

地球大数据支撑 可持续发展目标报告



中国科学院
2020年9月

地球大数据支撑 可持续发展目标报告



目录



04 序

06 前言

07 执行摘要

09 地球大数据支撑可持续发展目标案例汇总表

12 绪论

12 SDGs 落实面临的挑战

12 地球大数据

13 地球大数据支撑 SDGs 落实

14



SDG 2 零饥饿

16 背景介绍

17 主要贡献

18 案例分析

2.2 中国 5 岁以下儿童生长迟缓变化 \ 18

2.4 中国耕地可持续集约化利用潜力评估 \ 21

2.4 中国粮食生产可持续性提升潜力评估 \ 24

27 本章小结

28



SDG 6 清洁饮水和卫生设施

30 背景介绍

31 主要贡献

32 案例分析

6.3 中国湖泊水体透明度时空分布格局 \ 32

6.4 中国西北干旱区疏勒河流域用水紧张程度评估 \ 35

6.6 中国沼泽湿地时空分布 \ 38

6.6 国际重要湿地水体动态变化 \ 42

44 本章小结

46



SDG 11 可持续城市和社区

48 背景介绍

49 主要贡献

50 案例分析

11.1 中国城市主城区棚户区人口占比估算 \ 50

11.2 中国可便利使用公共交通的人口比例 \ 53

11.3 中国城镇化进程监测与评估 \ 56

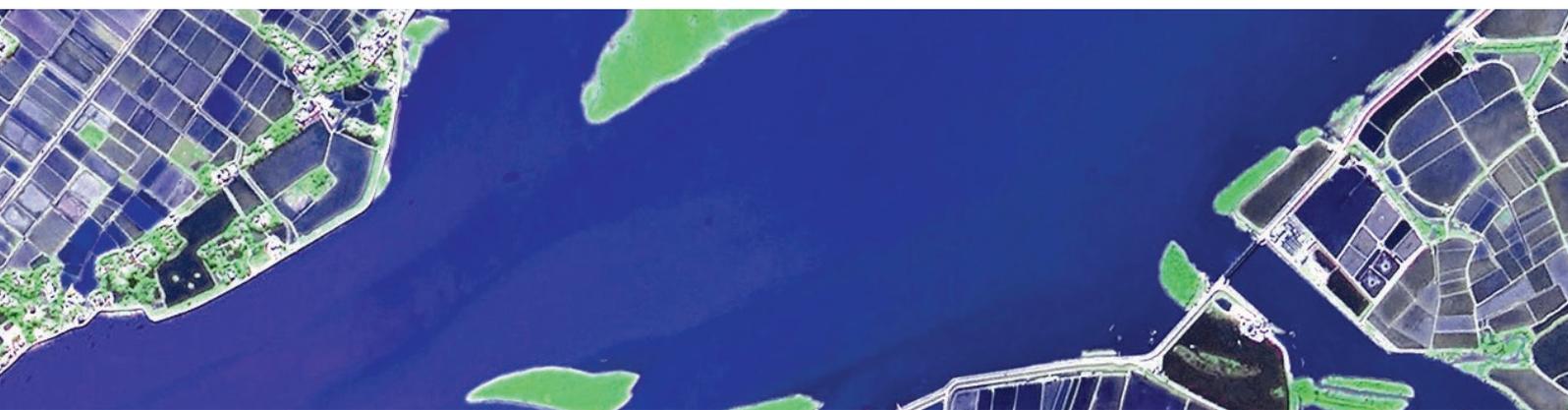
11.5 中国减少灾害损失及促进脆弱区可持续发展状况监测 \ 59

11.5 深圳市风暴潮灾害淹没影响评估 \ 62

11.7 中国城市开放公共空间面积比例 \ 65

11.2 11.3 11.5 11.6 11.7 中国省域尺度 SDG11 多指标综合评价 \ 67

69 本章小结



70



SDG 13 气候行动

72 背景介绍

73 主要贡献

74 案例分析

13.1 中国极端高温热浪灾害的强度和频率
\\74

13.2 气候变化对中国主要作物物候影响预测
\\77

79 本章小结

80



SDG 14 水下生物

82 背景介绍

83 主要贡献

84 案例分析

14.1 中国近海海洋垃圾与微塑料分布变化
分析 \\84

14.2 中国近海典型海湾生态系统健康评估
\\87

14.2 中国近海筏式养殖变化监测 \\90

93 本章小结

94



SDG 15 陆地生物

96 背景介绍

97 主要贡献

98 案例分析

15.1 全球 / 区域森林覆盖现状 (2019 年) \\98

15.1 中国长江流域森林类型时空分布 \\102

15.1 中国生物多样性保护和可持续利用分区 \\104

15.3 中国土地退化零增长跟踪评估及其全球贡献
\\107

15.3 黄土高原大规模绿化与水土保持及黄河泥
沙关系 \\111

15.3 中国北方半干旱区及周边沙漠化时空动态
及治理成效评估 \\113

15.5 中国植物多样性致危因素与保护对策 \\116

118 本章小结

120 总结与展望

122 缩略词

124 主要参考文献

127 报告编写组

序

2015年9月，联合国193个成员国通过了《变革我们的世界：2030年可持续发展议程》，提出可持续发展目标（SDGs），旨在以人类发展史上迄今最为全面和综合的方式解决人类社会面临的社会、经济和环境三个维度的发展问题，全面走向可持续发展道路。

中国致力于落实2030年可持续发展议程，全面推进国内落实，取得积极进展，在多个可持续发展目标上实现“早期收获”，并将于今年实现消除绝对贫困的可持续发展目标。同时，中国积极参与落实2030年议程国际合作，与各国加强知识共享和经验分享，为其他发展中国家落实议程提供力所能及帮助。

科学技术在推动实现SDGs上的重要作用已成为国际共识。《2019年全球可持续发展报告》进一步强调了科学技术是推动可持续性转型和全球发展变革的重要力量。作为全球科技界的一员，中国科学院对此充分认同并组织研究力量积极行动，加强科学-政策-社会的衔接互动，提供解决方案和科学支撑，助力中国政府推动2030年议程国内落实和国际合作，与国际社会共同面对可持续发展这个人类共同的宏大使命所面临的新需求和新挑战。

SDGs本身是一个复杂、多样、动态和相互关联的庞大体系。对各目标的有效度量和监测是保障SDGs落实的基础环节，但如何度量这些目标仍然面临很多困难。2017年，联合国通过可持续发展目标全球指标框架，作为会员国自愿采用的非约束性评估

指标，指标框架本身有待完善。2020年距全面实现SDGs仅剩十年，形势并不乐观。而COVID-19全球大流行，更为落实2030年议程带来了前所未有的挑战。

自2018年开始，中国科学院“地球大数据科学工程”（CASEarth）科研团队围绕零饥饿、清洁饮水和卫生设施、可持续城市和社区、气候行动、水下生物、陆地生物等6个目标开展了一系列研究工作，特别针对在数据和方法中存在不足的指标进行深入研究。CASEarth每年发布的《地球大数据支撑可持续发展目标报告》已成为中国科学院科技支撑SDGs的代表性工作。

《地球大数据支撑可持续发展目标报告（2020）》围绕上述6个目标，开展了数据集成、指标建设和可持续发展状态评估，总结形成了26个典型研究案例。这些案例从背景和现状、所用数据、研究方法、结果分析、展望5个方面，分别在数据产品、方法模型和决策支持上对相关SDGs及其指标进行了深入分析总结，揭示了地球大数据技术和方法对监测评估SDGs的应用价值和前景。

联合国秘书长安东尼奥·古特雷斯在《2019年可持续发展目标报告》中指出，需要更深入、更快速和更雄心勃勃的响应，以推动实现可持续发展目标所需的社会和经济转型。特别强调更好地利用数据，在利用科学技术和创新时更加注重数字转型。同时强调，采取全球行动时，要体现对SDGs实现更加智能化的



解决方案。由此可见，在实现 SDGs 的过程中科学技术特别是数据将扮演更加重要的角色。

SDGs 技术促进机制和中国提出的创新驱动理念高度契合，都是用科技促进发展。中国和众多发展中国家，尤其是数据获取和处理、发展指标监测和评估技术能力相对薄弱的国家，在落实 2030 年议程方面面临较大挑战和能力建设的紧迫需求。地球大数据可为此作出特有的贡献。

2020 年时值联合国成立 75 周年，联合国开启可持续发展行动十年。中国将继续与各国一道，积极推动落实 2030 年议程，为如期实现可持续发展目标作出贡献。中国科学家谨以此报告为 2030 年议程贡献中国力量，并将继续积极参与全球科学合作和知识共享，推动 SDGs 落实。值此报告出版之际，谨向郭华东院士领导的 CASEarth 团队以科技创新积极服务 SDGs 落实所付出的努力表示敬意和谢忱。

白嘉禮

中国科学院院长
地球大数据科学工程专项领导小组组长

前言



联合国《变革我们的世界：2030年可持续发展议程》已通过近5年。指标数据的不足仍是当前科学评估全球落实进展的重要瓶颈。2020年初突发的新冠肺炎疫情在全球蔓延对人类社会经济发展的影响，更加剧了各国实现SDGs面临的挑战。

为支撑SDGs实现，联合国提出了SDGs技术促进机制，其内涵包括可持续发展目标技术促进机制跨机构任务组和10人组、技术促进可持续发展目标多利益攸关方协作论坛以及网上平台三部分，旨在通过科技创新推动2030年议程的全球落实。当前，对SDGs监测进行数据和方法上的突破，已成为最紧迫、最重要的任务之一。

作为科技创新的重要方面，地球大数据在支撑可持续发展目标实现中具有重要作用。地球大数据具备宏观、动态、客观监测能力，可对包括陆地、海洋、大气及与人类活动相关的数据进行整合和分析，可以把大范围区域作为整体进行认知，为可持续发展目标特别是地球表层与环境、资源密切相关的诸多目标，提供大尺度、周期变化的丰富信息，供决策支持。

地球大数据服务SDGs的主要目标是实现地球大数据向SDGs相关应用信息的转化，构建和集成地球大数据支持SDGs的指标体系，研究各目标间的关联和耦合，进而为SDGs落实提供决策支持。本年度，我们根据地球大数据的优势和SDGs指标体系的特点，遴选出6个SDGs进行分析。

地球大数据主要通过3种方式贡献6个SDGs：一是数据产品，利用地球大数据为6个SDGs提供评估数

据的新来源；二是方法模型，基于地球大数据技术和模型，创立SDGs评估新方法；三是决策支持，围绕SDGs开展实践案例研究和分析，监测SDGs指标实践进展。

2020年度报告针对18个具体目标汇集了26个典型案例，展示了国家、典型地区、区域和全球四个尺度在数据、方法模型和决策支持方面对相关SDGs及其指标进行的研究和监测评估成果，包括24套数据产品、13种方法模型和19个决策支持。这些分析成果，包括中国土地退化零增长进展评估和生物多样性保护对策、中国城镇可持续发展综合评价、中国沼泽湿地空间分布格局、中国近海生态系统健康评估、全球高分辨率森林等，表明地球大数据及其相关技术和方法，可以为深入认识和更为精准地判定这些SDGs相关重大问题提供新的分析工具，在推动科技服务全球可持续发展方面具有重要意义和实践价值。

本报告得到中科院、外交部、科技部领导和相关部门的悉心指导，报告形成过程中得到来自发展改革委、自然资源部、生态环境部、住房城乡建设部、交通运输部、水利部、农业农村部、卫生健康委、应急管理部、统计局、林草局相关领导和专家提出的宝贵意见和建议，团队科研人员付出了辛勤的劳动。值此报告发布之际，一并表示衷心感谢。

中国科学院院士
地球大数据科学工程专项负责人
联合国可持续发展目标技术促进机制10人组成员

执行摘要

2020年是联合国2030年可持续发展议程通过的第5年。当前可持续发展目标落实进展数据缺失、统计方法不完善、指标众多且相互关联制约以及本地化问题多样等问题对于落实目标进展造成一定制约。作为科学技术创新的重要方面，地球大数据已经成为我们认知地球的新钥匙和知识发现的新引擎。《地球大数据支撑可持续发展目标报告（2019）》已经证明地球大数据可以为可持续发展作出特有贡献。本报告利用地球大数据的优势和特点，对SDG 2（零饥饿）、SDG 6（清洁饮水和卫生设施）、SDG 11（可持续城市和社区）、SDG 13（气候行动）、SDG 14（水下生物）和SDG 15（陆地生物）六个SDGs展开监测评估，展现了在数据产品、方法模型和决策支持方面所作的重要贡献。



在SDG 2零饥饿方面，围绕食物需求和粮食生产两个方向，聚焦5岁以下儿童生长迟缓率（SDG 2.2.1）和生产性与可持续性农业比例（SDG 2.4.1）两个指标，创新多源地球大数据融合技术，开展科学数据生产和指标评估。重点发展了作物产量潜力估算模型；形成了2017年中国5岁以下儿童生长迟缓率已达SDG 2.2对应目标、稻谷和小麦在面积最大主产区实现单产潜力可使全国产量满足2030年预测的消费需求等关键结论；提出了进一步降低儿童生长迟缓率应当关注的重点区域、提升粮食潜在可收获面积的水土资源配置方案以及实现化肥减量化来提升粮食生产可持续性的关键区域等决策支持建议；展现了地球大数据技术在SDG 2指标监测与评估中的潜力，为推动零饥饿目标实现提供科技支撑。



在SDG 6清洁饮水和卫生设施方面，聚焦水资源、水环境和水生态三个方向，围绕湖泊水体透明度（SDG 6.3.2）、用水紧张程度（Level of Water Stress, LWS）（SDG 6.4.2）和涉水生态（SDG 6.6.1）三个指标，面向区域-中国-典型地区三个尺度，发展了基于地球

大数据的SDGs监测评估方法，并开展了示范应用。生产了亚非欧大陆86个国际重要湿地水体（2000~2018年）、中国湖泊水体透明度（2000~2019年）、中国红树林和互花米草（2015年和2018年）等空间数据集；重点发展了大型湖泊水体透明度监测评估方法和耦合冰川模块的用水紧张程度监测评估模型；得出了中国湖泊水体清澈程度改善、中国红树林恢复成效显著、中国互花米草入侵得到有效控制和中国疏勒河流域用水紧张程度加剧等关键结论。以上这些重要成果，为中国及全球的水环境监测与治理、水资源优化配置和湿地保护行动提供了有效决策支持。



在SDG 11可持续城市和社区方面，聚焦非正规住区（SDG 11.1.1）、公共交通（SDG 11.2.1）、城镇化（SDG 11.3.1）、灾害评估（SDG 11.5.1/11.5.2）、公共空间（SDG 11.7.1）共六个指标开展了基于地球大数据技术支撑的SDG 11指标监测与评估，并在中国省域尺度开展SDG 11多指标综合评估。形成了分性别、年龄段的2015和2018年精细人口公里格网数据、1990~2018年30 m分辨率中国433个城市不透水面数据集以及覆盖城市公共交通、城市化、城市灾害、城市环境和城市公共开放空间等中国城市综合评价数据集。发展了基于深度学习网络模型的城市棚户区和灾害目标等识别方法，提出经济增长率（EGR）与土地使用率（LCR）之间的比率（Ratio of Economic Growth Rate to Land Consumption Rate, EGRLCR）新指标，扩展了SDG 11指标体系。得出了2015年以来中国城市公共空间面积比例持续增加，公共交通人口占比提高16.28%，城镇化的协调发展仍面临挑战，中国减灾防灾能力加强、自然灾害损失整体显著下降等关键结论。通过省域尺度SDG 11多指标综合评估，为中国城市包容、城市安全、城市土地利用、城市环境等方面监测与评估提供数据支撑和决策支持，为全球城市可持续发展提供中国方案。



在 SDG 13 气候行动方面，聚焦减少气候相关灾害损失（SDG 13.1）和气候变化应对（SDG 13.2）两个具体目标，利用地球大数据开展了 SDG 13 指标监测和进展评估。针对气候相关灾害，生产了中国极端高温热浪频率和强度数据集，发现中国极端高温热浪从 20 世纪 90 年代末以来呈明显上升趋势。针对气候变化应对，预测了气候变化对中国作物物候的影响，小麦和玉米开花期和成熟期大概率提前，为气候变化情景下的粮食安全提供决策支持。



在 SDG 14 水下生物方面，聚焦地球大数据技术支撑的预防和大幅减少各类海洋污染（SDG 14.1）、可持续管理和保护海洋及沿海生态系统（SDG 14.2）两个具体目标，通过三个案例在中国和典型地区两个空间尺度，通过时空数据融合和模型模拟等方法，完成了对中国近海海洋垃圾与微塑料分布变化、典型海湾生态系统健康以及筏式养殖范围变化等方面动态监测和综合评估研究工作。研究结果显示，2015 年以来中国近海漂浮垃圾丰度呈现减少趋势，2016~2019 年间微塑料污染状况呈现改善趋势；2015 年以来胶州湾、四十里湾和大

亚湾的生态系统健康状态整体表现平稳、良好；江苏、福建省 2017 至 2020 年筏式养殖面积呈现增长趋势，近海生态保护红线内面积基本稳定。



在 SDG 15 陆地生物方面，聚焦森林、土地退化、生物多样性三个方向，围绕森林比例（SDG 15.1.1）、生物多样性保护（SDG 15.1.2）、退化土地比例（SDG 15.3.1）、及红色名录（SDG 15.5.1）四个指标，面向全球 - 中国 - 典型地区三个尺度，发展了地球大数据支撑的指标评价模型和方法，并开展了示范应用。形成了全球尺度 30 m 森林覆盖（2019）、中国保护动植物受威胁状态、范围及压力累积空间数据集；发展了综合时空谱多维特征的森林类型提取与濒危物种空间丰富度模拟方法体系；提出了中国土地退化零增长（Land Degradation Neutrality, LDN）趋势 2015~2018 年间持续向好（贡献全球近 1/5），2000 年后黄土高原水土流失与北方沙地沙漠化形势明显好转等关键结论，实现了全球生物多样性保护和可持续利用三个分区方案在中国的落地，并结合“全国重要生态系统保护和修复重大工程”，提出生态系统保护和修复的对策建议，为 SDG 15 指标动态监测和评价提供了有力的支撑。

地球大数据支撑可持续发展目标案例汇总表

对应具体目标	案例名称	数据产品	方法模型	决策支持
2.2	中国5岁以下儿童生长迟缓变化	中国5岁以下儿童生长迟缓率变化数据集		揭示区域发展趋势差异，提出重点关注区域
2.4	中国耕地可持续集约化利用潜力评估 中国粮食生产可持续性提升潜力评估	中国耕地复种指数及潜力空间分布数据集 中国三大主粮作物产量提升潜力及化肥减量空间数据集	作物产量潜力遥感估算模型 创建了一种基于双波段反射率的湖泊水体透明度监测评估算法 创建了一种耦合冰川模块的用水紧张程度算法	提出中国耕地可持续集约化利用实现路径 提出产量增加及化肥减量潜力格局，为提升中国粮食生产可持续性提供决策支持 可为中国及全球水环境监测与治理提供决策支持 为全球含冰川径流干旱区流域水资源合理分配提供参考依据
6.3	中国湖泊水体透明度时空分布格局	生产了中国湖泊水体透明度时间序列数据集（2000~2019年）		
6.4	中国西北干旱区疏勒河流域用水紧张程度评估			
6.6	中国沼泽湿地时空分布 国际重要湿地水体动态变化	提供中国沼泽湿地数据集（2015年）和红树林、互花米草数据集（2015年和2018年） 生产了亚欧非86个国际重要湿地水体分布数据集（2000~2018年）	集成面向对象与多层决策技术的中国沼泽湿地、红树林和互花米草提取算法	为中国履行《关于特别是作为水禽栖息地的国际重要湿地公约》（简称《湿地公约》）提供决策依据 为全球国际重要湿地的保护管理提供了决策支持
11.1	中国城市主城区棚户区人口占比估算	中国27个城市2019年棚户区矢量边界及人口占比数据	提出一种基于深度学习语义分割模型的棚户区提取方法	

对应具体目标	案例名称	数据产品	方法模型	决策支持
11.2	中国可便利使用公共交通的人口比例	按年龄、性别分列的 2015、2018 年 1 km 分辨率中国可便利使用公共交通人口分布数据集		
11.3	中国城镇化进程监测与评估	1990~2018 年共 7 期中国 433 个城市建成区数据集	提出“经济增长率与土地使用率之间的比率”新评价指标	
11.5	中国减少灾害损失及促进脆弱区可持续发展状况监测	2013~2019 年中国灾害损失评价指标数据；2009~2019 年玉树地震恢复重建及可持续发展状况监测产品		展现中国大幅减少各种灾害造成的死亡 / 受灾人数和直接经济损失，有效推动灾害脆弱区可持续发展
	深圳市风暴潮灾害淹没影响评估	2016 年风暴潮“妮妲”和 2018 年风暴潮“山竹”的深圳市 4 km 积水深度数据集		针对风暴潮灾害，进行数字孪生，对不同强度的风暴潮进行模拟并评估造成的人口和经济影响
11.7	中国城市开放公共空间面积比例	2015 和 2018 年两期全国城市开放公共空间面积比例数据集		
11.2 11.3 11.5 11.6 11.7	中国省域尺度 SDG11 多指标综合评价	中国 340 个地级市多指标综合评价数据集		为中国主要城市可持续性评估提供支持，为中国区域其他 SDGs 目标的综合评价提供参考
13.1	中国极端高温热浪灾害的强度和频率	均一化序列气温数据集	多种非平稳模型、参数化和非参数化方法混合	
13.2	气候变化对中国主要作物物候影响预测	未来气候变化情景下近期中国主要作物物候集合概率预测数据集		为中国粮食生产应对气候变化提供决策依据
14.1	中国近海海洋垃圾与微塑料分布变化分析	中国近海海洋垃圾与微塑料分布数据集		揭示中国近海海洋垃圾与微塑料的污染现状、区域分布及变化特征，服务典型区海洋垃圾与微塑料污染防治

对应具体目标	案例名称	数据产品	方法模型	决策支持
14.2	中国近海典型海湾生态系统健康评估	胶州湾、大亚湾、四十里湾典型海湾生态环境要素数据集	基于海域生态系统结构、服务功能的健康评估方法	揭示中国近海典型海湾环境因子对生态系统关键要素变化贡献，为保护沿海生态系统提供科学依据
	中国近海筏式养殖变化监测	中国沿海重点省份筏式养殖监测数据集	基于深度学习的海洋筏式养殖智能提取方法	
15.1	全球/区域森林覆盖现状 (2019年)	全球2019年森林覆盖数据产品 (30m分辨率)	全球尺度机器学习森林分类方法	为全球及重点区域森林状况评估提供依据
	中国长江流域森林类型时空分布	2018年长江流域森林类型分布数据集 (10m分辨率)	提出基于多规则时间序列遥感影像合成方法与一种综合时空谱多维特征的森林类型提取框架	
	中国生物多样性保护和可持续利用分区	中国生物多样性保护和可持续利用三个分区数据集		将全球三个分区的方案在中国落地，并结合“全国重要生态系统保护和修复重大工程”，提供生态系统保护和修复的对策建议
15.3	中国土地退化零增长跟踪评估及其全球贡献	全球土地退化/恢复数据集		基于IAEG指标体系，全球共享数据，实现了中国土地退化零增长跟踪评估，并客观分析了中国在全球贡献
	黄土高原大规模绿化与水土保持及黄河泥沙关系		构建了植被覆盖水土保持功效定量评估模型	明确了黄土高原水土保持功效空间差异，为水土流失防治提供决策支持
15.5	中国北方半干旱区及周边沙漠化时空动态及治理成效评估	1975~2015年长时间序列北方半干旱区及周边沙漠化动态数据产品		开展了近40年中国北方半干旱区及周边沙漠化发展过程与驱动力评估，为沙漠化防治提供支撑
	中国生物多样性致危因素与保护对策	中国生物多样性风险分布与保护空缺分布	发展和完善物种多样性遭受的威胁压力确定方法	明晰中国植物多样性的保护空缺，建议通过主动保护策略与恢复管理策略相结合的方式，保护物种赖以生存的栖息地

