规划的“双评价”: 挑战与应对. *自然资源学报*, 2020, 35(10): 2299-2310. [YUE W Z, WU T, WANG T Y, et al. "Double Evaluations" for territorial spatial planning: Challenges and responses. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(10): 2299-2310.]
- [10] 郝庆, 邓玲, 封志明. 面向国土空间规划的“双评价”: 抗解问题与有限理性. *自然资源学报*, 2021, 36(3): 541-551. [HAO Q, DENG L, FENG Z M. The "Double Evaluation" under the context of spatial planning: Wicked problems and restricted rationality. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(3): 541-551.]
- [11] 郝庆, 邓玲, 封志明. 国土空间规划中的承载力反思: 概念、理论与实践. *自然资源学报*, 2019, 34(10): 2073-2086. [HAO Q, DENG L, FENG Z M. Carrying capacity reconsidered in spatial planning: Concepts, methods and applica-

- tions. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(10): 2073-2086.]
- [12] 甄峰, 张姗姗, 秦萧, 等. 从信息化赋能到综合赋能: 智慧国土空间规划思路探索. *自然资源学报*, 2019, 34(10): 2060-2072. [ZHEN F, ZHANG S Q, QIN X, et al. From informational empowerment to comprehensive empowerment: Exploring the ideas of smart territorial spatial planning. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(10): 2060-2072.]
- [13] 陈明星, 梁龙武, 王振波, 等. 美丽中国与国土空间规划关系的地理学思考. *地理学报*, 2019, 74(12): 2467-2481. [CHEN M X, LIANG L W, WANG Z B, et al. Geographical thinking on the relationship between beautiful China and land spatial planning. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(12): 2467-2481.]
- [14] LAI L, HUANG X J, YANG H, et al. Carbon emissions from land-use change and management in China between 1990 and 2010. *Science Advances*, 2016, 2(11): e1601063, Doi: 10.1126/sciadv.1601063.
- [15] GATTI L V, BASSO L S, MILLER J B, et al. Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. *Nature*, 2021, 595(7867): 388-393.
- [16] ZHAO R Q, HUANG X J, ZHONG T Y, et al. Carbon footprint of different industrial spaces based on energy consumption in China. *Journal of Geographical Sciences*, 2011, 21(2): 285-300.
- [17] 孙赫, 梁红梅, 常学礼, 等. 中国土地利用碳排放及其空间关联. *经济地理*, 2015, 35(3): 154-162. [SUN H, LIANG H M, CHANG X L, et al. Land use patterns on carbon emission and spatial association in China. *Economic Geography*, 2015, 35(3): 154-162.]
- [18] 夏楚瑜. 基于土地利用视角的多尺度城市碳代谢及“减排”情景模拟研究. 杭州: 浙江大学, 2019. [XIA C Y. Multi-scale studies on urban carbon metabolism from the perspective of land use and scenario analysis of emission reduction. Hangzhou: Zhejiang University, 2019.]
- [19] 杜金霜, 付晶莹, 郝蒙蒙. 基于生态网络效用的昭通市“三生空间”碳代谢分析. *自然资源学报*, 2021, 36(5): 1208-1223. [DU J S, FU J Y, HAO M M. Analyzing the carbon metabolism of "Production-Living-Ecological" space based on ecological network utility in Zhaotong. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(5): 1208-1223.]
- [20] 张利国, 王占岐, 李冰清. 湖北省土地整治项目碳效应核算及其分析. *自然资源学报*, 2018, 33(11): 2006-2019. [ZHANG L G, WANG Z Q, LI B Q. Carbon effect accounting and analysis of land consolidation in Hubei province. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(11): 2006-2019.]
- [21] 方恺, 沈万斌, 董德明. 能源足迹核算的改进与预测: 以吉林省为例. *地理研究*, 2011, 30(10): 1835-1846. [FANG K, SHEN W B, DONG D M. Modification and prediction of energy ecological footprint counting: Case study of Jilin province. *Geographical Research*, 2011, 30(10): 1835-1846.]
- [22] 秦华鹏, 袁辉洲. 城市水系统与碳排放. 北京: 科学出版社, 2014. [QIN H P, YUAN H Z. Urban Water System and Carbon Emission. Beijing: Science Press, 2014.]
- [23] 刘江宜, 窦世权, 肖建忠, 等. 基于全生命周期的矿产资源开发环境影响评估: 以贵州松桃锰矿整装勘查区为例. *资源与产业*, 2019, 21(4): 36-43. [LIU J Y, DOU S Q, XIAO J Z, et al. Environmental impacts evaluation of mineral resources development during mining life cycle: A case study on Songtao manganese integrated exploration area in Guizhou. *Resources & Industries*, 2019, 21(4): 36-43.]
- [24] 谢高地, 李士美, 肖玉, 等. 碳汇价值的形成和评价. *自然资源学报*, 2011, 26(1): 1-10. [XIE G D, LI S M, XIAO Y, et al. Value of carbon sink: Concept and evaluation. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(1): 1-10.]
- [25] 赵荣钦, 刘英, 马林, 等. 基于碳收支核算的河南省县域空间横向碳补偿研究. *自然资源学报*, 2016, 31(10): 1675-1687. [ZHAO R Q, LIU Y, MA L, et al. County-level carbon compensation of Henan province based on carbon budget estimation. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(10): 1675-1687.]
- [26] CHAMAS Z, NAJM M A, AL-HINDI M, et al. Sustainable resource optimization under water-energy-food-carbon nexus. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 278: 123894, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123894>.
- [27] 赵荣钦. 提升管理效能促进“双碳”目标实现. *中国自然资源报*, 2021-07-14(3). [ZHAO R Q. Improve management efficiency and realize the goal of carbon peak and carbon neutrality. *China Natural Resources News*, 2021-07-14(3).]
- [28] FUHRMAN J, MCJEON H, PATEL P, et al. Food-energy-water implications of negative emissions technologies in a +1.5 °C future. *Nature Climate Change*, 2020, 10: 920-927.
- [29] XU Z C, CHEN X Z, LIU J G, et al. Impacts of irrigated agriculture on food-energy-water-CO₂ nexus across metacoupled systems. *Nature Communications*, 2020, 11(1): 1-12.
- [30] 赵荣钦, 李志萍, 韩宇平, 等. 区域“水—土—能—碳”耦合作用机制分析. *地理学报*, 2016, 71(9): 1613-1628. [ZHAO R Q, LI Z P, HAN Y P, et al. The coupling interaction mechanism of regional water-land-energy-carbon system. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(9): 1613-1628.]
- [31] ZHAO R Q, LIU Y, TIAN M M, et al. Impacts of water and land resources exploitation on agricultural carbon emis-