绪论

2015年，联合国发展峰会通过2030年可持续发展议程，提出17项可持续发展目标（Sustainable Development Goals, SDGs），涵盖经济、社会、环境三大领域，为各国发展和国际发展合作指明方向。议程通过几近5年，SDGs监测与评估是落实2030年议程的重要方面。针对监测中面临的数据缺失、能力不均衡、目标间关联且相互制约等问题，科技创新的重要作用日益凸显。中国科学院“地球大数据科学工程（CAS Big

Earth Data Science Engineering Program, CASEarth）”发挥地球大数据多尺度、近实时和系统集成的优势，聚焦零饥饿（SDG 2）、清洁饮水和卫生设施（SDG 6）、可持续城市和社区（SDG 11）、气候行动（SDG 13）、水下生物（SDG 14）和陆地生物（SDG 15）6个目标，以年为节点定期发布科学实证的监测结果，为SDGs实现作出实质性贡献。

SDGs落实面临的挑战

2017年，联合国通过可持续发展目标全球指标框架，这是一套评估监测可持续发展目标进展的会员国主导、自愿采用的初步体系，将定期更新调整。

（1）数据缺失。SDGs通过5年来，原本处于无方法无数据状态的指标均得到了改善，但仍有46%的指标处于有方法无数据状态；有方法有数据指标的量测以统计方法为主，缺乏有效空间分布信息。不同尺度、客观精准的空间数据可为SDGs实现提供必要的支撑。面向全球环境变化导致的极端高温热浪、火灾频次增加、海洋酸化、富营养化加剧、持续的土地退化、生物多样性减少、农业生产生态环境影响增加等问题，采集科学数据，定时定量评估自然环境变化，精确定位灾害的空间分布，准确预测其未来趋势，将为有效应对上述问题、促进SDGs实现提供重要参考。

（2）能力不均衡。受经济发展水平和资源环境压力制约，发展中国家面临着儿童生长迟缓比率高、城市

住房和公共空间不足、抵御灾害能力差、难以获得安全卫生的淡水资源、森林利用过度等问题，其定期、有效收集与分析数据的能力也普遍较弱。数据的缺乏使上述问题“隐形”，一定程度上加剧了这类地区的弱势。发挥大数据优势，及时、准确、全面地采集全球、区域等各个空间尺度的客观数据，改进数据兼容性和可比性，在数据上确保“不落下任何人”，是实现SDGs的一项基本诉求。

（3）目标间关联且相互制约。SDGs指标体系涉及面广，时间跨度长，指标间相互依存、相互关联，其涉及的内容体现了整体性与多样性的统一、层次性与有机性的结合、复杂性与可行性的整合。厘清SDGs指标体系间的内在关联，采集标准统一、量化的科学数据，提出客观、有效的指标监测和评估方法模型，成为亟待突破的重要方向。

地球大数据

为解决上述SDGs落实过程中存在的问题与挑战，联合国启动了技术促进机制（Technology Facilitation Mechanism, TFM）以凝聚科技界、企业界和利益攸关方的集体智慧，从科学、技术和创新（Science, Technology and Innovation, STI）出发推进落实SDGs。

地球大数据是具有空间属性的地球科学领域大数据，尤其指基于空间技术生成的海量对地观测数据（Guo *et al.*, 2016）。地球大数据主要产生于具有空间属性的大型科学实验装置、探测设备、传感器、社会经济观测以及计算机模拟过程，它一方面具有海量、多源、异构、

多时相、多尺度、非平稳等大数据的一般性质，同时具有很强的时空关联和物理关联，具有数据生成方法和来源的可控性。地球大数据科学是自然科学、社会科学以及工程学交叉融合的产物，基于地球大数据分析来系统研究地球系统的关联和耦合，即综合应用大数据、人工智能和云计算，将地球当作一个整体进行观测和研究，理解地球自然系统与人类社会系统间复杂的交互作用和发展演进过程，可为实现 SDGs 作出重要贡献。

地球大数据支撑SDGs落实

地球大数据支撑落实 SDGs 的方式包括实现地球大数据向 SDGs 相关应用信息的转化、为 SDGs 落实提供决策支持、构建地球大数据支持 SDGs 指标体系和集成，以及从地球系统的角度研究各目标间的关联和耦合。通过地球大数据共享服务平台、地球大数据云服务基础设施，从数据、在线计算、可视化演示方面为 SDGs 指标监测与评估提供支撑。目前，CASEarth 共享数据总量约 8 PB，并每年以 3 PB 的数据量持续更新。云平台可提供 1 PF 的高性能计算能力和大数据处理能力。地球大数据系统实现了从数据到信息可视化再到系统数值模拟的全流程功能，可支撑 SDGs 动态监测和宏观决策。

地球大数据围绕 SDGs 的研究内容包括以下四个方面：

中国科学院2018年启动了“地球大数据科学工程（CASEarth）”，旨在促进和加速从单纯的地球数据系统和数据共享，到数字地球数据集成系统的转变，促进全球范围内的数据、知识和经验共享，为科学发现、决策支持、技术创新和知识传播提供支撑（Guo *et al.*, 2020a）。地球大数据科学为研究和实现全球跨领域、跨学科协作提供了一种解决方案，是技术促进机制支撑 SDGs 落实的一项创新性实践。

（1）构建支撑落实 SDGs 的地球大数据基础设施，提供面向 SDGs 评估的数据产品，填补 SDGs 数据空白，实现 SDGs 相关数据共享；

（2）利用地球大数据建立落实 SDGs 的方法和技术体系，为落实 2030 年议程提供数据支持；

（3）提供支撑 SDGs 的地球科学卫星运行，支撑相关 SDGs 指标的监测研究；

（4）发布《地球大数据支撑可持续发展目标》年度报告，展示地球大数据支持 2030 年议程落实的新进展。

《地球大数据支撑可持续发展目标报告（2020）》针对 6 个可持续发展目标 26 个典型案例开展监测研究，旨在探讨运用地球大数据高效精准监测 SDGs 落实进展的方法和路径，为相关决策提供科学、客观和适时的数据支撑。



SDF2



SDG 2 零饥饿

背景介绍	16
主要贡献	17
案例分析	18
本章小结	27

2 零饥饿



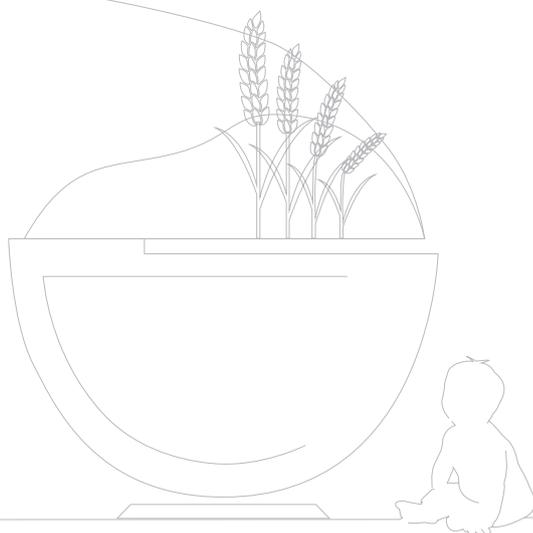
背景介绍

SDG 2 零饥饿目标旨在消除饥饿，实现粮食安全，改善营养状况和促进可持续农业，是保障全球可持续发展的基础及重要议题。当前，全球粮食产量较 20 世纪中叶翻了两倍以上（FAO, 2020），营养不足人口比例由 1969 年的 36% 下降到 2018 年的 11%（United Nations, 2019）。然而，近年来饥饿人口数量连续小幅攀升（FAO, 2019），同时，粮食生产给全球生态环境带来了巨大负面影响（West *et al.*, 2014），全球粮食系统面临变革。

中国长期将耕地保护作为基本国策，并积极创新农业技术，粮食产量三十年翻番，谷物自给率始终保持在

95% 以上，实现基本自给（FAO, 2020）。与此同时，中国食品系统也面临需求剧增、粮食生产生态环境效率有待提升等问题（Zuo *et al.*, 2018）。

报告依托具有宏观及动态监测能力的地球大数据，聚焦反映粮食安全供需两端的指标——5 岁以下儿童生长迟缓率、生产性与可持续农业比例，创新指标评估方法，生成评估所需数据产品，开展指标进展监测，以期展现地球大数据技术在 SDG 2 指标评估中的潜力，反映中国在零饥饿目标实现方面的进展，为推动零饥饿目标实现提供科技支撑。



2 零饥饿



主要贡献

围绕反映营养需求满足和粮食生产保障的两个指标，报告提出了作物产量潜力遥感评估方法模型，生产了开展指标评估的三套数据产品，形成了促进粮食供需平衡

的三方面决策建议（表 2-1），为地球大数据支持全球 SDG 2 实现提供了技术示范。

表 2-1 案例名称及其主要贡献

指 标	指标层级	案 例	贡 献
2.2.1 5 岁以下儿童发育迟缓发病率（年龄标准身高小于世卫组织儿童生长发育标准中位数 -2 的标准差）	Tier I	中国 5 岁以下儿童生长迟缓变化	数据产品：中国 5 岁以下儿童生长迟缓率变化数据集 决策支持：揭示区域发展趋势差异，提出重点关注区域
2.4.1 从事生产性和可持续农业的农业地区比例	Tier II	中国耕地可持续集约化利用潜力评估	数据产品：中国耕地复种指数及潜力空间分布数据集 决策支持：提出中国耕地可持续集约化利用实现路径
		中国粮食生产可持续性提升潜力评估	数据产品：中国三大主粮作物产量提升潜力及化肥减量空间数据集 方法模型：作物产量潜力遥感估算模型 决策支持：提出产量增加及化肥减量潜力格局，为提升中国粮食生产可持续性提供决策支持



案例分析

中国5岁以下儿童生长迟缓变化

对应目标：2.2 到 2030 年，消除一切形式的营养不良，包括到 2025 年实现 5 岁以下儿童发育迟缓和消瘦问题相关国际目标，解决青春期少女、孕妇、哺乳期妇女和老年人的营养需求。

成果亮点

- 2002~2017 年，中国 5 岁以下儿童生长迟缓率从 18.8% 下降至 4.8%，达到 SDG 2.2 对应目标（5.9%）。
- 监测期间，中国城市、农村 5 岁以下儿童生长迟缓率分别从 7.8% 和 25.6% 下降至 3.4% 和 5.8%。农村地区下降明显，城乡差距逐年缩小。

案例背景

儿童生长迟缓是衡量儿童长期营养不足的重要指标之一，全球约 45% 的儿童死亡可归因于营养不足（Black *et al.*, 2013）。中国政府将改善儿童营养状况作为“健康中国”战略的重要组成部分。本案例依据世界卫生组织

（World Health Organization, WHO）儿童生长发育标准，监测 2002~2017 年中国 5 岁以下儿童生长迟缓率空间格局及动态变化，为制定儿童精准营养干预提供决策依据。

所用数据

◎ 调查数据，包括中国居民营养与健康状况调查数据、中国居民慢性病与营养监测数据；

◎ 统计数据，包括中国统计年鉴和卫生统计年鉴所提供或公开发布的数据。

方法介绍

以年龄别身长 / 身高低于 WHO 儿童生长发育标准中位数的两个标准差判定为儿童生长迟缓，将儿童生长迟缓率分为 <2.5%（非常低）、2.5%~9.9%（低）、10.0%~19.9%（中）、20.0%~29.9%（高）和 ≥ 30.0%（非常高）5 个等级，评估中国 5 岁以下儿童生长迟缓变化。

同时，从不同省区市、城乡（城市 / 农村）、性别（男 / 女）和年龄组（0 岁 -1 岁 -2 岁 -3 岁 -4 岁 -）等多个水平进行呈现，并与 SDG 2.2 对应目标进行比较。采用 2010 年第六次人口普查数据，对不同调查年数据结果进行复杂抽样加权处理。

结果与分析

2002~2017年，中国5岁以下儿童生长迟缓率从18.8%降至4.8%，达到SDG 2.2对应目标（5.9%）。分省来看，2002年仅有9个省区市5岁以下儿童生长迟缓

率处于低或非常低的水平（图2-1）；至2017年，31个省区市均处于低或非常低的水平。

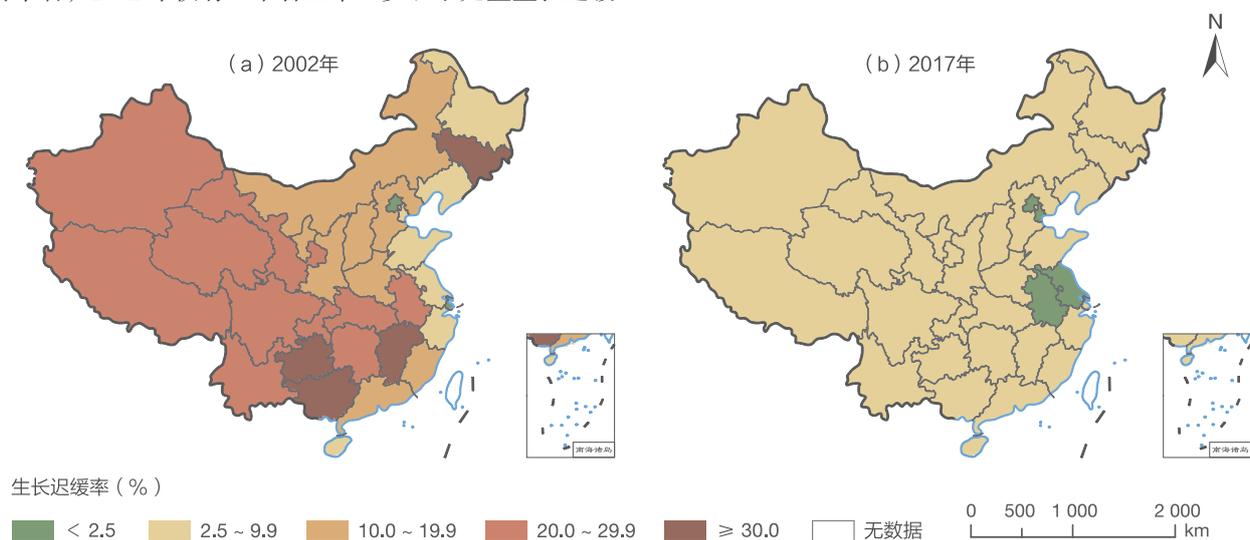


图 2-1. 2002 年 (a) 和 2017 年 (b) 中国分省 5 岁以下儿童生长迟缓率分布

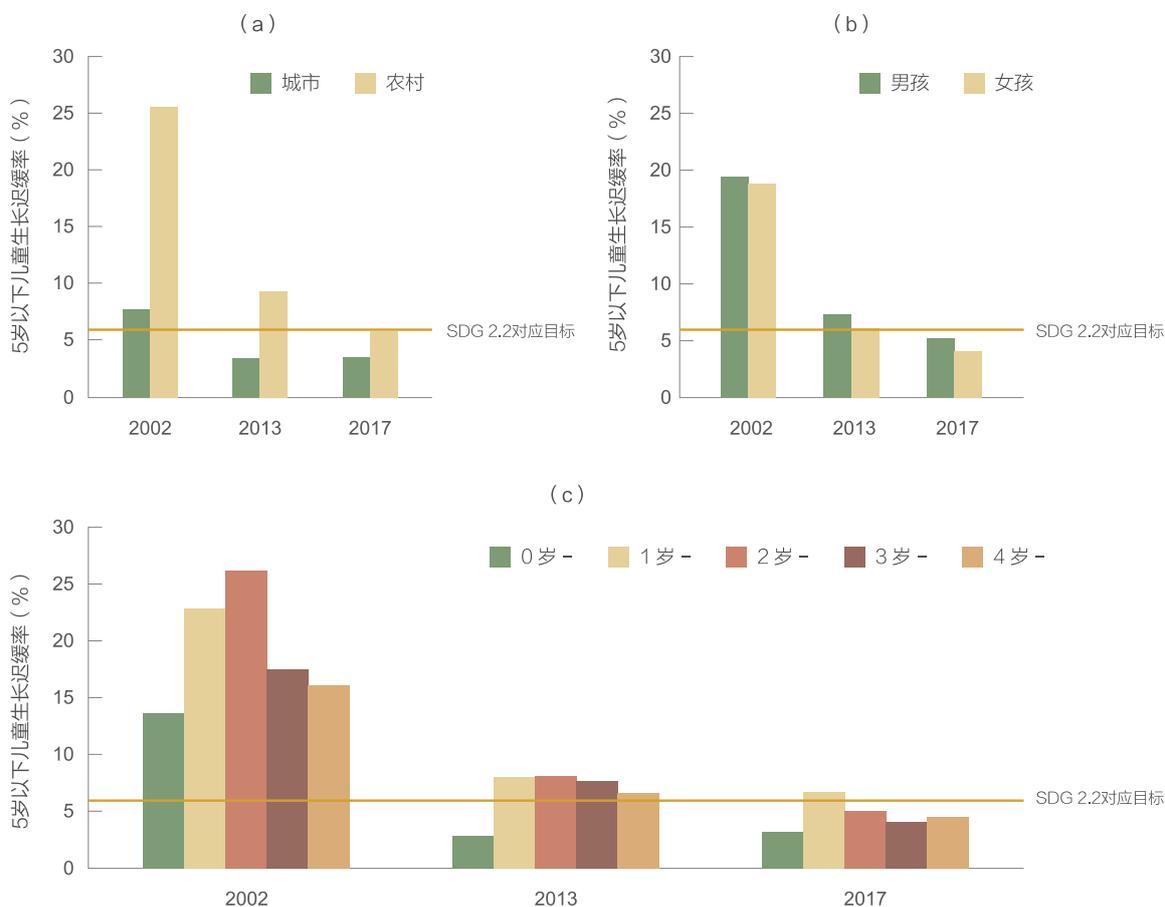


图 2-2. 2002~2017 年中国城乡 (a)、性别 (b)、年龄 (c) 5 岁以下儿童生长迟缓率变化

国家针对农村地区特别是贫困地区 5 岁以下儿童实施的儿童营养改善政策及项目的持续推进，极大地提高了儿童营养状况，缩小了城乡差异。监测期间，中国 5 岁以下儿童生长迟缓率在城乡、性别和年龄分组下均大幅度降低（图 2-2）。2002~2017 年，中国 5 岁以下儿童

生长迟缓率城乡比由 1 : 3.3 降至 1 : 1.7；至 2017 年，城市和农村地区均达到 SDG 2.2 对应目标。中国 5 岁以下儿童生长迟缓率也存在性别和年龄差异，男童略高于女童，1 岁 - 组和 2 岁 - 组处于辅食添加期的儿童较其他年龄组高。

讨论与展望

儿童营养状况的改善既是零饥饿目标的关注重点也是推进健康中国建设的重要组成部分。当前，国际政治经济形势不确定性增加，蝗灾、新冠肺炎疫情等重大灾害多发，全球食物供应体系、儿童营养状况改善正经受

冲击。城镇化快速发展带来的大规模城乡人口流动，也为儿童营养状况带来了不确定性。关注国际形势变化对全球食物供应链的影响，重点关注贫困农村儿童和城市流动儿童，是进一步降低儿童生长迟缓率的重要保障。

中国耕地可持续集约化利用潜力评估

对应目标：2.4 到2030年，确保建立可持续粮食生产体系并执行具有抗灾能力的农作方法，以提高生产力和产量，帮助维护生态系统，加强适应气候变化、极端天气、干旱、洪涝和其他灾害的能力，逐步改善土地和土壤质量。

成果亮点

- 通过提高复种，中国可增加 $1.35 \times 10^5 \sim 3.63 \times 10^5 \text{ km}^2$ 粮食收获面积，在当前水资源分配情景下，可额外增加约 19.6% 的粮食产量。
- 耕地集约化利用需兼顾资源潜力与环境限制，不同水资源分配情景对收获面积的影响高达 60%，资源高效配置对耕地可持续集约化利用至关重要。

案例背景

耕地可持续集约化利用对全球粮食生产至关重要。近几十年来，通过采用高产作物品种，全球粮食总产实现翻倍，但目前技术条件下作物单产已接近“天花板”（Ray *et al.*, 2012），难以继续提高。同时，全球耕地面积接近“全球环境安全界限”（Henry *et al.*, 2018），扩张代价巨大。在此背景下，通过采用复种等耕种方式提

高耕地集约化利用水平，成为提升全球粮食生产能力的重要途径。

本案例依托地球观测大数据技术，调查评估中国的耕地复种潜力及其对粮食生产体系的影响，科学提出中国耕地可持续集约化利用的实现路径，为可持续农业发展提供支持。

所用数据

◎ Spatial Production Allocation Model 全球农业生产网格数据集；

◎ 中国土地覆盖数据集、全球耕地覆盖数据集；

◎ Climate Research Unit 网格气象数据集；

◎ Global Agro-Ecological Zones 全球农业生态区划数据集。

方法介绍

耕地集约化利用现状空间制图。考虑气象、土壤、作物适宜性等限制条件，构建最小交叉信息熵模型，将作物面积、单产、总产在 $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ 空间像元进行分配，实现空间分布制图，并叠加耕地空间分布数据集，获取耕地种植强度空间信息。

耕地集约化利用潜力空间制图。基于区域的热量和降水条件，分别计算受两者因素限制下的潜力复种指数，

取两者最小值作为最终潜力。其中，热量复种指数潜力根据积温差异：积温 $\geq 3\ 400\ ^\circ\text{C}$ 、 $4\ 200\ ^\circ\text{C}$ 、 $5\ 200\ ^\circ\text{C}$ 和 $6\ 200\ ^\circ\text{C}$ 进行复种潜力值划分；降水复种指数潜力采用年降水量 500 mm 和 1200 mm 作为潜力值划分标准。

收获面积差估算与水资源分配情景设置。根据耕地集约化利用潜力与现状之间的差异估算收获面积差，并设置四种水资源分配情景分析不同水土资源配置模式对

收获面积差的影响。水资源优先分配情景：按照收获面积差的大小顺序，将流域内可用水资源分配至空间像元。水资源按需分配情景：按照充分满足收获面积差的水资源需求，将流域内可用水资源按比例分配至空间像元。

水资源平均分配情景：将流域内可用水资源平均分配至空间像元。水资源灌溉面积分配情景：按照灌溉作物面积，将流域内可用水资源按比例分配至空间像元。

结果与分析

中国现有耕地面积约 $1.31 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，粮食作物收获面积约 $1.60 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。在兼顾气候资源潜力与水资源约束的情况下，中国可增加 $1.35 \times 10^5 \sim 3.63 \times 10^5 \text{ km}^2$ 作物收获面积（即收获面积差，图 2-3）。在最现实情况下（水资源灌溉面积分配情景），充分利用收获面积差可额外生产 $1.17 \times 10^8 \text{ t}$ 粮食（约 19.6%）。

从历史变化特征看，虽然中国的粮食作物总收获面

积稳步上升，但收获面积差却经历了先减后增的过程。气候变化提高了中国耕地集约利用的潜力，且相当一部分潜力未被有效利用。尤其在南方部分地区，气候变化与土地利用对收获面积差变化均有明显的正贡献（图 2-4）。由于自然条件限制较小，这些地区应当成为未来提高耕地集约化利用的优先地区。

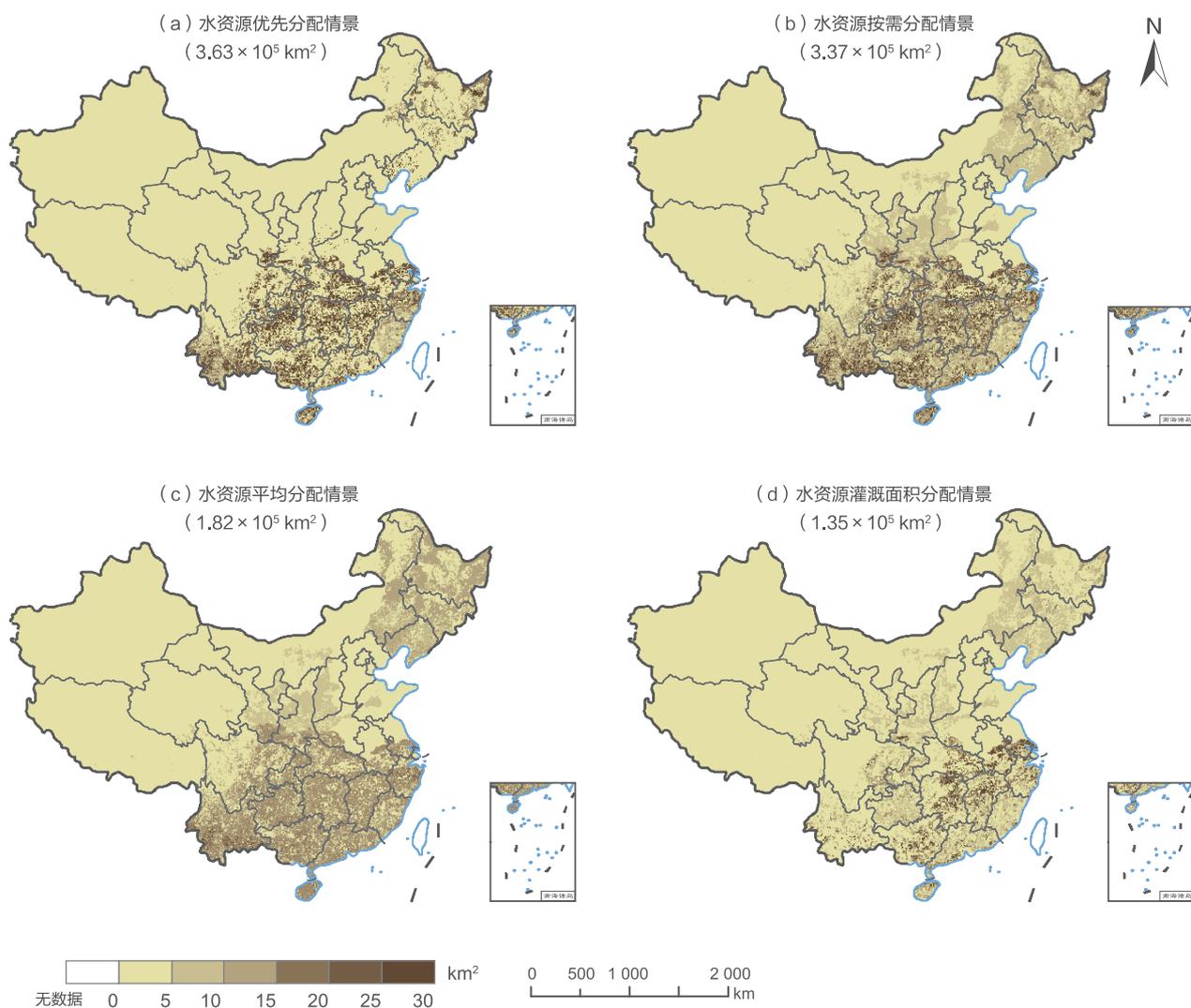


图 2-3. 中国耕地利用强度提升潜力与水资源分配情景

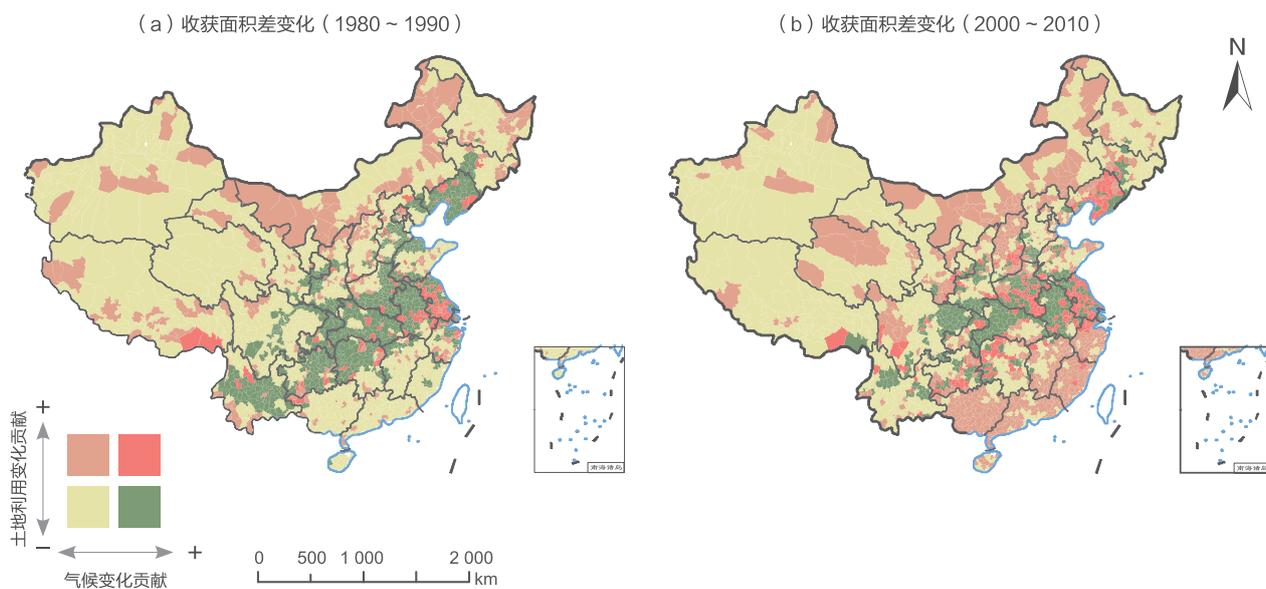


图 2-4. 气候变化与土地利用变化对收获面积差变化的贡献（注：缺台湾地区数据）

讨论与展望

以提高中国农业生产力，确保建立可持续粮食生产体系为目标，依托地球大数据，开展中国耕地可持续集约化利用潜力及限制研究。研究发现，中国耕地集约化利用潜力较大，且受气候变化影响显著。充分利用这部分潜力，一方面可以有效增加粮食产量、消除饥饿，另

一方面可以缓解耕地面积扩张带来的环境压力。但耕地集约化利用是一个复杂问题，需要综合考虑耕地集约化利用与资源、环境、生态的相互关系，建立资源节约型和环境友好型相结合的耕地可持续集约化利用模式。

中国粮食生产可持续性提升潜力评估

对应目标：2.4 到 2030 年，确保建立可持续粮食生产体系并执行具有抗灾能力的农作方法，以提高生产力和产量，帮助维护生态系统，加强适应气候变化、极端天气、干旱、洪涝和其他灾害的能力，逐步改善土地和土壤质量。

成果亮点

- 建立三大主粮作物产量潜力遥感估算模型，发现稻谷和小麦在面积最大主产区的单产提升潜力分别为 2015 年单产的 13.3% 和 12.5%，其实现可使两种作物的全国产量满足 2030 年预测的消费需求。
- 不损失粮食产量的前提下，中国三大主粮作物的氮、磷肥投入量有 17%~19% 的减幅空间；合理规划增产与化肥减量的空间布局，是有效提升粮食生产可持续性的关键。

案例背景

如何利用有限的耕地，以最低的生态环境代价，满足人类日益增长的粮食需求，是解决当今世界粮食安全问题的关键，也是 SDG 2.4 目标的关注重点。案例针对反映生产性和可持续性农业的三个参数——土地生产力、

化肥污染风险和粮食安全，聚焦中国三大主粮作物（水稻、小麦和玉米），建立空间明晰的单产提升潜力和化肥减量化估算模型，开展粮食生产可持续性提升潜力评估。

所用数据

◎ 中国农业展望——2030 年中国主要粮食消费预测数据；

◎ 2010~2015 年三大粮食作物主产区遥感反射率、

植被指数、气象数据、土壤数据以及生育期及产量数据等；

◎ 2015 年中国粮食生产可持续性评估数据集。

方法介绍

作物单产提升潜力方面，采用自主研发的遥感作物产量模型（Remote Sensing-Crop Yield Model, RS-CYM）（Wang *et al.*, 2020）估算 2015 年中国粮食主产区三大主要粮食作物实际产量；同时，使用气象环境因子构建潜在产量分区方案，以区域内农户实际产量的 95% 分位数作为潜在产量。计算多年平均潜在产量与实际产量的差值，获取作物单产可提升潜力。

化肥施用可减量方面，基于 2015 年三大作物产量及

相应的氮肥 / 磷肥施用量数据，在气候区划的基础上，分别构建氮肥和磷肥的作物产量响应模型；基于木桶原理（Mueller *et al.*, 2012），确定限制作物产量的肥料种类，采用肥料产量响应模型计算非限制类肥料的需求量，并获得其可减量。

粮食安全水平方面，采用粮食总产量与总消费量的比值获取。

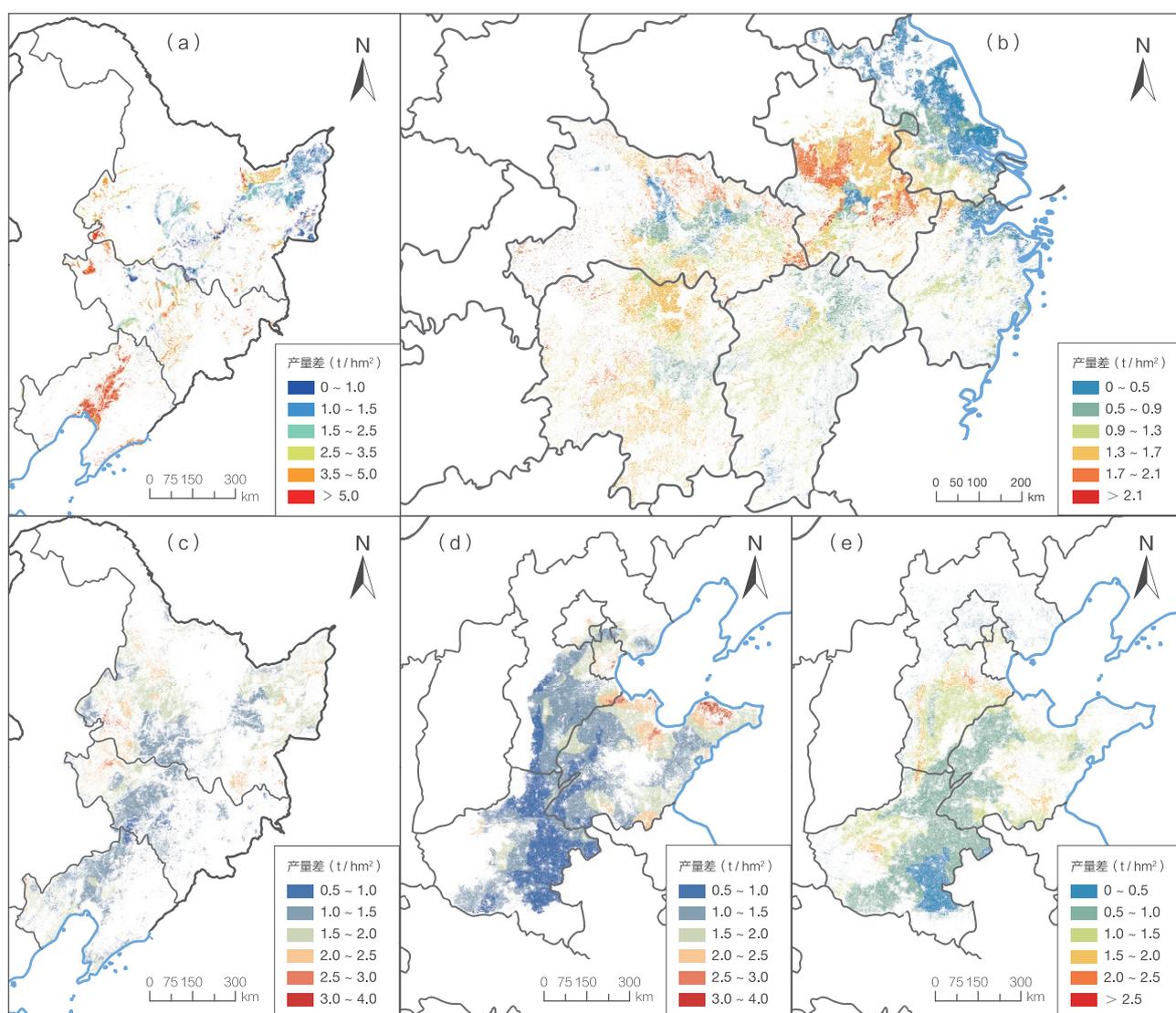
结果与分析

结果显示，水稻单产增加潜力在面积分布最大的长江中下游主产区为 1.1 t/hm^2 ，占潜在产量的 13.3%，产量增加潜力约为 2015 年全国水稻总产量的 5%，其实现可使全国总产量达到 2030 年稻谷消费需求预测量的 100%，实现完全自给。

小麦单产增加潜力在面积分布最广的华北平原主产区为 0.9 t/hm^2 ，占潜在产量的 12.5%，产量增加潜力约为 2015 年全国小麦总产量的 8%，其实现可使全国总产

满足 2030 年小麦消费需求预测量的 100%，实现完全自给。

玉米在面积分布最广的东北平原和华北平原两大主产区单产增加潜力为 1.5 t/hm^2 和 1.3 t/hm^2 ，分别占潜在产量的 16.0% 和 19.0%，产量增加潜力分别占 2015 年全国玉米总产量的 6% 和 5%，其实现可满足 2030 年玉米总预测需求的 89%。玉米的基本自给，还有待更广泛区域的产量提升。



↑ 图 2-5. 中国东北平原水稻 (a)、长江中下游水稻 (b)、东北平原春玉米 (c)、华北平原夏玉米 (d) 和华北平原冬小麦的产量提升潜力空间分布 (e)

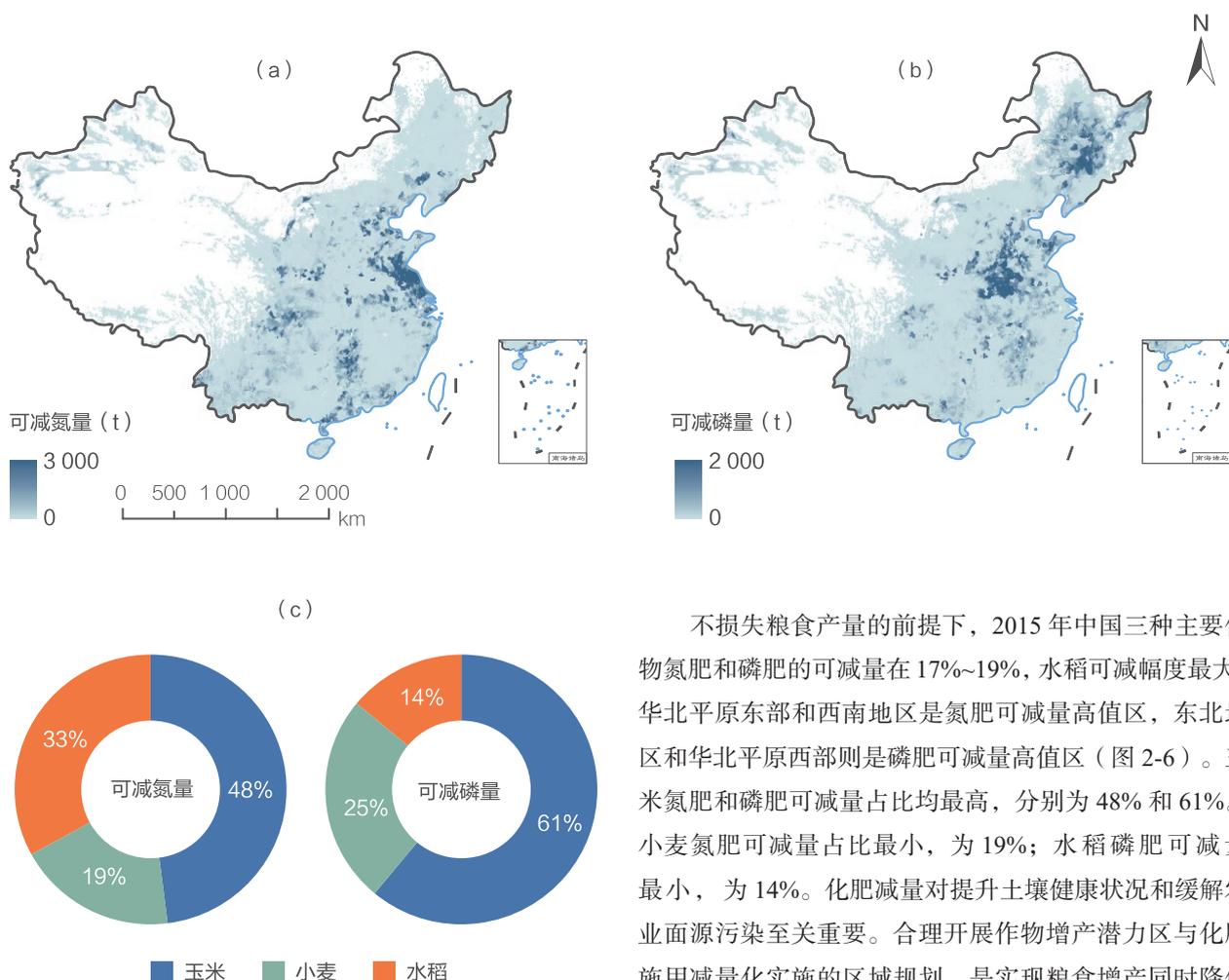


图 2-6. 中国三种主粮作物氮肥可减量空间分布 (a)、磷肥可减量空间分布 (b)、各作物减量占比 (c)
(注：缺台湾地区数据)

不损失粮食产量的前提下，2015 年中国三种主要作物氮肥和磷肥的可减量在 17%~19%，水稻可减幅度最大。华北平原东部和西南地区是氮肥可减量高值区，东北地区和华北平原西部则是磷肥可减量高值区（图 2-6）。玉米氮肥和磷肥可减量占比均最高，分别为 48% 和 61%。小麦氮肥可减量占比最小，为 19%；水稻磷肥可减量最小，为 14%。化肥减量对提升土壤健康状况和缓解农业面源污染至关重要。合理开展作物增产潜力区与化肥施用减量化实施的区域规划，是实现粮食增产同时降低生态环境影响、有效提升粮食生产可持续性的重要手段。

讨论与展望

本案例采用两种模型分别估算作物产量潜力与化肥可减量，使得提出增产同时化肥减量的方案具有一定难度。今后将开发能同时完成两项估算的模型，实现空间上增产与减肥的耦合，为提升粮食生产可持续性提供空间布局建议。此外，粮食生产可持续性提升是个系统性

问题，其涉及内容还包括农药减施、秸秆与农膜以及畜禽粪污资源化利用等问题，并且整体可持续性受气候变化影响较大，今后将把其他方面纳入研究，并考虑气候变化影响，以针对整个粮食生产提出系统性决策建议。



本章小结

建立可持续食品供应和营养系统，使其满足人类日益增长的营养需求，同时不损害其他非农商品的供应能力，是全球可持续发展的基础性议题。

中国始终将保障国家粮食安全作为治国安邦的首要之务，并不断加强科技创新贡献。地球大数据涵盖多学科领域数据及技术方法，具有宏观和动态监测能力，能够有效支撑开展零饥饿目标在社会、经济和环境各方面综合性评估研究，为推动零饥饿可持续发展目标实现提供技术保障。

本章依托地球大数据技术，聚焦零饥饿目标中分别反映粮食供需状况的 SDG 2.2.1 和 SDG 2.4.1 两个指标，创新融合多源数据和多学科技术方法，发展了作物产量潜力遥感估算模型；通过科学数据生产和指标评估，反映了中国在国民营养需求改善方面的积极进展，提出了提升耕地可持续利用和粮食可持续性生产的潜在路径。报告展现了地球大数据技术在 SDG 2 指标监测和决策支持方面的巨大潜力，为全球零饥饿可持续发展目标监测提供了可行并可靠的技术手段。





SDG 6 清洁饮水和 卫生设施

背景介绍	30
主要贡献	31
案例分析	32
本章小结	44



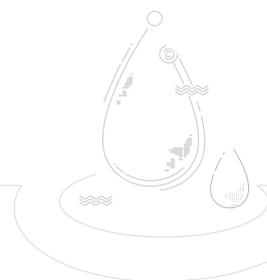
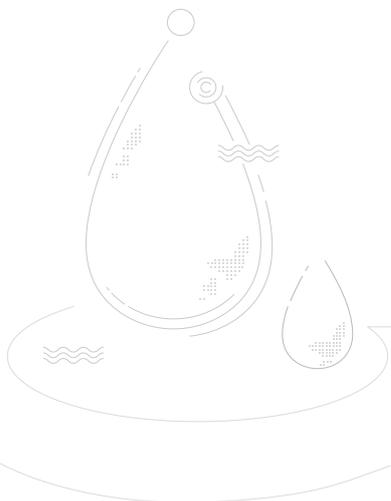
背景介绍

水是生命之源、社会经济发展之基。水资源短缺、水环境恶化、水生态退化是全球实现可持续发展过程中面临的共同挑战。目前，全球范围内仍有 8.4 亿人口缺少基本饮用水供应，40% 以上的人口面临水资源短缺的危机，即使在中高收入国家中仍有 20% 的污水未经处理就直接排放（UN-Water, 2018）。

为了应对该挑战，联合国提出了 SDG 6 可持续发展目标：为所有人提供水和环境卫生并对其进行可持续管理，包括 8 项具体目标和 11 个指标，涵盖水资源、水环境、水生态和与水相关的国际合作等多个主题。但由于各国社会经济发展水平及水资源监测基础参差不齐、评价标准多样，实现全球范围内的 SDG 6 指标监测与评估仍任重道远。

中国是典型的水资源短缺国家，快速的经济快速发展也给水环境、水生态保护带来巨大压力。近年来，中国政府通过实施《最严格水资源管理制度》、《水污染防治行动计划》等一系列政策，有效提升了水资源利用效率，改善了水生态环境。另外，通过运用遥感、地面观测等地球大数据，加强水资源的监测与评估，探索了适合中国国情的水资源可持续性管理模式。

本报告聚焦水资源、水环境和水生态三个方向，围绕湖泊水体透明度（SDG 6.3.2）、用水紧张程度（SDG 6.4.2）和涉水生态（SDG 6.6.1）三个指标，在中国和相关国际重要湿地开展 SDGs 指标的监测与评估，总结中国在 SDG 6 目标实现过程中的经验，为联合国 SDG 6 指标的监测落实提供模型方法、数据产品和决策支撑。





主要贡献

针对 SDG 6.3.2 指标，创建了一种湖泊水体透明度提取算法，为全球湖泊水环境监测提供方法和案例示范；针对 SDG 6.4.2 指标，发展了一种用水紧张程度评估方法，