- sions: The water-land-energy-carbon nexus. *Land Use Policy*, 2018, 72: 480-492.
- [32] WANG H K, LU X, DENG Y, et al. China's CO₂ peak before 2030 implied from characteristics and growth of cities. *Nature Sustainability*, 2019, 2: 748-754.
- [33] 徐晓晔, 黄贤金. 基于碳排放峰值的长江经济带人口承载力研究. *现代城市研究*, 2016, 30(5): 33-38. [XU X Y, HUANG X J. The study on population carrying capacity of Yangtze River Economic Belt on carbon's peak values. *Modern Urban Research*, 2016, 30(5): 33-38.]
- [34] WANG S H, ZHANG Y G, JU W M, et al. Recent global decline of CO₂ fertilization effects on vegetation photosynthesis. *Science*, 2020, 370(6522): 1295-1300.
- [35] 谢高地, 肖玉. 农田生态系统服务及其价值的研究进展. *中国生态农业学报*, 2013, 21(6): 645-651. [XIE G D, XIAO Y. Review of agro-ecosystem services and their values. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2013, 21(6): 645-651.]
- [36] 袁凯华, 张苗, 甘臣林, 等. 基于碳减排目标的省域碳生态补偿研究. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(1): 21-29. [YUAN K H, ZHANG M, GAN C L, et al. Provincial eco-compensation of carbon based on the target of carbon emission reduction. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2019, 28(1): 21-29.]
- [37] 赵荣钦, 黄贤金, 徐慧, 等. 城市系统碳循环与碳管理研究进展. *自然资源学报*, 2009, 24(10): 1847-1859. [ZHAO R Q, HUANG X J, XU H, et al. Progress in the research of carbon cycle and management of urban system. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(10): 1847-1859.]
- [38] 董锁成, 陶澍, 李飞, 等. 气候变化对区域发展的影响. 秦大河 主编. *中国气候与环境演变: 2012 国家气候变化科学评估报告*. 北京: 气象出版社, 2012. [DONG S C, TAO S, LI F, et al. The impact of climate change on regional development. Edited by QIN D H. *Climate and Environmental Evolution in China: 2012 National Assessment Report of Climate Change*. Beijing: China Meteorological Press, 2012.]
- [39] QIN D H, TAO S, DONG S C, et al. Climate, environmental, and socioeconomic characteristics of China. Edited by QIN D H. *Climate and Environmental Change in China: 1951-2012*. Heidelberg: Springer Environmental Science and Engineering, 2016: 1-27.
- [40] LI F, FEITELSON E, LI Y. Is China at the tipping point? Reconsidering environment-economy nexus. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 276: 123-156.
- [41] 李飞, 董锁成, 李宇, 等. 中国东部沿海地区农业污染风险地域分异研究. *资源科学*, 2014, 36(4): 801-808. [LI F, DONG S C, LI Y, et al. Geographical differentiation of agriculture-related pollution risk in Eastern Coastal China. *Resources Science*, 2014, 36(4): 801-808.]
- [42] IPCC. 2021: Summary for policymakers. Edited by VALÉRIE M D. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Cambridge UK: Cambridge University Press.