为全球含冰川径流干旱区的用水调配提供案例示范；针对 SDG 6.6.1 指标，为中国履行《湿地公约》具体行动和全球湿地保护行动提供关键数据支撑（表 3-1）。

表 3-1 案例名称及其主要贡献

指标	指标层级	案例	贡献
6.3.2 环境水质良好的水体比例	Tier II	中国湖泊水体透明度时空分布格局	<p>数据产品：生产了中国湖泊水体透明度时间序列数据集（2000~2019 年）</p> <p>方法模型：创建了一种基于双波段反射率的湖泊水体透明度监测评估算法</p> <p>决策支持：可为中国及全球水环境监测与治理提供决策支持</p>
6.4.2 用水紧张程度：淡水汲取量占可用淡水资源的比例	Tier I	中国西北干旱区疏勒河流域用水紧张程度评估	<p>方法模型：创建了一种耦合冰川模块的用水紧张程度算法</p> <p>决策支持：为全球含冰川径流干旱区流域水资源合理分配提供参考依据</p>
6.6.1 与水有关的生态系统范围随时间的变化	Tier I	中国沼泽湿地时空分布	<p>数据产品：提供中国沼泽湿地数据集（2015）和红树林、互花米草数据集（2015、2018）</p> <p>方法模型：集成面向对象与多层决策技术的中国沼泽湿地、红树林和互花米草提取算法</p> <p>决策支持：为中国履行《湿地公约》提供决策依据</p>
	Tier I	国际重要湿地水体动态变化	<p>数据产品：生产了亚欧非 86 个国际重要湿地水体分布数据集（2000~2018 年）</p> <p>决策支持：为全球国际重要湿地的保护管理提供了决策支持</p>



案例分析

中国湖泊水体透明度时空分布格局

对应目标：6.3 到 2030 年，通过以下方式改善水质：减少污染，消除倾倒废物现象，把危险化学品和材料的排放减少到最低限度，将未经处理废水比例减半，大幅增加全球废物回收和安全再利用。

成果亮点

- 2000~2019 年，中国湖泊水体透明度表现为“西高东低”，水体清澈程度表现良好，且呈现出向好态势。I、II 和 III 类水体清澈程度良好的湖泊数量比例由 2000 年的 84.11% 增长为 2019 年的 92.46%。

案例背景

水体透明度（Secchi Disk Depth, SDD）是指黑白赛克盘垂直沉入水中直到看不见的深度，可用于表征水体清澈程度。通常，透明度越高，水体越清澈。大量研究表明通过卫星遥感反演水体透明度与水质指标有着密切联系（Chang *et al.*, 2020; Lee and Lee, 2015）。本案例为

了从宏观上反映中国湖泊清澈程度，构建了中国湖泊水体透明度提取算法，实现了 2000~2019 年中国大型湖泊（>20 km²）水体透明度的估算，为 SDG 6.3.2 的监测评估做出了有益的探索。

所用数据

◎ 2000~2019 年中分辨率成像光谱仪（Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS）陆表反射率、温度和归一化植被指数产品；

◎ 2000~2019 年热带降雨测量任务（Tropical Rainfall

Measuring Mission, TRMM）卫星数据产品；

◎ 中国数字高程模型；

◎ 2000~2019 年再分析风速产品；

◎ 2010 年中国每公里人口密度。

方法介绍

本案例构建了一种可适用于 MODIS 陆地反射率产品 MOD09GA 的 SDD 遥感反演算法：

$$SDD=1699.72 \times e^{-170.92 \times R}, R \leq 0.016$$

$$SDD=0.36 \times R^{-1.39}, R > 0.016$$

$$R = (R_{555} + R_{645}) / 2\pi$$

其中， R_{555} 和 R_{645} 分别为 MODIS 两波段的反射率，中心波长为 555 nm 和 645 nm， R 为中间变量。将公式

应用于 2000~2019 年反射率，可得到日尺度 SDD 产品，算术平均得到每个湖年尺度和气候态平均 SDD。基于中国湖泊 2 236 个实测水体透明度站点数据，随机选取 75% 的匹配数据用于构建模型，其余 25% 用于验证。本案例算法与已报道的区域性算法或结果进行了对比，两者基本一致，表明本案例算法在区域和全国尺度具有广泛的适用性。

结果与分析

1) 中国湖泊 SDD 时空分布格局

整体上,中国湖泊 SDD 表现出“西高东低”的特征。西部三个山地湖区湖泊的平均 SDD (180.28 ± 171.29 cm) 是东部两个平原湖区湖泊平均 SDD (78.01 ± 40.54 cm) 的两倍有余(图 3-1)。其中,云贵高原湖区、青藏高原湖区、蒙新湖区、东部平原湖区和东北平原湖区的平均 SDD 分别为 404.63 ± 363.98 cm、 182.41 ± 184.29 cm、 139.70 ± 193.96 cm、 92.90 ± 90.09 cm 和 55.05 ± 33.46 cm(图 3-1)。分析表明:湖泊 SDD 空间变化主要受水深影响,水深能解释 88.81% 的中国湖泊 SDD 空间变异。实测数据表明:水体富营养化也会降低 SDD,比如实测叶绿素 a 含量与 SDD 也存在显著幂函数负相关 ($N = 1827, r = 0.36; p < 0.001$)。

2000~2019 年,中国湖泊水体清澈程度有所改善。所研究的 412 个湖泊(占全国湖泊总面积的 87.02%),有 70.15% 表现为 SDD 增加,且 42.72% 表现为显著增加。流域植被恢复对湖泊 SDD 增加起主要作用,植被指数增加对蒙新、青藏高原、云贵高原、东北平原和东部平原等湖区湖泊 SDD 增加的贡献分别为 44.95%、37.87%、75.66%、58.12% 和 36.34%。同时,气候变化对湖泊 SDD,主要是青藏高原湖泊增加有明显作用;气温升高使冰川融化并提升湖泊水位,能解释 24.98% 的青藏高原湖区 SDD 增加。

2) 中国湖泊清澈程度所占比例

依据已公开报道文献和统计分析(Chang et al., 2020; Lee and Lee, 2015),本案例科学设置了划分湖泊水体清澈程度的阈值:将年平均 SDD 为 ≤ 25 、 $(25, 65]$ 、 $(65,$

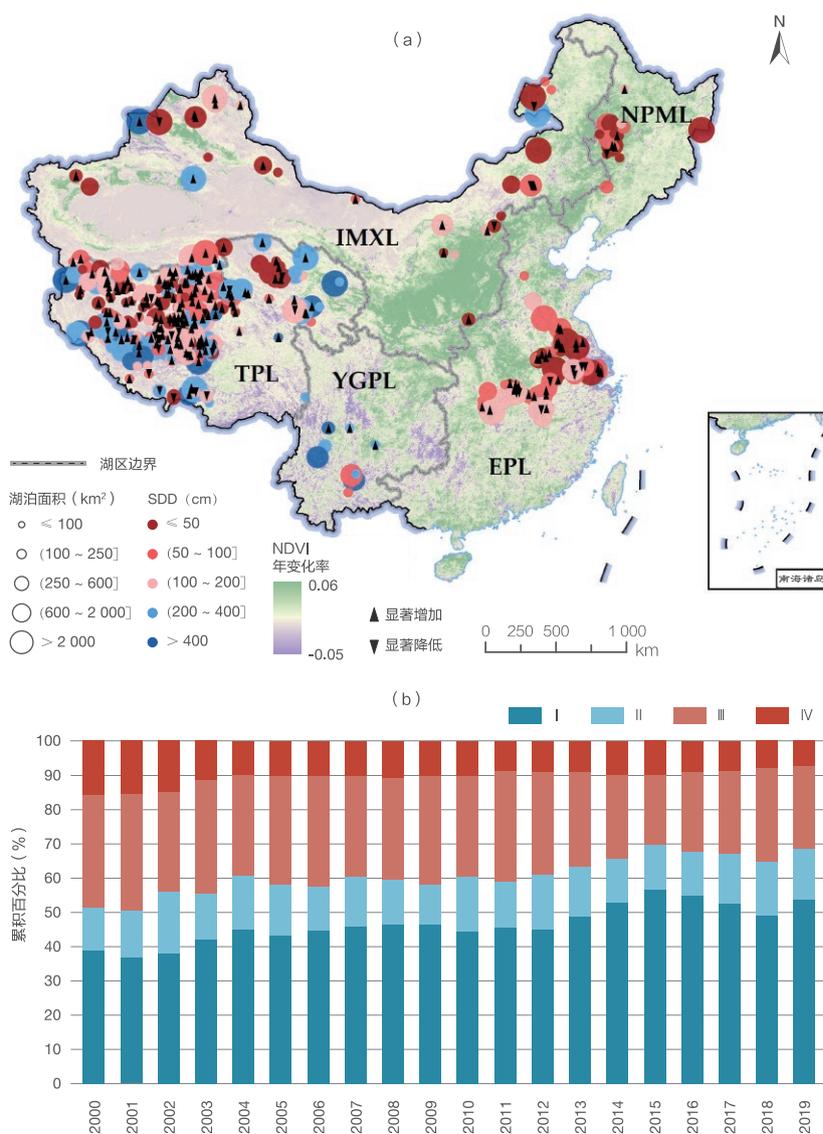


图 3-1. 2000~2019 年中国大型湖泊水体透明度分布图

(a) 透明度 (Secchi Disk Depth, SDD) 平均值; (b) 水体清澈程度变化流域 NDVI 变化率为 2000~2019 年的线性拟合斜率。IMXL. 蒙新湖区; TPL. 青藏高原湖区; YGPL. 云贵高原湖区; NPML. 东北平原湖区; EPL. 东部平原湖区

100] 和 >100 (单位: cm) 的湖泊分别划分为 IV、III、II 和 I 类清澈水体。I 类清澈程度湖泊大多分布在中国西部,尤其是青藏高原湖区。东部两个湖区湖泊大多为 III 类,且部分湖泊呈现清澈程度退化。2000~2019 年, I 类清澈程度湖泊数占比增加显著,从 39.12% 增长至 54.01% 左右; II 类清澈程度湖泊数占比稳定在 14.21% 上下; III 类清澈程度湖泊数占比显著降低,从 32.52% 降至



23.84%左右；IV类清澈程度湖泊数占比也显著降低，从15.89%降至7.54%左右。I、II和III类水体清澈程度良好的湖泊数占比由2000年的84.11%增长为2019年的

92.46%（图3-1），提高了8.35个百分点。整体上，中国大型湖泊清澈程度表现良好，且呈现好转态势。

讨论与展望

本案例构建了一种可以实现中国湖泊SDD快速制图的遥感方法，并定量计算了不同影响因子对SDD时空变异的贡献。湖泊流域植被修复对2000~2019湖泊SDD增加具有积极作用。整体上，中国大型湖泊清澈程度良

好并逐渐改善，I、II和III类湖泊数占比从2000年的84.11%上升到2019年的92.46%。基于相关分析，本案例提出了改善中国湖泊清澈程度的三大举措：生态补水提升水位、富营养化控制和流域植被修复。

中国西北干旱区疏勒河流域用水紧张程度评估

对应目标：6.4 到 2030 年，所有行业大幅提高用水效率，确保可持续取用和供应淡水，以解决缺水问题，大幅减少缺水人数。

成果亮点

- 冰川融水对疏勒河流域来水量的贡献率将由当前的 23% 减少至 2030 年代的 15% (RCP 2.6 情景)。
- 2015~2020 年淡水资源接近供需平衡；2021~2030 年，用水紧张程度将增加。

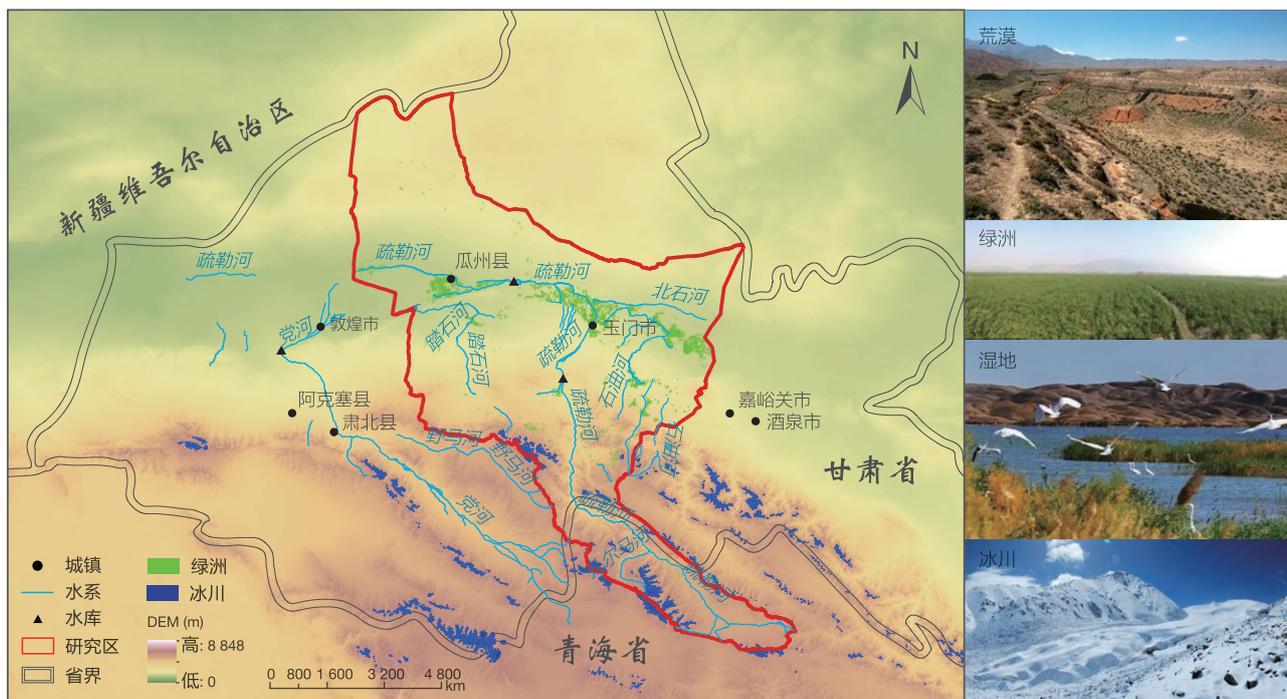
案例背景

冰川作为固态水体，对于全球干旱区绿洲水资源可持续利用具有极为重要的作用，高度依赖冰川水资源的干旱区人口近 2 亿。在气候变暖背景下，全球山地冰川正加速消融，部分干旱区水量在减少，已对下游生态-社会经济系统造成了连锁影响，如经济社会需水短缺，以及由此引发的荒漠化潜在风险增加 (Allan *et al.*, 2019;

Immerzeel *et al.*, 2019)。

用水紧张程度指标是对水资源压力测度的最直接方法，但目前缺乏含冰川径流的淡水紧缺度评估方法，而冰川径流的评估是含冰川流域干旱区淡水紧缺度评估正确与否的关键。

位于中国西北干旱区的疏勒河流域 (行政区划隶属



↑ 图 3-2. 疏勒河流域冰川、径流、绿洲空间分布

于青海省海北藏族自治州和甘肃省酒泉市）是全球含冰川径流干旱区的代表性区域（图 3-2）。本案例计算并模拟了 2000~2030 年疏勒河流域上游出山口径流和冰川径

流及其社会经济需水量，以及流域绿洲用水紧张程度，提出了水资源安全政策建议。

所用数据

◎ 两次中国冰川编目数据（1970~2004 年；2006~2011 年）；

◎ 疏勒河流域昌马堡水文站出山口径流数据；

◎ 2000~2018 年流域统计年鉴、社会经济公报及其三产需水数据。

方法介绍

本案例系统分析了代表性温室气体排放路径（Representative Concentration Pathway, RCP）2.6 气候变化情景下冰川径流对流域用水紧张程度的影响，新发展了一种耦合冰川模块的分布式水文模型的用水紧张程度评估方法，该方法可为全球含冰川干旱区用水紧张程度计算研究提供参考。方法如下：

$$LWS = \frac{D_{se}}{S} = \frac{D_p + D_d + D_{ae}}{R_{total} - D_{ne}}$$

其中， LWS 为用水紧张程度； S 为可用淡水资源量； D_{se} 为社会经济需水量，含生产（ D_p ）、生活（ D_d ）、人

工生态环境需水（ D_{ae} ）（用水定额法计算）； R_{total} 为流域河川径流量； D_{ne} 为生态基流（用水文指标法计算，把每年最枯月份平均流量从大到小进行排序，将序数为第“90%”观测年份的最枯月份平均流量作为生态基流）。在干旱区流域，冰川径流在枯水期的占比很高，对维持河流生态基流具有重要意义。选取 Nash 效率系数和 R^2 指标评价了该模型对 1991~2013 年流域上游径流模拟效果。结果表明，Nash 效率系数为 0.89， R^2 为 0.89，说明径流模拟效果相对较好（Zhang et al., 2019）。

结果与分析

在全球变暖背景下，疏勒河流域上游降水和冰川融水径流量的增加使上游地表径流量呈现增加趋势。2000~2010 年，疏勒河上游年平均径流量约为 $1.04 \times 10^9 \text{ m}^3$ ，其中，冰川融水年平均径流量约为 $2.64 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。预测表明，2020~2030 年平均径流量将比 2000~2010 年增加 22.8%，2020~2030 年平均冰川径流量比 2000~2010 年将减少 11.0%。其中，冰川融水对疏勒河流域来水量的贡献率将由当前的 23% 减少至 2030 年代的 15%（RCP 2.6 情景）。

2000~2010 年，流域年平均生态基流为 $4.20 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占年平均地表径流量的 40.6%。2020~2030 年将降至 $3.84 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，占年平均地表径流量的 30.2%。受冰川径流减少影响，疏勒河流域生态基流呈减少趋势。

2000~2030 年，流域可用淡水资源总量呈现增加趋势。2000~2010 年，可用淡水资源总量达 $6.16 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。由于降水量的增加，2020~2030 年平均可用淡水资源总量将增加至 $8.88 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，增幅达 44.2%。

2000~2004 年，流域淡水汲取量 $5.0 \times 10^8 \text{ m}^3$ 左右。2005~2014 年，因移民安置、耕地扩张，流域淡水汲取量快速增至 $9.89 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，用水紧张程度保持在 1.45 左右。2015~2020 年期间，因用水配额限制，流域水资源基本处于供需平衡状态。若淡水汲取量保持当前变化趋势，2021~2030 年期间，淡水汲取量将持续增加，流域用水紧张程度显现（图 3-3）。冰川融水径流的存在使疏勒河流域用水紧张程度在 2000~2030 年平均降低了 0.71 个量级。

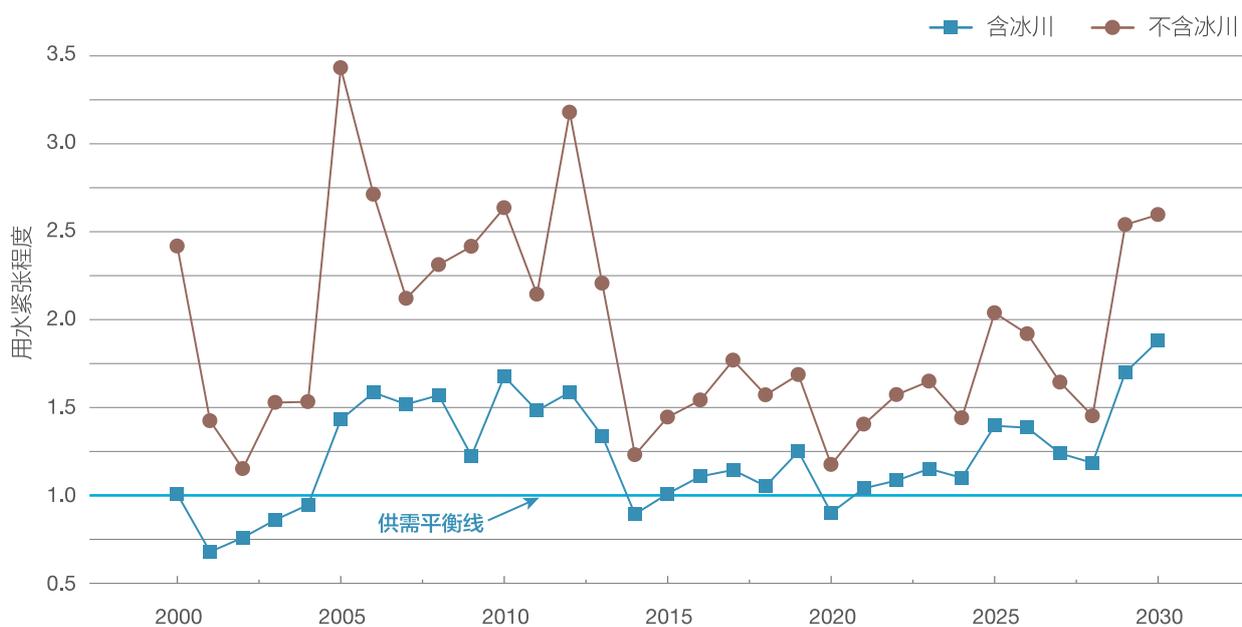


图 3-3. 中国西北干旱区疏勒河流域用水紧张程度变化态势

讨论与展望

冰川融水径流对于缓解全球一些干旱区用水压力，促使生态-经济系统可持续发展具有重要意义。冰川径流对地表径流的丰枯调节作用明显。未来，随着疏勒河流域冰川融水径流持续减少，其对该流域用水紧张程度的调节和缓解作用将大大减弱，在高温少雨的干旱年和取水量较大的年份，该流域用水紧张程度可能将大大增

加。较高的农业灌溉用水量和较低的水资源利用效率是导致该流域存在一定用水紧张程度的主因。未来，严控耕地面积扩张、提高灌溉用水效率、发展高效节水农业是减少干旱区绿洲淡水汲取量、维持流域水资源可持续利用的关键。

中国沼泽湿地时空分布

对应目标：6.6 到 2020 年，保护和恢复与水有关的生态系统，包括山地、森林、湿地、河流、地下含水层和湖泊。

成果亮点

- 分析了 2015 年中国沼泽湿地空间分布格局，探明了 2015~2018 年间中国红树林和互花米草变化特征。结果表明，中国红树林面积净增长 22.11%，互花米草入侵面积净减少 2.59%。中国红树林恢复成效显著，互花米草入侵得到控制。

案例背景

湿地是“山水林田湖草”生命共同体的重要组成部分，湿地的保护与管理对于“美丽中国”建设至关重要。分析湿地范围随时间的变化是国家落实 SDG 6.6 进展评

估的重要基础，可为国家《国际湿地公约》具体履约行动提供关键数据支撑。

所用数据

◎ 2015 年和 2018 年陆地卫星 (Landsat-8 OLI) 影像；
◎ 全国数字高程模型、行政区划矢量数据、1:100 万植被类型图、气候分区图、全球水体分布产品 (2015

年和 2018 年)；

◎ 野外调查样点数据、行业部门统计和监测数据。

方法介绍

本研究采用集成面向对象方法与多层决策树的湿地分类技术，进行国家尺度沼泽湿地分类。主要流程包括：针对不同气候区和不同湿地类型选择不同季节的遥感影像作为分类数据源、对遥感影像进行多尺度分割、利用决策树方法对湿地对象进行逐级分层分类、结合海量野外调查样点对分类结果进行检查和修正 (Jia *et al.*, 2018;

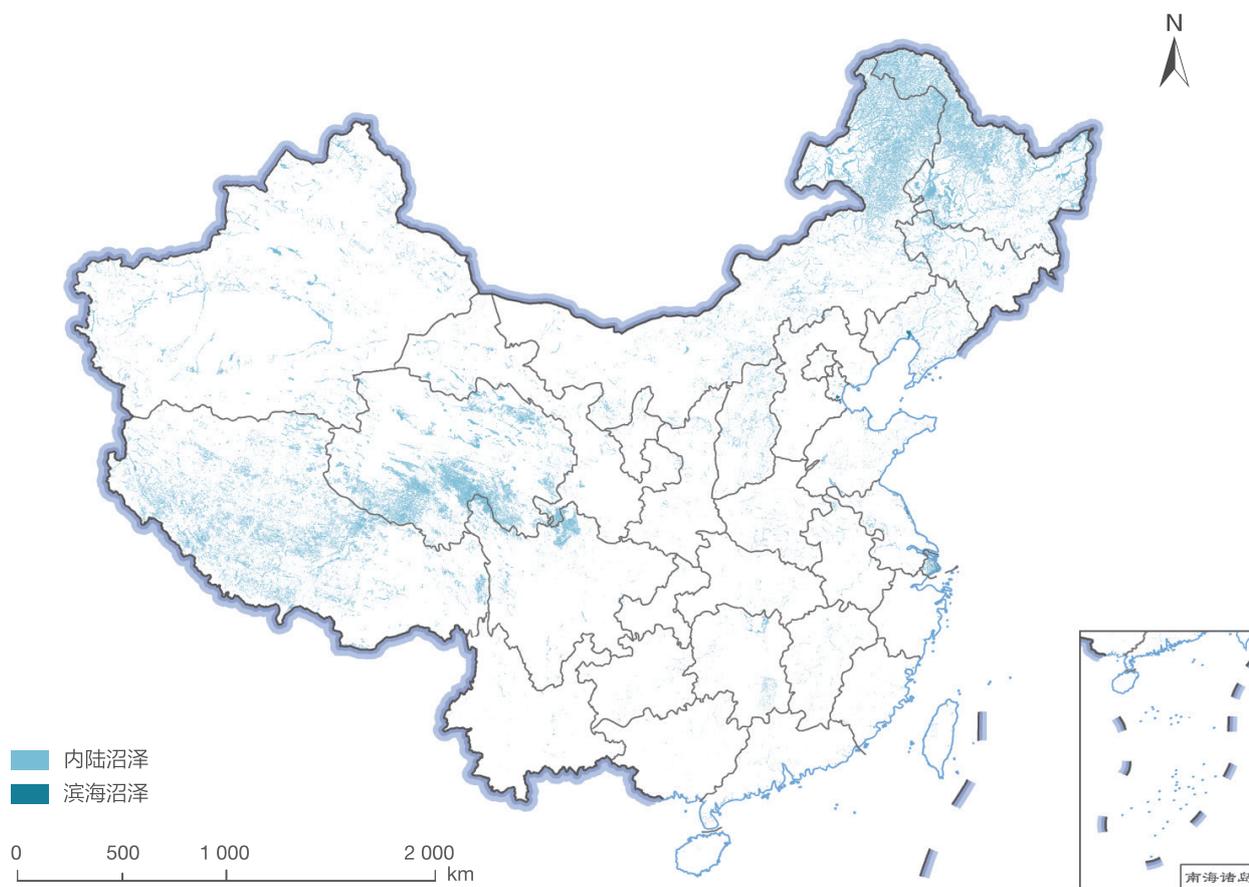
Mao *et al.*, 2019, 2020)。最终获得 2015 年中国沼泽湿地及 2015 年和 2018 年中国红树林和互花米草分布数据集。2015 年中国沼泽湿地的总体分类精度为 95%；2015 年和 2018 年中国红树林和互花米草的分类精度均在 92% 以上。

结果与分析

1) 中国沼泽湿地空间分布格局

2015 年中国沼泽湿地面积为 $1.64 \times 10^5 \text{ km}^2$ (图 3-4)。其中，内陆沼泽湿地约占全国沼泽湿地总面积的 98%，滨海沼泽湿地占 2%。中国沼泽湿地主要分布

在以下省区：西藏、青海、内蒙古、黑龙江、新疆。沼泽湿地在年降水量为 300~600 mm 区间分布最多，且主要分布在小于 200 m 和大于 3 000 m 的高程梯度上。



↑ 图 3-4. 2015 年中国沼泽湿地空间分布图

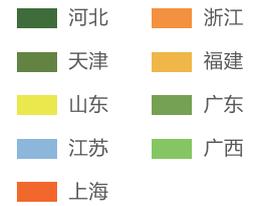
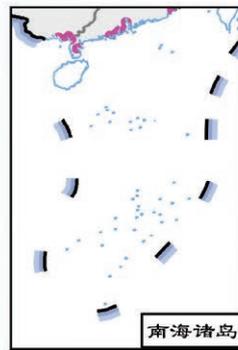
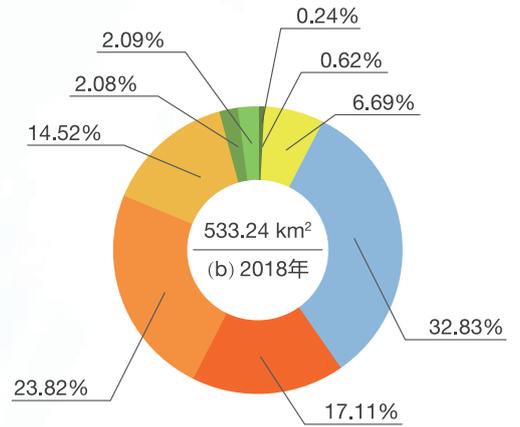
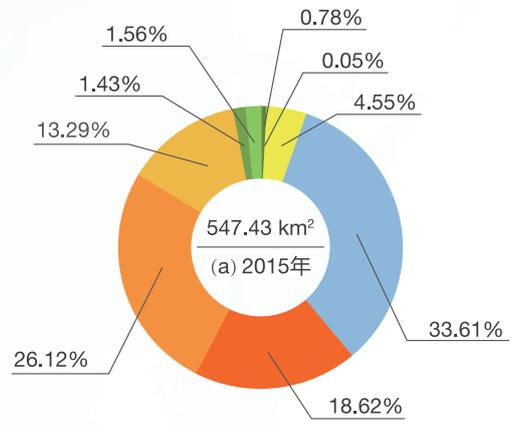
2) 中国红树林空间分布和面积变化

红树林是全球生物多样性保护的重要对象。近年来中国持续加大红树林保护和恢复力度，成为世界上少数几个红树林面积净增加的国家之一。2018 年红树林面积最大的区域是粤港澳大湾区，其次是广西和海南沿海地区，这三个区域红树林面积占全国红树林总面积的 95%。2015~2018 年期间，中国红树林面积由 226.74 km² 增加至 276.89 km²，净增长率为 22.11%（图 3-5）。广西和广东红树林面积明显增加，海南红树林略有增加，台湾红树林稍有减少。

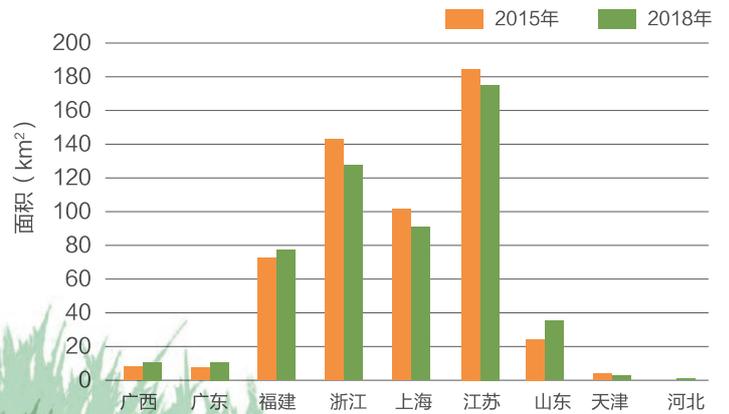
3) 中国互花米草空间分布和面积变化

互花米草入侵已成为影响中国滨海生态稳定的主

要威胁因子。2018 年互花米草入侵较为严重的省市主要为：江苏、浙江、上海和福建。其中，江苏互花米草入侵面积最大，约占全国互花米草总面积的三分之一。2015~2018 年，中国互花米草面积由 547.43 km² 减少到 533.24 km²，净减少面积 14.19 km²（图 3-5）。在人工治理和管控、水产养殖池扩张等因素的直接影响下，浙江、上海、江苏和天津四个省市的互花米草面积有所减少，其中浙江互花米草面积减少明显，为 15.52 km²。全国互花米草面积虽总体呈缩减趋势，但局部地区互花米草的入侵趋势依然严峻，如黄河三角洲等地。目前，中国台湾和海南未见互花米草分布。



2015 ~ 2018 年中国互花米草面积变化



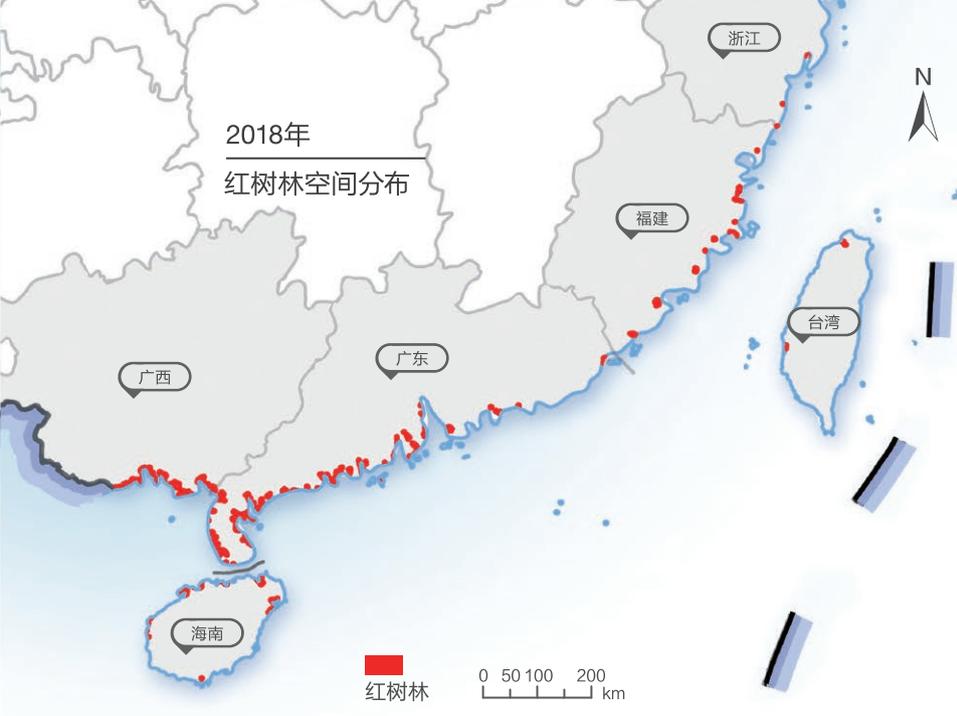
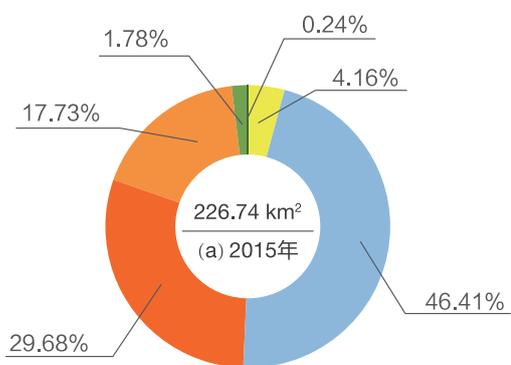
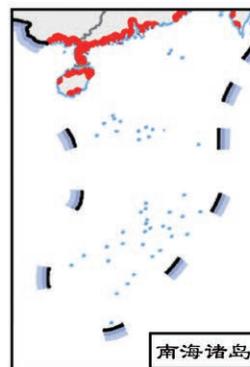
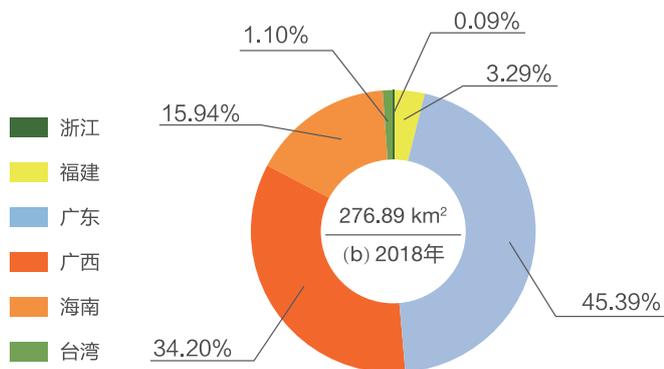
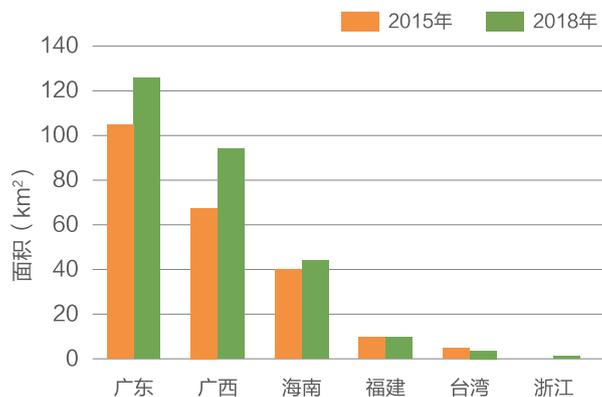


图 3-5.

● 中国红树林和互花米草空间分布和面积变化 (左排互花米草、右排红树林) (a) 2015; (b) 2018



2015 ~ 2018 年中国红树林面积变化



讨论与展望

本案例研发了集成面向对象方法与多层决策树的国家尺度湿地分类算法，实现了 2015 年中国沼泽湿地及 2015 年和 2018 年中国红树林和互花米草的高精度提取，可为国家尺度 SDG 6.6 的评估提供重要的科学数据。

本案例研究发现：①自 2015 年以来，中国红树林的面积显著增加，这表明中国为全球红树林保护与恢复作出了重要贡献；② 2015~2018 年期间，中国互花米草入侵面积呈净减少趋势，扭转了以往的持续增加趋势，表明互花米草治理工程初见成效。



国际重要湿地水体动态变化

对应目标：6.6 到 2020 年，保护和恢复与水有关的生态系统，包括山地、森林、湿地、河流、地下含水层和湖泊。

成果亮点

- 基于长时序和高时间分辨率的水体数据集分析了国际重要湿地内部水体面积的动态变化。研究表明：2000~2018 年，亚欧非大陆 50% 的国际重要湿地水体面积呈现了显著的变化趋势，其中多数（58%）表现为增长趋势。

案例背景

国际重要湿地内水体的动态监测，可以直接或间接反映湿地生态系统的保护成效及其变化趋势（Zheng *et al.*, 2012）。截至 2020 年 7 月，湿地公约缔约方共 171 个。2020 年 5 月全球有 2391 处湿地被列入国际重要湿地名录，覆盖了地球 $2.53 \times 10^6 \text{ km}^2$ 的陆地面积。

联合国水机制（United Nations Water, UN-Water）基于欧盟委员会联合研究中心（Joint Research Centre of the

European Commission, JRC）的全球水体数据集（Pekel *et al.*, 2016）和全球湖泊与湿地数据（Lehner and Doll, 2004），提供了与 SDG 6.6.1 有关的数据集，包括了地表水、红树林、水库和湿地等。到目前为止，尚没有专门针对国际重要湿地生态状况的直接和综合的监测和评价。国际重要湿地内的水体动态变化对于国际重要湿地总体生态环境状况具有直接的影响。

所用数据

- ◎ 亚欧非大陆国际重要湿地边界数据（2020 年）；
- ◎ 2000~2018 年全球水体动态数据集，中国科学院空间信息创新研究院，空间分辨率 250 m，时间分辨率 8d（Han and Niu, 2020）；
- ◎ 世界自然基金会（World Wide Fund for Nature, WWF）的全球流域边界数据（2000 年）。

方法介绍

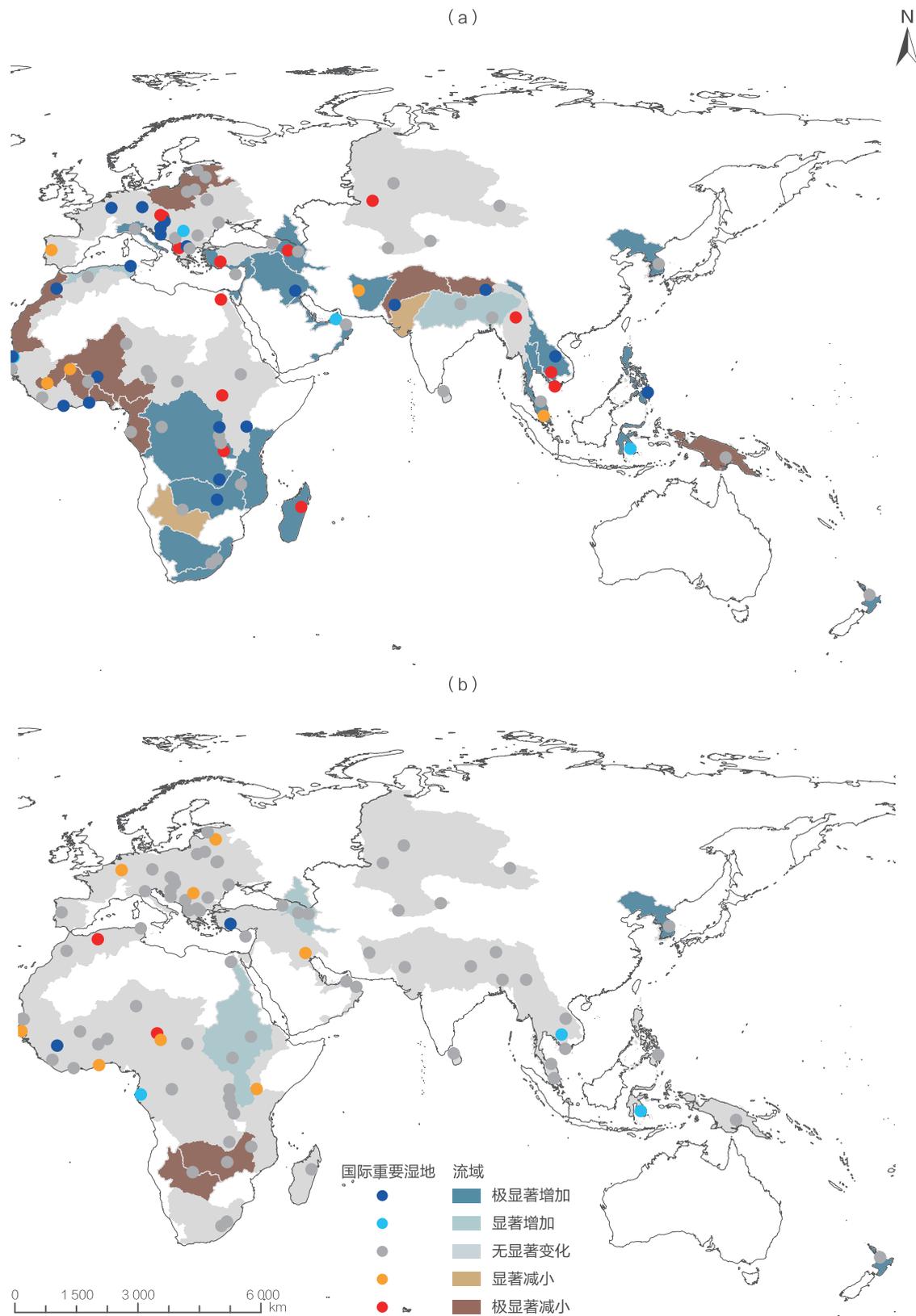
选取了亚欧非大陆有代表性的 86 个内陆型国际重要湿地以及其所在的 51 个三级流域，利用最小二乘线性回归法，对水体的总体变化趋势以及年内动态的年际变化趋势进行了分析，并利用双尾 T 检验分析了变化的显著性水平（0.05）。依据时间序列水体数据集，把水体划

分为永久性水体、季节性水体和临时性水体三种类型，利用小波变换和时间序列分解方法对不同类型水体变化的趋势项进行了提取。依据水体变化显著性程度差异，选取了 7 个典型的国际重要湿地进行水体变化趋势的分析评价。

结果与分析

总体上，有 50%（43/86）的国际重要湿地的水体变化显著（图 3-6）。其中水体表现为增加的为 25 个、减

小的为 18 个。就国际重要湿地内水体的稳定性（年内变化）而言，绝大多数国际重要湿地（83%）水体保持了



↑ 图 3-6. 2000~2018 年国际重要湿地及其流域的水体面积变化趋势图
(a) 年际变化趋势；(b) 年内季节波动性特征

相对稳定的状态。有不到 6%（5/68）的国际重要湿地内水体波动性增大；而 12%（10/86）的国际重要湿地水体波动性变小。

国际重要湿地不同水体类型（永久性水体、季节性水体、临时性水体）表现了不同的变化特征。在 Boeng Chhmar 和 Lake Burdur 国际重要湿地，虽然临时性水体呈增加趋势，但水体总的面积呈现降低趋势，其水体变化主要源于永久性水体的降低。

在 Rawa Aopa Watumohai National Park、Central Marshes、Vallée de la Haute-Sûre、Keta Lagoon Complex Ramsar Site、Lake Baringo 五个国际重要湿地，水体呈增

加趋势。水体增加源于永久性水体（2/5）和临时性水体（3/5）的增加。

国际重要湿地所在流域的水体呈现了与其内部水体变化不一致的特征。6 个国际重要湿地所在流域的水体呈现了减少的趋势，主要与流域内永久性水体的减少有关；同时也与季节性水体（Rawa Aopa Watumohai National Park 和 Keta Lagoon Complex Ramsar 所在流域）和临时性水体（Boeng Chhmar 和 Lake Baringo 所在流域）的变化相关。而 Keta Lagoon Complex Ramsar Site 所在流域的水体呈现了显著的增加趋势。

讨论与展望

考虑到湿地保护区数量众多，报告选取了具有水体变化显著性的部分国际重要湿地开展分析评价，未来可以将该监测扩展到全球范围的国际重要湿地。针对 SDG 6.6.1，未来需要加快生产与水有关的自然生态系统的全

球遥感制图产品（Hu *et al.*, 2017, Zheng *et al.*, 2015），开展国际重要湿地和相关保护地的监测评估的新理论和研究方法研究。



本章小结

本章聚焦水资源、水环境和水生态三个方向，围绕湖泊水体透明度（SDG 6.3.2）、用水紧张程度（SDG 6.4.2）和涉水生态（SDG 6.6.1）三个指标，发展了地球大数据支撑的指标评价模型和方法，实现了 SDG 6 多指标的动态、空间精细化、定量监测与评估，从数据产品、模型方法及决策支持三个角度为落实水安全可持续发展进程进行了描述。

下一步重点关注两方面内容：

- ◎ 利用水环境、水资源、水生态等多维度指标，对中国及全球 SDG 6 落实进展进行综合评估；
- ◎ 探索 SDG 6 与 SDG 2、SDG 11、SDG 13 和 SDG 15 中多个指标的协同监测与评估方法。