Key issues in natural resource management under carbon emission peak and carbon neutrality targets

ZHAO Rong-qin¹, HUANG Xian-jin², YUN Wen-ju³, WU Ke-ning⁴,
CHEN Yin-rong⁵, WANG Shao-jian⁶, LU He-li⁷, FANG Kai⁸, LI Yu⁹

(1. College of Surveying and Geo-Informatics, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450046, China; 2. School of Geography and Ocean Science, Nanjing University, Nanjing 210023, China; 3. Land Consolidation Center, Ministry of Natural Resources, Beijing 100035, China; 4. School of Land Science and Technology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 5. School of Public Administration, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 6. School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 7. College of Geography and Environmental Science, Henan University, Kaifeng 475001, Henan, China; 8. School of Public Affairs, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 9. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: The targets of carbon emission peak and carbon neutrality will certainly promote the

systematic revolution of China's economy and society. Natural resources are crucial materials and space carrier for human activities. Low- carbon- based innovation of natural resource management system and territorial space governance pattern is of great significance for enhancing ecosystem carbon sinks and resources supporting capacity, improving resource utilization efficiency, and promoting long- term low- carbon transition of the whole society. Focusing on natural resource management under the target of carbon emission peak and carbon neutrality, nine scholars put forward key strategies for the innovation of natural resource management, which mainly include resource coupling management, territorial space optimization and land control, fine farmland management, land use carbon metabolism regulation, ecological carbon sink system and sustainable forests management. This provides a vital guidance for the establishment of low-carbon natural resource management system based on multi-level perspectives of "resource elements-territorial space-ecosystem", which helps to comprehensively improve carbon sink/emission reduction function within the field of natural resources. Generally, the researchers suggested that the systematic response framework of natural resource management under the targets of carbon emission peak and carbon neutrality should be established. The future top-level design should be strengthened to establish a multi-level collaborative management system of natural resources based on element-space-system. Carbon cycle monitoring network and carbon accounting standards system related to natural resources and territorial space with Chinese characteristics should be regulated. Resources coupling management, elaborative spatial management and land structure optimization should be strengthened to explore different territorial space control schemes. The management of resource circulation within nature- economy- society system should be improved to establish a net-framework for carbon metabolism and its regional nexus and realize regional coordinated carbon emission reduction based on resource optimization management. The carbon sink function of natural resources and territorial space should be stressed, which should be incorporated into the carbon trading and ecological compensation system. The regional horizontal carbon compensation system should be established based on carbon neutrality evaluation of territorial space to promote the coordinated emission reduction and development among different regions.

Keywords: carbon emission peak; carbon neutrality; natural resource management; territorial space