南瓮河湿地



STUR



SDG 11 可持续城市 和社区

背景介绍	48
主要贡献	49
案例分析	50
本章小结	69





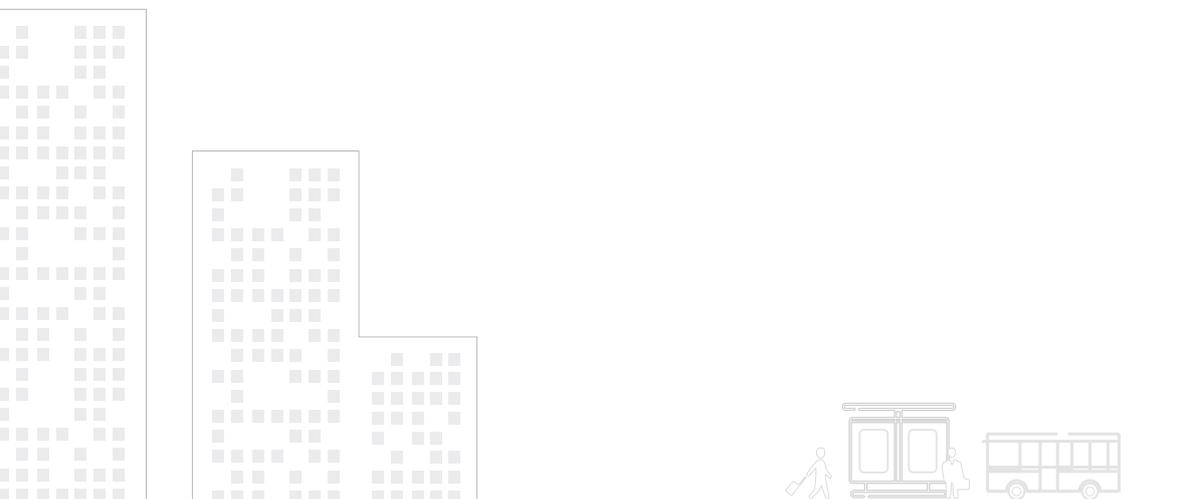
背景介绍

可持续城市和社区对于实现所有 17 个可持续发展目标至关重要。按照目前的增长速度，到 2030 年，世界上 60% 的人口将生活在城市中，到 2050 年，这一比例将接近 70%（United Nations, 2018）。快速城市化带来了巨大的和多方面的挑战，包括住房短缺导致贫民窟居民人数不断增加、交通拥堵、空气污染和污水增加、淡水供应不足、废物处理问题、基本服务和基础设施不足等。在全球城镇化背景下无计划的城市扩张使城市特别容易受到气候变化和自然灾害的影响。

为了解决这些挑战，联合国提出了 SDG 11：建设包容、安全、有抵御灾害能力和可持续的城市和人类住区，包括 7 个技术类具体目标和 3 个政策类具体目标，共 15 个指标。在这些指标中，13 个指标在监测与评估中面临数据缺失问题。另外，SDG 11 至少与其他 11 个 SDGs 相互关联，全部 SDGs 的 230 多个指标中约有三分之一可以在城市层面进行衡量。为了实现可持续发展目标，2016 年 10 月，联合国第三届住房和可持续城市发

展大会通过了指导未来二十年可持续城市发展的框架性文件——《新城市议程》。中国“十三五”规划明确要求推进新型城镇化，包括加快农业转移人口市民化、优化城镇化布局和形态、建设和谐宜居城市、健全住房供应体系和推动城乡协调发展。2016 年 2 月，作为《国家适应气候变化战略》组成部分的《城市适应气候变化行动方案》正式公布，规定中国的城市规划必须努力改善城市环境治理；2016 年 12 月，国务院发布《中国落实 2030 年可持续发展议程创新示范区建设方案》，迄今已在深圳市、太原市、桂林市、郴州市、临沧市、承德市建立可持续发展创新示范区。

本报告旨在面向中国和典型地区两个尺度，利用地球大数据方法监测与评估非正规住区（SDG 11.1.1）、公共交通（SDG 11.2.1）、城镇化（SDG 11.3.1）、城市灾害（SDG 11.5.1/SDG 11.5.2）、开放公共空间（SDG 11.7.1），并开展中国省域尺度 SDG 11 多指标综合评估。





主要贡献

为应对城市面临的住房短缺、交通拥堵、城镇化加剧、遗产地人类活动增加、空气污染加剧、基本城市公共服务缺乏与基础设施不足等诸多严峻挑战，充分发挥地球大数据的特点和技术优势（Guo *et al.*, 2020b），为中国

及全球提供 SDG 11 监测及评估经验。报告主要围绕六个指标开展 SDG 11 指标监测与评估，为全球贡献中国在 SDG 11 指标监测中的数据产品、方法模型、决策支持三个方面的成果（表 4-1）。

表 4-1 案例名称及其主要贡献

指标	指标层级	案例	贡献
11.1.1 居住在贫民窟和非正规住区内或者住房不足的城市人口比例	Tier I	中国城市主城区棚户区人口占比估算	数据产品：中国 27 个城市 2019 年棚户区矢量边界及人口占比数据 方法模型：提出一种基于深度学习语义分割模型的棚户区提取方法
11.2.1 可便利使用公共交通的人口比例，按年龄、性别和残疾人分列	Tier II	中国可便利使用公共交通的人口比例	数据产品：按年龄、性别分列的 2015、2018 年 1 km 分辨率中国可便利使用公共交通人口分布数据集
11.3.1 土地使用率与人口增长率之间的比率	Tier II	中国城镇化进程监测与评估	数据产品：1990~2018 年共 7 期中国 433 个城市建成区数据集 方法模型：提出“经济增长率与土地使用率之间的比率”新评价指标
11.5.1 每 10 万人当中因灾害死亡、失踪和直接受影响的人数	Tier II	中国减少灾害损失及促进脆弱区可持续发展状况监测	数据产品：2013~2019 年中国灾害损失评价指标数据；2009~2019 年玉树地震恢复重建及可持续发展状况监测产品 决策支持：展现中国大幅减少各种灾害造成的死亡 / 受灾人数和直接经济损失，有效推动灾害脆弱区可持续发展
11.5.2 灾害造成的直接经济损失（与全球国内生产总值相比）、重要基础设施的损坏和基本服务的中断次数		深圳市风暴潮灾害淹没影响评估	数据产品：2016 年风暴潮“妮妲”和 2018 年风暴潮“山竹”的深圳市 4 km 积水深度数据集 决策支持：针对风暴潮灾害，进行数字孪生，对不同强度的风暴潮进行模拟并评估造成的人口和经济影响
11.7.1 城市建设区中供所有人使用的开放公共空间的平均比例，按性别、年龄和残疾人分列	Tier II	中国城市开放公共空间面积比例	数据产品：2015 和 2018 年两期全国城市开放公共空间面积比例数据集
SDG 11 综合评估	Tier I / Tier II	中国省域尺度 SDG 11 多指标综合评价	数据产品：中国 340 个地级市多指标综合评价数据集 决策支持：为中国主要城市可持续性评估提供支持，为中国区域其他 SDGs 目标的综合评价提供参考



案例分析

中国城市主城区棚户区人口占比估算

对应目标： 11.1 到 2030 年，确保人人获得适当、安全和负担得起的住房和基本服务，并改造贫民窟。

成果亮点

- 采用国产高分 2 号（GF-2）卫星数据与先进的深度学习语义分割模型，首次实现 2019 年中国 27 个城市主城区棚户区空间范围提取与识别。
- 结果显示：2019 年中国 27 个城市主城区棚户区面积共计 124.49 km²，棚户区人口约 103.20 万人；东西部城市棚户区面积和人口占比差异显著，其中广州和海口棚户区人口超过 3%，西安、兰州和西宁棚户区面积超过 3%，这些城市面临较大的棚户区改造压力，急需有序进行更新和改造。

案例背景

快速城市化正在导致贫民窟居民数量增加、住房不足，基础设施服务负担过重，2018 年全球近 23.50% 的城市人口生活在贫民窟。特别是 2019 年爆发新型冠状病毒疫情对全球 10 亿以上贫民窟居民公共卫生造成严重打击（Sachs *et al.*, 2020）。城市非正规住区中的居住环境改善被认为是未来几十年城市可持续发展面临的主要挑战之一。同时，解决和改善非正规住区住房条件，估算 SDG 11.1.1 “贫民窟和非正规住区内的城市人口比例”是城市可持续性评估的核心指标（United Nations, 2015）。然而，当前全球非正规住区、贫民窟、棚户区等尚无明确的定义和标准（Wurm *et al.*, 2019）。巴西、印度及非洲国家的贫民窟（slum）与中国的棚户区（shantytown）在基础设施供给、人口居住密度、消防安全等级、公共卫生条件等各个方面差异巨大，概念和内涵也不尽相同。中国住房和城乡建设部、国家发展改革委、财政部等 7

部门《关于加快推进棚户区（危旧房）改造的通知》明确，城市棚户区（危旧房），指城市规划区范围内，简易结构房屋较多、建筑密度较大，使用年限久，房屋质量差，建筑安全隐患多，使用功能不完善，配套设施不健全的区域。本案例在上述《关于加快推进棚户区（危旧房）改造的通知》中对棚户区界定的基础上，参考联合国对非正规住区的定义，并结合高分辨率遥感影像上实际可观测到的棚户区特征将棚户区定义为：城市规划区范围内，建筑高度较低、建筑密度较大，斜路、断头路较多，使用年限久，配套设施不健全的区域。

目前，全国尺度尚无城市非正规住区面积和人口数量相关成果，因此，从可持续评价角度出发，急需探索一套符合联合国 SDG 11.1.1 “贫民窟和非正规住区内的城市人口比例”，并结合地球大数据的棚户区监测与评估指标体系。

所用数据

- ◎ 2019 年 0.8 m GF-2 融合影像；
- ◎ 2019 年 100 m WorldPop 人口数据；
- ◎ 中国基本城市土地利用（EULUC-China）；
- ◎ 2010 年中国第六次人口普查数据。

方法介绍

依照 SDG 11.1.1 的评价需求，构建 GF-2 高分辨率影像的多尺度棚户区识别方案，并采用 Deeplab V3+ 语义分割模型实现棚户区提取。首先，在 EULUC-China 的矢量单元上结合土地覆盖数据，计算了耕地、城镇和居民点比例。其次，通过阈值（耕地占比 < 0.01）筛选确定了中国城市主城区范围。借助 0.8 m 的 GF-2 融合影像，在不同城市局部进行目视采样，积累足够的样本。然后，结合语义分割模型和迁移学习方法对中国 27 个城

市的棚户区进行制图。最后，采用 WorldPop 人口数据，对主城区和棚户区人口进行统计，分别获得主城区人口（Population in Main Urban Districts, PMUD）和棚户区人口（Population in Shantytowns, PST），进一步得到棚户区人口占比（Proportion of Population in Shantytowns, PPST），具体计算公式为：

$$PPST = \frac{PST}{PMUD} \times 100\%$$

结果与分析

2019 年中国 27 个城市主城区棚户区面积为 124.49 km²，棚户区人口数量 103.18 万人（图 4-1）。对中国四大经济区分析表明：东部地区主城区棚户区面积为 44.06 km²，棚户区人口 57.83 万人；中部地区主城区棚户区面

积 21.48 km²，棚户区人口 18.29 万人；西部地区主城区棚户区面积 42.34 km²，棚户区人口 22.86 万人；东北地区主城区棚户区面积 16.61 km²，棚户区人口 4.20 万人。



图 4-1. 2019 年中国主要城市棚户区面积和人口数量整体差异



对 27 个城市分析发现，广州因外来务工人员和其他人员涌入，主城区棚户区人口数量较多（25.76 万人）；西安主城区因棚户区分散不集中，导致棚户区面积达到

19.81 km²。海口因老城区建设基础薄弱，城市发展不均衡，棚户区人口占比约 6%。旧工业城市哈尔滨的复杂建筑类型提升了改造难度，棚户区面积占比约为 2.5%（图 4-2）。

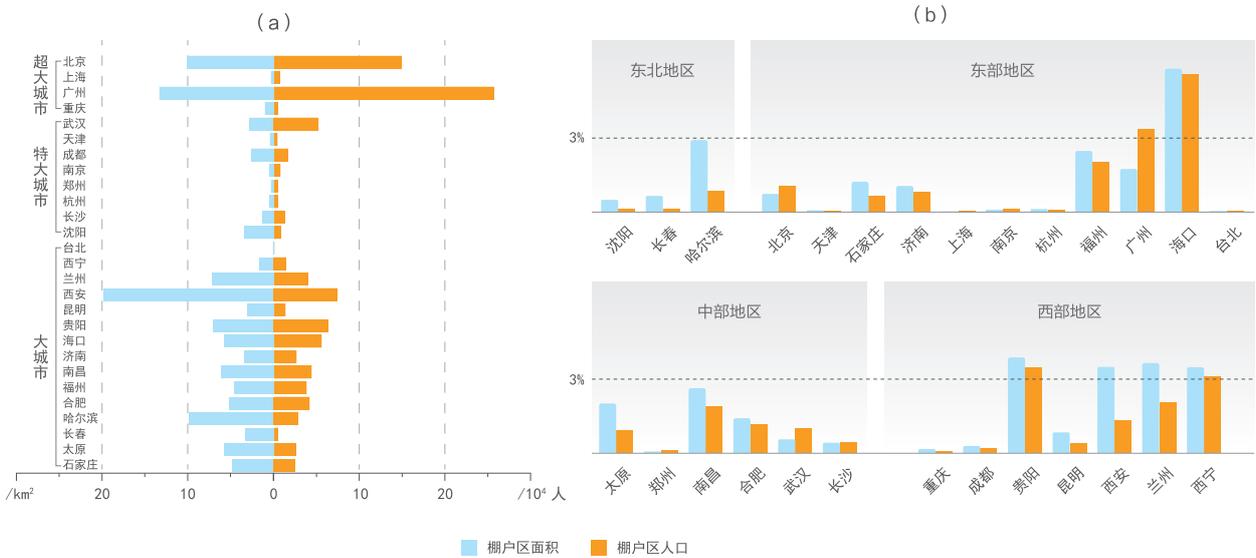


图 4-2. 不同区域主城区棚户区面积和人口数量 (a) 及占比 (b)

讨论与展望

案例基于高分辨率遥感数据与人口栅格数据，采用语义分割和迁移学习方法，实现了 2019 年中国四大经济区及 27 个城市主城区棚户区面积和人口估算。案例能够较为快速、准确地对城市棚户区人口数量进行估算，有

效地支撑 SDG 11.1.1 指标的实现。案例选用数据精度高，方法可靠，为中国城市棚户区改造与更新、世界其他国家非正规住区人口估算提供新方法 with 示范。

中国可便利使用公共交通的人口比例

对应目标：11.2 到 2030 年，向所有人提供安全、负担得起的、易于利用、可持续的交通运输系统，改善道路安全，特别是扩大公共交通，要特别关注处境脆弱者、妇女、儿童、残疾人和老年人的需要。

成果亮点

- 自主生产 2015 和 2018 年分性别、年龄段的高精度精细人口公里格网数据，解决 SDG 11.2.1 数据缺失问题。
- 2018 年全国城市建成区可便捷使用公共交通的人口比例平均为 80.56%，东部沿海及川渝地区高于全国其他地区；整体指标与 2015 年相比，全国约 80% 的城市出现不同程度增长，约 8% 的城市出现小幅下降。

案例背景

城市公共交通是城市交通不可缺少的部分，是保证城市生产、生活正常运转的动脉，是实现与教育、粮食安全、环境有关可持续发展目标的关键因素（Pojani and Stead, 2015）。根据联合国人居署的报告（United Nations, 2018），2001 年至 2014 年期间全球公共交通需求普遍增加，其中，中国的公共交通出行次数增幅最大。

中国大力实施公共交通优先发展战略，出台实施多项规划以完善城市公共交通顶层设计。然而传统的分析手段难以对复杂的公共交通空间网络进行获取和量化分析，也难以对公共交通发展与城镇化进程的匹配程度做出准确评估，因而需要借助地球大数据方法来进行处理（United Nations, 2015; Chen *et al.*, 2019; Deville *et al.*, 2014）。

所用数据

◎ 2015、2018 年中国公共交通网络（公交、地铁等）矢量数据；

◎ 2015、2018 年中国土地利用数据，100 m 分辨率；

◎ 2015 年全国 1% 人口抽样调查数据，2010 年全国人口普查数据；

◎ 2015、2018 年可见光红外成像辐射仪白天 / 夜晚波段（Visible Infrared Imaging Radiometer Suite Day/Night Band, VIIRS/DNB）数据、腾讯手机定位数据、数字高程模型（Digital Elevation Model, DEM）等。

方法介绍

基于人口抽样调查数据，获取各行政单元常住人口、性别比例及各年龄段人口比例。利用空间降尺度模型将行政单元总人口重分配至公里格网；而后对行政单元性别及年龄比例进行栅格化，并将其与格网化人口叠加，得到分性别、年龄段人口分布。

基于中国公共交通网络矢量图，提取具有空间属性的公共交通站点（公交、地铁等）数据，创建站点

500 m 缓冲区范围，叠加上述人口格网化数据，计算缓冲区覆盖的各性别各年龄段人口。

最后从土地利用数据中提取“城镇用地”类别，创建全国地级市建成区空间数据集，叠加上述人口图层，向地市、省市级尺度汇总并测算得到城市建成区范围内的可便捷使用公共交通人口比例。

结果与分析

2018年中国SDG 11.2.1指标省区市级尺度分布如图4-3所示。2018年全国城市建成区可便捷使用公共交通的人口比例平均为80.56%，东部沿海地区及川渝地区明显高于全国其他地区，其中重庆、北京、上海SDG 11.2.1指标最高，均达到90%以上；天津、四川及东南沿海省份广东、福建、浙江、江苏等次之，达到85%；青海、西藏全国最低。

分性别来看，全国各省区市SDG 11.2.1指标在性别上差异不大。分年龄段来看，除青海和西藏外各省区市各年龄段指标相对均衡，仅存在小幅差异：华南地区如贵州、湖南、广东，15~64岁指标高出其他年龄段4%~6%。北部和西部地区如黑龙江、辽宁、山西、甘肃、河北、四川、云南，15~64岁和65岁以上指标基本持平，但0~14岁指标略低，平均低2%~4%。

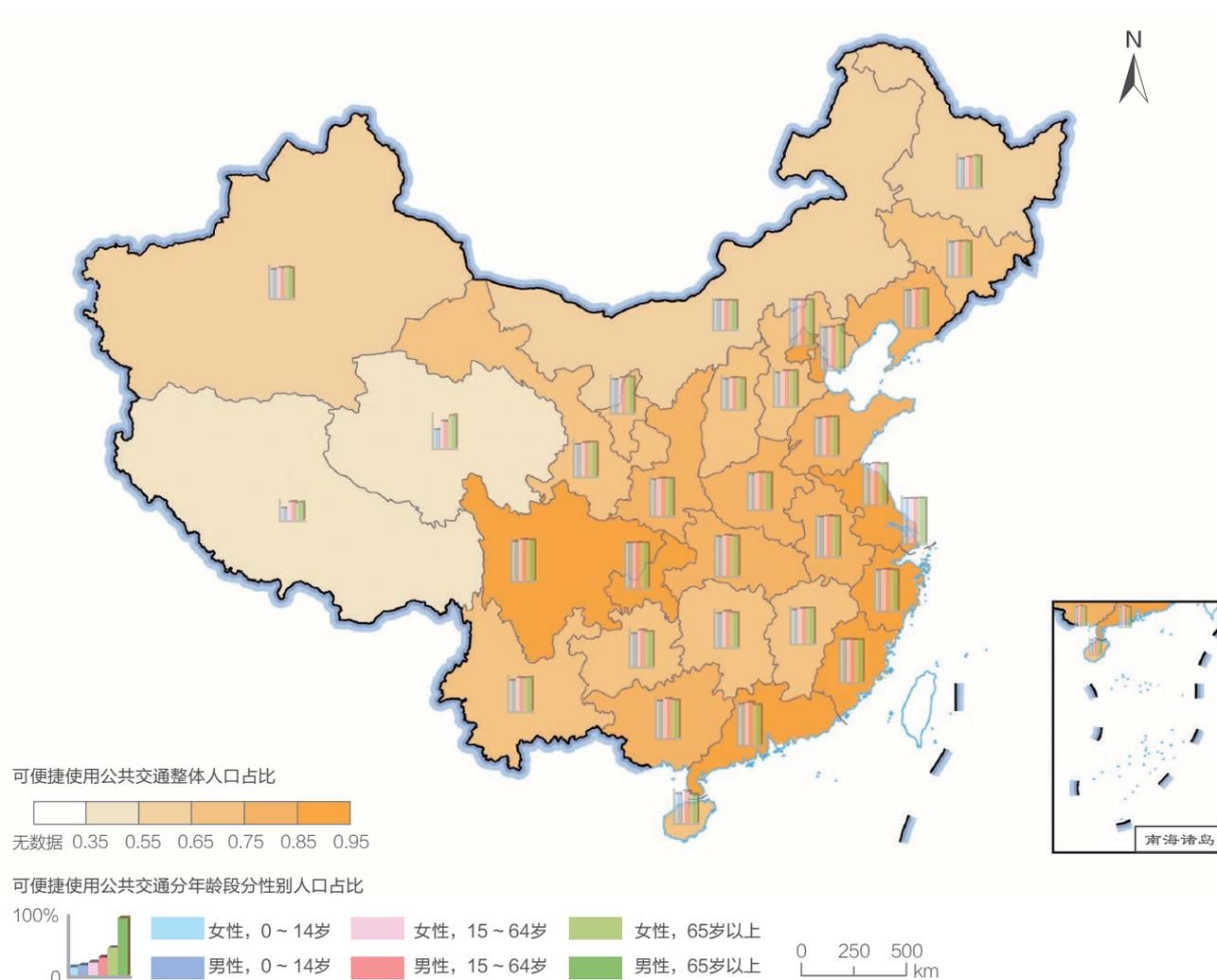
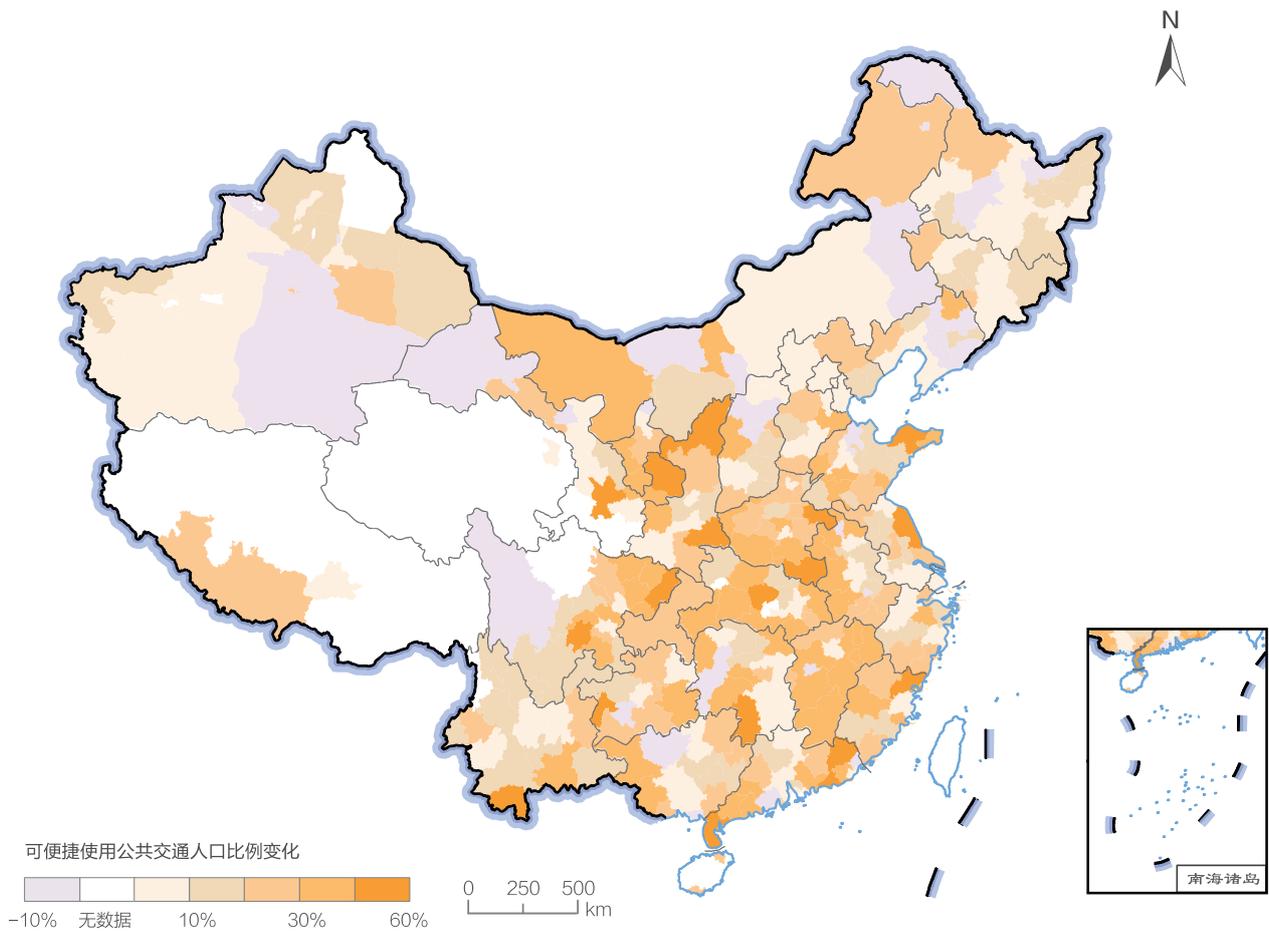


图 4-3. SDG 11.2.1 指标省区市级分性别、年龄段分布

从2015~2018年SDG 11.2.1指标地市级变化分布来看（图4-4），全国约80%的城市SDG 11.2.1指标出现增长，其中人口稠密且前期公共交通基础较弱的城市，公共交通发展最快；省级行政中心及经济相对发达的城

市，因公共交通基础条件较好，指标增长幅度相对较小。另有约8%的城市，由于建成区扩张而公共交通建设未能及时匹配，指标出现小幅下降。



↑ 图 4-4. 2015~2018 年 SDG 11.2.1 指标地市级变化分布

讨论与展望

案例基于公共交通矢量导航及高分辨率人口格网化等数据，实现了 2015、2018 年中国可便捷使用公共交通人口分布在格网尺度上的估算，实现了分性别、年龄段评估，并在地市、省区市级尺度上完成了 SDG 11.2.1 指

标多维数据对比。案例采用的方法较为简便易行，数据易于收集更新，为世界各国开展 SDG 11.2.1 的本国评价与国际对比提供了新方法。

中国城镇化进程监测与评估

对应目标： 11.3 到 2030 年，在所有国家加强包容和可持续的城市建设，加强参与性、综合性、可持续的人类住区规划和管理能力。

成果亮点

- 自主生产 1990~2018 年中国 433 个人口超过 30 万的城市不透水面产品。
- 探索提出新指标——经济增长率与土地使用率之间的比率（EGRLCR），扩展了 SDG 11.3.1 指标，实现从经济 - 社会 - 环境三个维度监测与评估中国城镇化进程。
- 自 1990 年以来，土地使用率与人口增长率之比（LCRPGR）和 EGRLCR 分别呈上升和下降趋势，LCRPGR 数值由 1990~1995 年的 1.33 升至 2010~2015 年的 2.15；2015 年以后，城市建成区扩张速度在减缓，但城镇化的协调发展仍面临挑战。

案例背景

SDG 11.3.1 指标——土地使用率与人口增长率之比（ratio of Land Consumption Rate to Population Growth Rate, LCRPGR）可用来量化城市用地扩张和人口增长的协调关系。据联合国统计，2000~2014 年期间，城市占地面积的增长速度是人口增长速度的 1.28 倍（United Nations, 2019）。度量城市人口变化与城市土地扩张之间

的关系对城市可持续性发展至关重要。但是 SDG 11.3.1 属于 Tier II，急需解决数据缺失的问题，且未考虑经济因素，无法全面衡量土地、人口和经济城镇化之间的协调度。因而需要借助地球大数据方法来准确刻画中国城镇化进程，统筹考虑环境、社会和经济因素，提高评估结果的准确性和科学性（Guo, 2019）。

所用数据

- ◎ 《世界城市化展望》1990~2018 年 7 期中国 433 个城市（人口大于 30 万）的城区人口数据；
- ◎ 自主生产 1990~2010 共 5 期全球 30 m 以及 2015

和 2018 年两期全球 10 m 城市不透水面产品；

- ◎ 来自中国国家统计局的人口和国内生产总值（GDP）数据。

方法介绍

参考联合国相关规范（United Nations, 2019），将城市不透水面转换为建成区。根据 LCRPGR，提出新指标——经济增长率与土地使用率之比（ratio of Economic Growth Rate to Land Consumption Rate, EGRLCR），计算公式如下：

$$\text{LCRPGR} = \frac{\text{LCR}}{\text{PGR}} = \frac{\text{LN}(\text{Urb}_{t+n}/\text{Urb}_t)}{\text{LN}(\text{Pop}_{t+n}/\text{Pop}_t)}$$

$$\text{EGRLCR} = \frac{\text{EGR}}{\text{LCR}} = \frac{\text{LN}(\text{GDP}_{t+n}/\text{GDP}_t)}{\text{LN}(\text{Urb}_{t+n}/\text{Urb}_t)}$$

其中, Urb_t 表示某城市在 t 年的建成区面积; Urb_{t+n} 表示某城市在 $t+n$ 年的建成区面积; Pop_t 表示该城市在 t 年的人口数量; Pop_{t+n} 表示城市在 $t+n$ 年的人口数量; GDP_t 表示某城市在 t 年的 GDP 产出; GDP_{t+n} 表示该城市在 $t+n$ 年的 GDP 产出。LCR、PGR 以及 EGR 分别表

示两个时期之间的土地使用率、人口和经济增长率。

在此基础上, 通过计算 LCRPGR 和 EGRLCR, 全面衡量土地、人口与经济城镇化之间的协调关系, 并从地域分异、人口规模、功能属性等多个角度, 对近 30 年以来中国城镇化进程的可持续性进行综合评估。

结果与分析

LCRPGR 和 EGRLCR 指标变化所反映的中国城镇化进程总体情况如图 4-5 所示。在 1990~2015 年期间, 伴随着人口和经济增长速度的放缓以及城市用地需求的快速增长, LCRPGR 和 EGRLCR 分别呈上升和下降趋势, 城镇化的协调发展面临严峻挑战。2015 年后, 随着《国家新型城镇化规划(2014—2020 年)》的逐步深入实施, 各级政府推行的一系列旨在提高城镇化质量的措施初见成效, 新增城市用地面积显著减少, 土地使用率长期超过人口增长率甚至逼近经济增长率的局面得到改善。

→ 图 4-5. 1990~2018 年中国城市 LCRPGR (a) 和 EGRLCR (b) 指标总体变化



中国城市 LCRPGR 指标时空演化结果如图 4-6 所示。统计分析可知, 城市建成区的急剧扩张态势在 2015 年以后得到有效控制, 但城镇化的协调发展仍面临压力。东北和西部地区指标呈现快速增长之势, 而中部和东部地区的指标保持相对稳定; 超大城市指标变化较为稳定, 而特大城市在多个时间段里, 指标数值都显著高于其他类型城市; 资源型城市的指标数值在大多数时段里都高于非资源型城市。上述情况说明东北和西部省区市、特大城市和资源型城市的城镇化失衡问题值得重点关注。

由中国城市 EGRLCR 指标时空演化结果分析可知,

土地使用率和经济增长率之间的差距在缩小, 但土地与人口、经济发展失衡问题依然存在。资源型城市集中分布的地区指标下降趋势明显, 而东部地区仅在较小范围内波动; 超大城市比其他类型城市指标变化更加平稳; 非资源型城市比资源型城市指标数值更加接近于中国城市的均值。上述情况说明位于东部地区的超大城市和非资源型城市在抵御经济风险以及协调推进城镇化方面具有更大的优势, 而其他类型城市则面临人口城镇化和经济转型的双重压力。

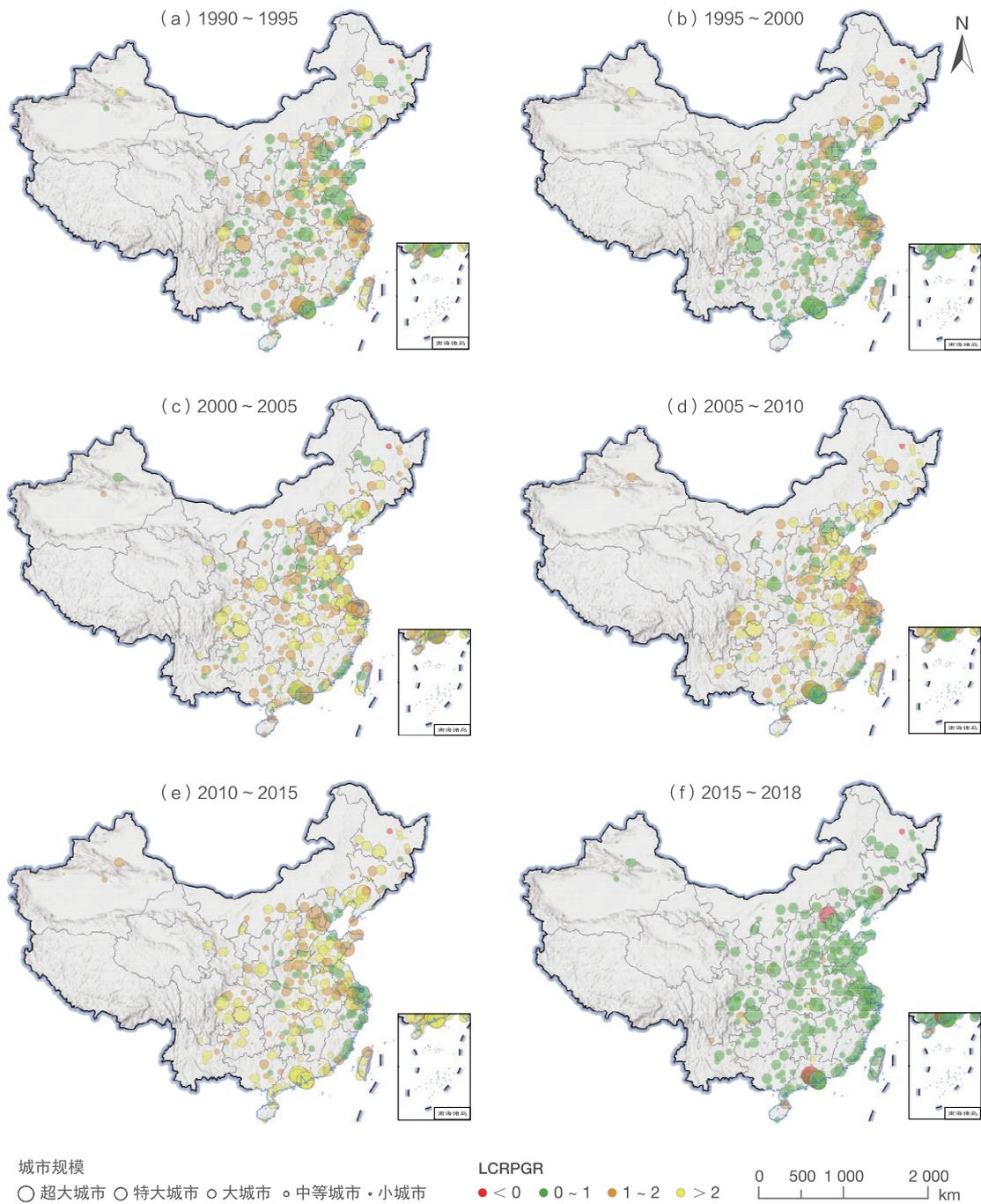


图 4-6. 1990~2018 年中国城市 LCRPGR 时空演化

讨论与展望

本案例利用多源遥感数据生产中国 433 个人口超过 30 万城市 1990~2018 年城市不透水面产品，并将其转换为该指标所需要的建成区数据集；提出经济增长率与土地使用率之间的比率 (EGRLCR) 新的评价指标；采用常规统计和地球大数据相结合的方法，通过计算 LCRPGR 指标和 EGRLCR 指标，从经济、社会和环境三个维度分

析中国城镇化时空分异规律和评价中国城镇化进程。未来计划采用国际开放数据资源，以自主生产的全球城市不透水面产品为基准，实现建成区范围内人口和经济数据的空间耦合，并改进土地、人口和经济城镇化之间协调关系的量化方法，在全球尺度上开展城镇化进程的监测与评估工作。

中国减少灾害损失及促进脆弱区可持续发展状况监测

对应目标：11.5 到 2030 年，大幅减少各种灾害造成的死亡和受灾人数，大幅减少上述灾害造成的与全球国内生产总值有关的直接经济损失，重点保护穷人和处境脆弱群体。

成果亮点

- 中国自然灾害损失整体显著下降，其中每十万人因灾死亡及失踪人数由 2013 年的 0.17 降低到 2019 年的 0.06，每十万人受灾人数由 2013 年的 28 739.87 降低到 2019 年的 9 285.71，灾害直接经济损失占国内生产总值比重由 2013 年的 0.98% 降低到 2019 年的 0.33%。

案例背景

本世纪，城市化发展和社会经济增长速度逐渐加快，灾害问题已成为区域可持续发展的主要限制因素。在联合国 2030 年可持续发展议程框架内，“大幅减少各种灾害损失，重点保护穷人和处境脆弱群体”是促进区域可持续发展的重要指标之一，得到中国政府积极响应。正

在实施的《国家综合防灾减灾规划（2016—2020 年）》目标中就包含相关指标。中国加大了对西部经济落后，特别是发生过重大灾害区域的防灾减灾和恢复重建，有效促进了灾害脆弱区域的可持续发展。

所用数据

◎ 2009~2019 年多源遥感数据：高分一号、高分二号、北京二号等卫星遥感数据以及航空遥感数据；

◎ 2009~2019 年统计、公报数据：中国区域、县域、城市、人口、民政等统计年鉴，青海、甘肃等统计年鉴，

应急管理部、民政部、国家减灾委办公室会同其他相关部门对全国自然灾害情况会商核定数据，中国水旱灾害公报，全国地质灾害通报等；

◎ 2019 年玉树地震灾后恢复重建区考察数据。

方法介绍

本案例采用统计和空间数据协同方法对灾害损失变化、社会经济发展开展多维度精细监测；采用深度学习方法开展灾害脆弱区灾害体状况、治理工程进展、房屋

建筑分布与交通设施修建等目标提取；采用长时间序列卫星遥感参数反演方法开展生态环境状况动态监测。

结果与分析

1) 中国灾害损失变化动态监测

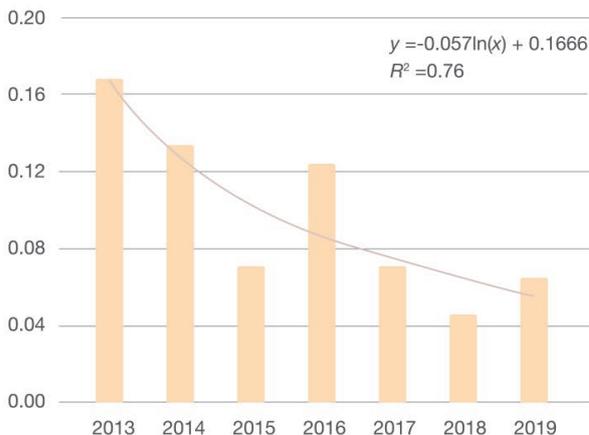
综合灾害损失、人口、经济统计数据的监测结果显示：中国自然灾害损失整体显著下降（图 4-7）。其中每十万人因灾死亡及失踪人数由 2013 年的 0.17 降低到 2019 年

的 0.06，每十万人受灾人数由 2013 年的 28 739.87 降低到 2019 年的 9 285.71，灾害直接经济损失占国内生产总值比重由 2013 年的 0.98% 降低到 2019 年的 0.33%。各项评价损失指标都大幅减少。

(a) 中国灾害损失指标统计

年份	每十万人死亡及失踪人数	每十万人受灾人数	直接经济损失占比
2013	0.17	28 739.87	0.98%
2014	0.13	17 595.31	0.53%
2015	0.07	13 858.50	0.39%
2016	0.12	13 778.10	0.68%
2017	0.07	10 101.01	0.37%
2018	0.05	9 332.38	0.29%
2019	0.06	9 285.71	0.33%

(b) 中国每十万人死亡及失踪人数动态变化



(c) 中国每十万人受灾人数动态变化



(d) 中国因灾直接经济损失占 GDP 比重动态变化

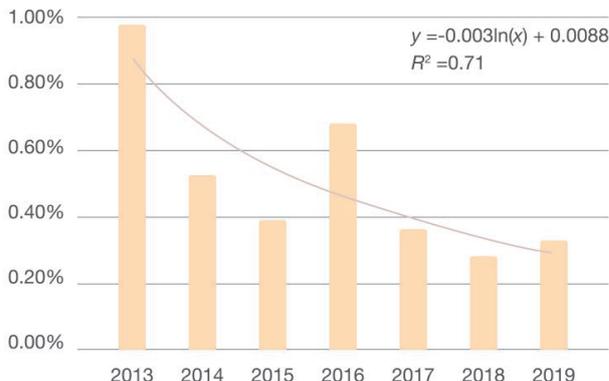


图 4-7. 中国自然灾害损失变化图（不包含港澳台地区）

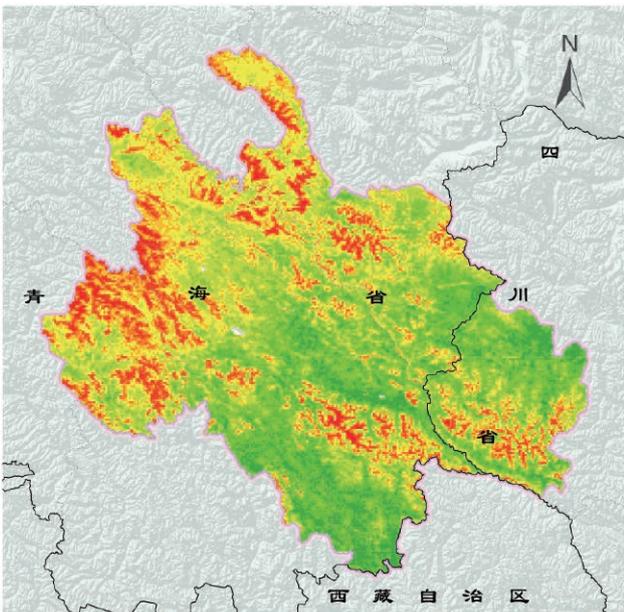
2) 中国促进灾害脆弱区可持续发展状况监测

中国西部地域辽阔，多民族聚居，贫困人口集中，灾害频繁。2010 年玉树地震和舟曲泥石流、2017 年九寨沟地震的发生，给当地可持续发展带来严重影响。利用地球大数据开展跟踪监测，评估结果显示政府通过实施强化防灾减灾工程、提高居民住房质量等措施，有效促进了这些灾害脆弱区的可持续发展。以玉树地震灾后恢复重建区为例，简要介绍本区域可持续发展的动态监测情况（表 4-2 和图 4-8）。

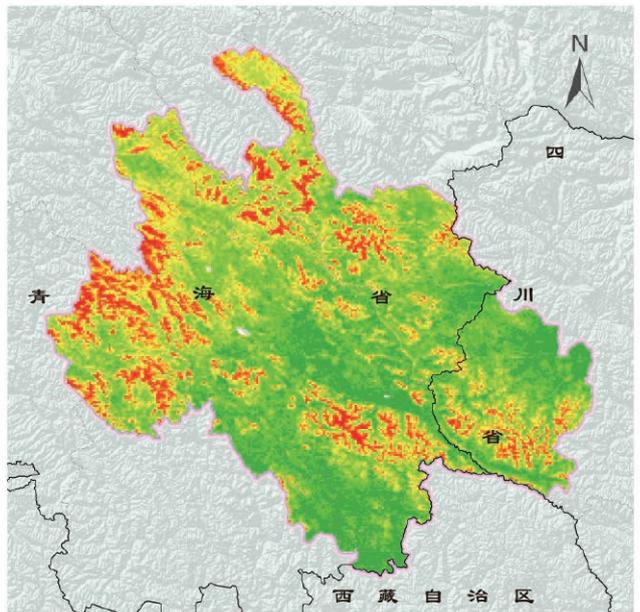
促进可持续发展措施	玉树地震灾后恢复重建区可持续发展状况
1. 强化防灾减灾工程	区域内 18 条泥石流隐患区和 4 段不稳定斜坡治理工程，11.75 km 的巴塘河堤防和 9.65 km 的扎西科河堤防工程都顺利完工。截至 2019 年底没有发生大规模地质和洪水灾害，灾害防治效果显著
2. 提高居民住房质量	城镇居民住房和农牧民住房质量都得到极大的提升，292 个农牧民住房集中建设点的基础设施配套齐全
3. 加强基础设施建设	共玉高速、国道 214 线、省道 308、省道 309 线陆续建成和恢复通车，州县二级油路全部覆盖
4. 完善公共服务能力	玉树地震遗址纪念馆、文成公主庙、禅古寺等文化和宗教设施得到修缮与保护 卫生机构床位数相比灾前提升 3.3 倍，各种社会福利收养性单位床位数相比灾前提升 8.4 倍
5. 推动生态环境保护	通过封山育林等系列工程，灾区生态环境得到较好的修复，区域内植被总初级生产力（GPP）平均值相比灾前提升约 40%
6. 促进特色产业发展	牦牛、黑青裸等特色农牧业产业不断做大做强，文化旅游产业得到大力发展，百姓基本实现全员脱贫

表 4-2 中国促进灾害脆弱区可持续发展措施及效果（以玉树地震灾后恢复重建区为例）

(a) 灾害发生后2011年植被总初级生产力 (GPP) 分布



(b) 重建区2019年GPP分布

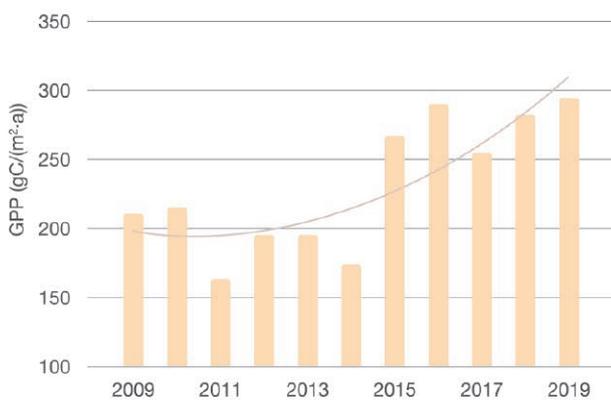


GPP (gC/(m²·a))

■ < 50
 ■ 50 ~ 100
 ■ 100 ~ 150
 ■ 150 ~ 200
 ■ 200 ~ 250
 ■ 250 ~ 300
 ■ 300 ~ 350
 ■ 350 ~ 400
 ■ ≥ 400

0 20 40 80 km

(c) 重建区GPP年均变化



(d) 重建区7县GPP各自年均变化



↑ 图 4-8. 玉树地震灾后恢复重建区植被恢复状况动态监测

讨论与展望

近年来,中国城市和人类住区综合防灾减灾能力得到明显提升,自然灾害损失整体显著下降。但中国复杂的孕灾环境叠加频发的极端气象水文事件,为继续大幅减少灾害造成的损失、保障西部等脆弱区可持续发展,

带来严峻挑战。大力推动先进技术和可持续发展理论的综合应用,加强灾害发生、发展机理研究,打通灾害预测、预警、监测、评估和治理的技术瓶颈,是今后重要的推进方向。

深圳市风暴潮灾害淹没影响评估

对应目标：11.5 到 2030 年，大幅减少包括水灾在内的各种灾害造成的死亡人数和受灾人数，大幅减少上述灾害造成的与全球国内生产总值有关的直接经济损失，重点保护穷人和处境脆弱群体。

成果亮点

- 对深圳市历史风暴潮 2016 年“妮姐”、2018 年“山竹”进行了模拟，获得平均准确率为 90.68% 的城市积水数据。
- 建立深圳市风暴潮数字孪生评估系统，评估风暴潮灾害在深圳市区域受影响 / 受伤 / 死亡人口和直接经济损失。
- 大鹏新区、宝安区、南山区及福田区存在大量海水涌入问题。为减少灾害损失，可为行政区沿海增建防洪堤，并提前加设防汛沙袋。

案例背景

随着中国沿海地区人口密度的增加和经济的迅猛发展，风暴潮灾害造成的损失呈上升趋势，已成为影响深圳等沿海城市社会和经济可持续发展的最严重的自然灾害之一。当前，风暴潮灾害直接经济损失和影响人数评估存在三方面的困难：①高分辨率历史基础数据缺少；

②传统方法过于依赖统计数据；③影响因素种类较多。为此，基于地球大数据，采用风暴潮灾害数字孪生方法，将数值模拟模型和专家知识评估模型有机结合，对于实现快速评估深圳市风暴潮灾害造成的直接经济损失和受灾人数，并提供针对性防灾决策具有重要意义。

所用数据

- ◎ 美国国家海洋和大气管理局高精度海岸线数据；
- ◎ 美国国家航空航天局 1/8 度交叉定标多平台（Cross-Calibrated Multi-Platform, CCMP）风场数据；
- ◎ 美国国家海洋和大气管理局 1/60 度水深数据；
- ◎ 俄勒冈州立大学 1/30 度调和常数数据；
- ◎ 2018 年 10 m 全国土地分类数据（Gong et al., 2019）；
- ◎ OpenStreetMap 行政边界数据；
- ◎ 中国气象局统计台风路径；
- ◎ 100 m WorldPop 人口数据；
- ◎ 工程造价指数、深圳统计年鉴；
- ◎ 广东蛇口港和盐田港验潮站潮汐数据。

方法介绍

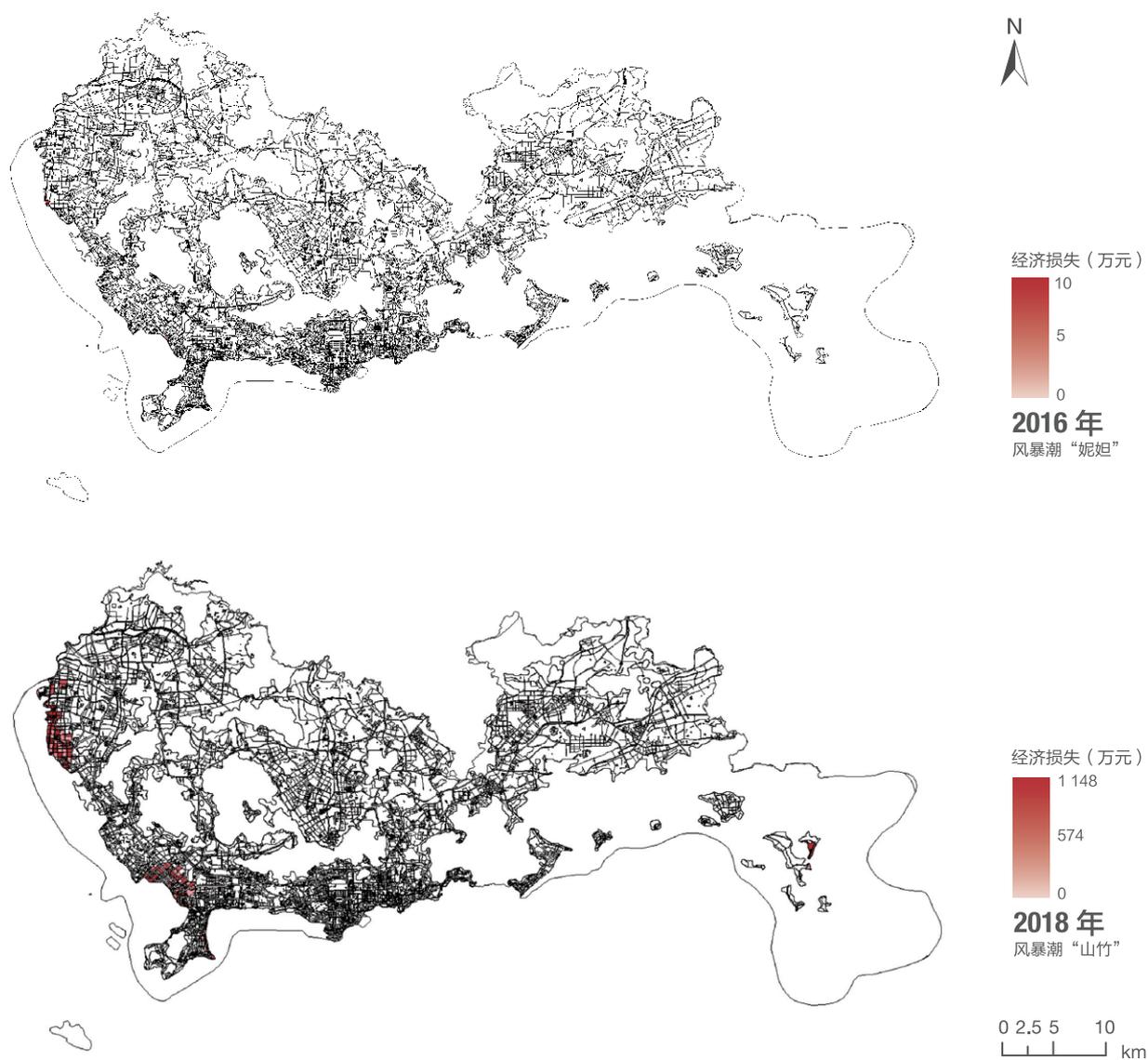
聚焦 SDG 11.5 中直接经济损失和影响、死亡人口指标，建立评估系统，具体过程如下：首先采用无结构三角形网格架构、有限体积、自由表面、三维原始方程海洋数值模型进行数字孪生，计算积水深度分布，以弥补历史积水数据缺失；接着采用由国家自然灾害综合研究

组提出的经济损失评估模型，通过评估单个受灾体的损失率以及单位价值，累加以定量估算总体直接经济损失；最后采用由英国水力研究院提出的受灾人口评估模型，建立损失人口与城市内积水特征、城市特征、人口特征关系，以定量评估受灾、死亡人数。

结果与分析

针对广东省登陆的2016年8月2日风暴潮“妮妲”和2018年9月16日风暴潮“山竹”，模拟深圳市积水分布，与蛇口港验潮站（东经113°53′，北纬22°28′）和盐田港验潮站（东经114°16′，北纬22°35′）记录潮位数据进行比较，准确率分别为87.86%和93.51%，平均准确率为90.68%。

直接经济损失评估结果如图4-9所示。模拟结果“妮妲”直接经济损失36.79万元，“山竹”直接经济损失2.65亿元。广东省海洋与渔业厅统计“妮妲”直接经济损失为36万元，广东省自然资源厅统计“山竹”直接经济损失为2.55亿元，模拟准确。



↑ 图 4-9. 2016 年“妮妲”、2018 年“山竹”基于经济损失评估模型评估深圳直接经济损失图

受灾人口分布评估结果如图 4-10 所示。模拟结果“妮妲”受灾人数为 1.86 万人，受伤 24 人，无死亡；“山竹”受灾人数为 2.81 万人，受伤 41 人，无死亡。广东省海洋与渔业厅统计“妮妲”受灾人数为 1.83 万人，并未在深圳市区域造成人员死亡。中国应急管理部统计“山竹”造成广东、广西、海南、湖南和贵州 5 省区共计 5 人死亡，在深圳市未造成人员死亡，模拟结果准确。

深圳市宝安区、南山区及福田区，由于地理位置邻接海、地势较低，是在灾害中直接经济损失和受灾人数集中区域。大鹏新区也存在大量海水涌入问题，但由于目前该区域以山为主，未造成太多损失。为减少风暴潮灾害所导致的损失，需要对宝安区、南山区以及福田区的防洪堤进行强化，并增设防洪沙袋。

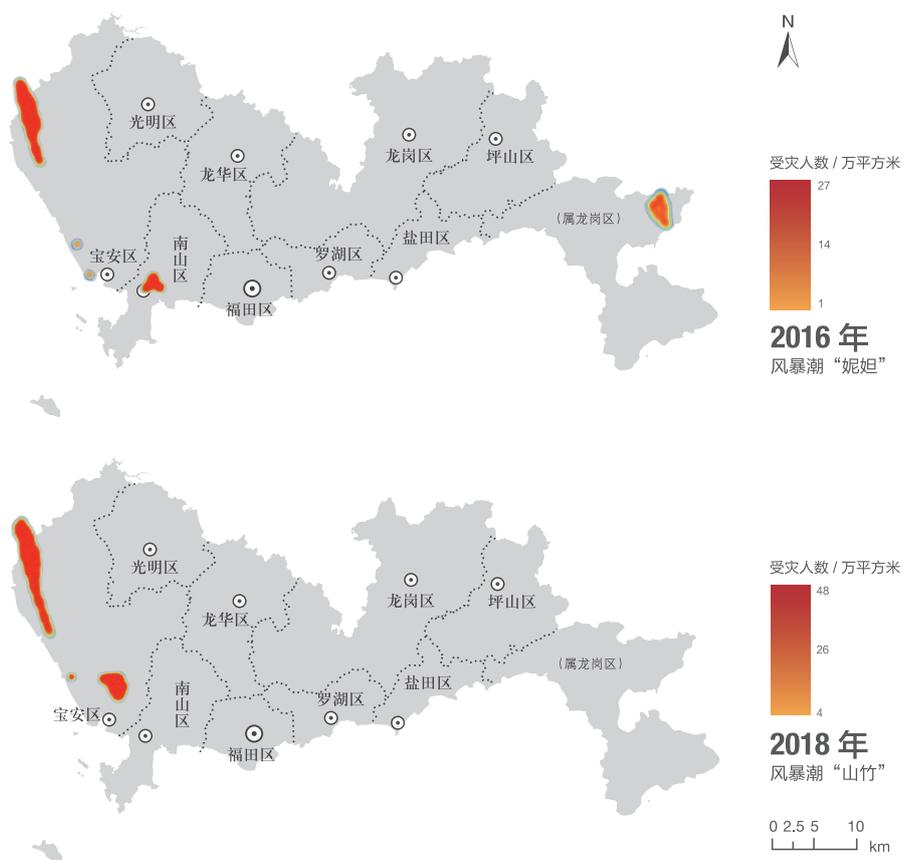


图 4-10. 2016 年“妮妲”、2018 年“山竹”基于受灾人口评估模型评估深圳受灾人数分布图

讨论与展望

案例针对深圳市历史发生的风暴潮灾害 2016 年“妮妲”、2018 年“山竹”，基于地球大数据，结合海洋数值模拟模型及专家经验评估模型，根据 SDG 11.5.1 和 SDG 11.5.2 指标，评估了深圳区域在灾害中的直接经济损失，受影响、受伤和死亡人口，为深圳市区域的风暴潮灾害防灾工作提供决策建议。

为未来提供更加全面的防灾决策支持，未来工作主要包括两个方面：①模拟更多给深圳市造成严重威胁的风暴潮灾害；②设计不同强度的风暴潮进行模拟，并且对深圳市的直接经济损失和受灾人数进行评估，以对易受灾区域进行预警，辅助城市发展决策支持。

中国城市开放公共空间面积比例

对应目标：11.7 到 2030 年，向所有人，特别是妇女、儿童、老年人和残疾人，普遍提供安全、包容、便利、绿色的公共空间。

成果亮点

- 2018 年，中国各省区市城市建成区公共空间面积平均比例为 19.50%（不含港澳台），比 2015 年（17.98%）增加了约 1.5 个百分点。
- 城市尺度，近 50 个城市公共空间面积比例超过 20%。胡焕庸线东南侧公共空间规模大于西北侧。京津冀、长三角、珠三角、成渝、滇中等城市群公共空间规模高于周边城市。

案例背景

对城市开放公共空间的监测与评价，有助于推动城市空间转型和品质提升，促进城市可持续发展。SDG 11.7.1 界定的公共空间主要包括公共绿地和城市道路，公共绿地与人们宜居生活和健康密切相关，而城市道路面积与城市繁荣程度直接关联。联合国人居署负责其全球评价，《城市扩张地图集》分析了全球选定城市的 95 406 km² 建成区，发现 59% 被城市公共空间占据，街道占据近一半。

《中国落实 2030 年可持续发展议程进展报告（2019）》指出，截至 2018 年，共建绿道 5.6 × 10⁴ km，城市人居环境大幅提升。但是该指标尚无全国尺度的监测评价成果。本报告采用 UN SDGs 的设计方法，开展 2018 年中国 SDG 11.7.1 进展评估，并与 2015 年对比，为中国 SDG 11.7.1 的监测及落实提供支持。

所用数据

◎ 2015 年 SDG 11.7.1 评估结果数据（Guo *et al.*, 2019）；

◎ 2018 年中国土地覆盖数据；

◎ 2018 年中国城市导航矢量数据；

◎ 中国地级城市统计年鉴。

方法介绍

从土地覆盖数据提取“城镇用地”亚类构建建成区，从导航矢量提取公共空间数据（公园绿地、广场、道路）。评价过程：①定义 Generate Fishnet 函数，利用栅格网格转化法生成全国公里网格；②公园绿地和广场空间数据叠加全国网格，生成其公里网格空间数据；③依据道路

建设宽度规范，将高速、省道、县道、乡镇道路和城市其他道路转换为面数据，叠加全国网格生成公里网格道路空间数据；④将道路与公园绿地和广场数据加和后除以建成区面积得到公共空间面积比例；⑤通过空间统计分析将结果由公里网格尺度向县、市、省和全国尺度转换。

结果与分析

开展了中国地级城市 2018 年开放公共空间评价。城市尺度，近 50 个城市公共空间面积比例超过 20%。北京、

深圳和厦门的比例最大，超过 30%，其中城市道路面积比例超过 25%。从空间格局看（图 4-11），胡焕庸线东

南侧城市的公共空间面积比例普遍大于西北侧，体现了显著的区域差异。从城市群看，京津冀、长三角、珠三角、成渝、滇中等城市群公共空间规模普遍高于周边，表现出明显的“集聚化”特征。

2018年，各省区市城市建成区开放公共空间面积平均比例为19.50%（不含港澳台），比2015年（17.98%）增加约1.5个百分点。其中，广东和北京比例最高，为28.60%，广西最低，仅为11.16%。2015~2018年，除北京、重庆、四川、福建和湖北外，全国各省区市公共空间面积比例均小幅增加（图4-12）。城市建成区和以城市广场、公园和道路为主的公共空间面积均有所增加。随城市化进程渐缓，公共空间增幅相对较大，反映出中国在城市建设中更加注重公共空间的规划与完善。

城市公共空间面积比例随城市规模扩大而增大，超大型城市的公共空间面积比例大于小城市；随经济发展水平提升而增大，发达城市公共空间面积比例大于不发达城市。分析表明，经济发展、居民生活、城镇化率和人口规模是公共空间的重要影响因素。

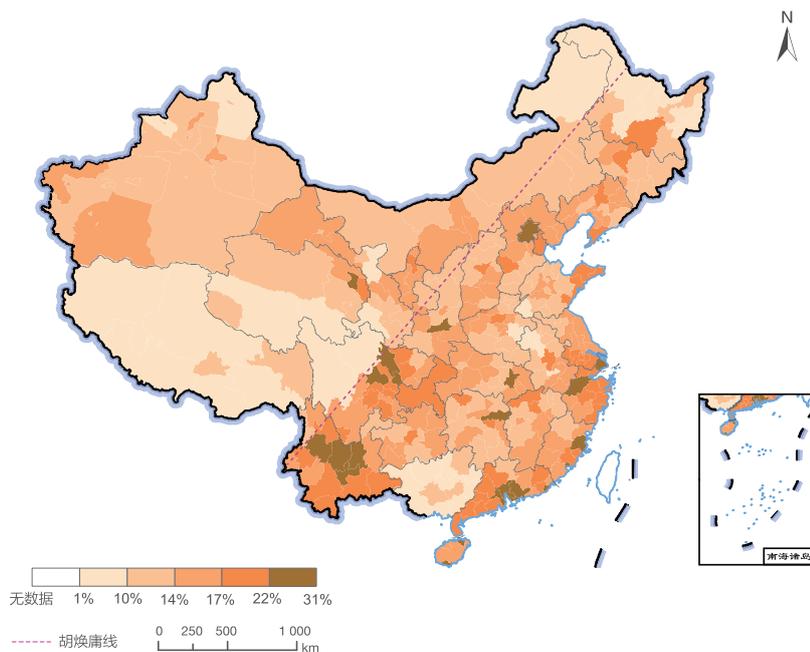


图 4-11. 2018 年中国地级城市开放公共空间面积比例

讨论与展望

依据 SDG 11.7 界定的城市开放公共空间内涵，采用导航和土地覆盖数据，对比评价了 2015 和 2018 年两期中国城市开放公共空间。案例实现了对中国城市 SDG 11.7.1 的变化监测，方法简便易行，数据亦不难获取。

案例方法解决了 SDG 11.7.1 的核心评价内容，但对不同性别、年龄和残疾人分类的公共空间仍难以评价。且方法对城市建成区的定义及数据精度敏感，采用的基于建设用地的建成区数据存在一定误差，未来需进一步完善。

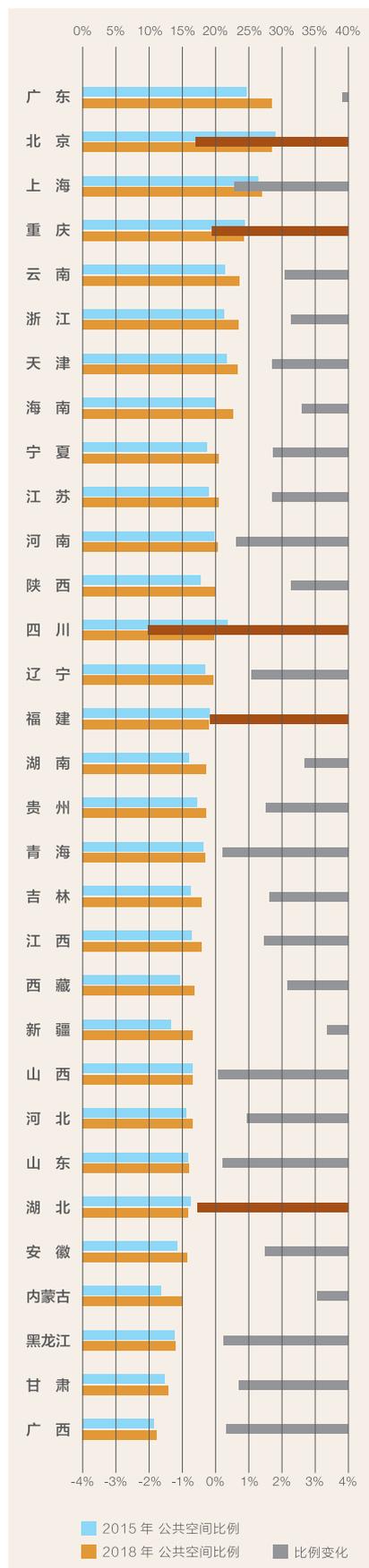


图 4-12. 中国省级尺度城市开放公共空间面积比例变化

中国省域尺度SDG 11多指标综合评价

- 对应目标：** 11.2 到 2030 年，向所有人提供安全、负担得起的、易于利用、可持续的交通运输系统，改善道路安全，特别是扩大公共交通，要特别关注处境脆弱者、妇女、儿童、残疾人和老年人的需要。
- 11.3 到 2030 年，在所有国家加强包容和可持续的城市建设，加强参与性、综合性、可持续的人类住区规划和管理能力。
- 11.5 到 2030 年，大幅减少包括水灾在内的各种灾害造成的死亡人数和受灾人数，大幅减少上述灾害造成的与全球国内生产总值有关的直接经济损失，重点保护穷人和处境脆弱群体。
- 11.6 到 2030 年，减少城市的人均负面环境影响，包括特别关注空气质量，以及城市废物管理等。
- 11.7 到 2030 年，向所有人，特别是妇女、儿童、老年人和残疾人，普遍提供安全、包容、便利、绿色的公共空间。

成果亮点

- 综合利用地球大数据和国家统计数据，针对 SDG 11 的 5 个具体目标 7 个指标，首次在省域尺度开展 SDG 11 综合评价。
- 相比 2015 年，2018 年总体可持续性表现较好，东部省级行政区的 SDG 11 综合指数高于西部省级行政区；2018 年有 28 个省级行政区 SDG 11 综合指数增长，3 个省级行政区综合指数减小，SDG 11 综合指数平均值由 0.58 增长到 0.65。

案例背景

目前，可持续发展解决方案网络（Sustainable Development Solutions Network, SDSN）利用等权重的方法计算了全球各个国家 17 个可持续发展目标的综合指数（Sachs *et al.*, 2019）。Xu 等（2020）采用同样的方法计算中国各个省级行政区 17 个可持续发展目标的综合指

数。本案例根据数据的可获取性，围绕 SDG 11 的 5 个具体目标 7 个指标开展 2015 和 2018 年省级尺度的综合评估。识别出每个省级行政区亟待关注的指标和具体目标，为 2030 年实现可持续发展目标进程提供参考。

所用数据

- ◎ 中国区域公共交通信息数据；
- ◎ 土地使用率与人口增长率之间的比率数据产品；
- ◎ 中国统计年鉴灾害数据；
- ◎ 中国城市统计年鉴；
- ◎ PM_{2.5} 年平均产品；
- ◎ 土地利用数据；
- ◎ 人口公里网格数据；
- ◎ 中国城市建成区公共空间面积数据产品。

方法介绍

1) 指标无量纲化

为了消除各指标数据由于量纲不同、自身变异或者数值相差较大所引起的误差,需要对数据进行标准化处理:

$$x = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}$$

所有指标进行无量纲化到(0, 1),越接近0,表现越差;越接近1,表现越好。各指标进行无量纲化时下限值的选取,根据经济合作与发展组织(Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD)和JRC提出的取位于数据底部P_{2.5}处的值作为无量纲化下限值,以消除异常值对结果的影响;上限值的选取方法借鉴2019年可持续发展报告(Sachs et al., 2019)和Xu等(2020)研究中的方法。

2) 综合指数计算

根据2019年可持续发展报告中计算综合指数的方法

(Lafortune et al., 2018)来计算:

$$I_i(N_i, N_{ij}, I_{ijk}) = \frac{1}{N_i} \sum_{i=1}^{N_i} \frac{1}{N_{ij}} \sum_{k=1}^{N_{ij}} I_{ijk}$$

其中, I_i 表示城市 i 的 SDG 11 综合指数; N_i 表示城市 i 的子目标数; N_{ij} 表示城市 i 的子目标 j 下的指标数; I_{ijk} 表示城市 i 的子目标 j 下的指标值。

3) 量化具体目标的发展进程

为了评估某一个省级行政区在某一具体目标上的进展,将指标划分为四个等级,分别用绿色、黄色、橙色和红色表示,生成可持续发展目标指示板(Lafortune et al., 2018)。绿色的边界是每个指标可以达到的最大值(即上限值),从黄色到橙色和红色的三个颜色表示距离可持续发展目标的实现越来越远,红色所对应的是指标的下限值。这里的上限值和下限值与无量纲化的相同。

结果与分析

1) SDG 11 综合指数

图4-13显示了省域尺度SDG 11综合指数空间分布。总体而言,东部省级行政区SDG 11综合指数明显高于西部省级行政区。相比2015年,2018年有28个省

级行政区综合指数增长,3个省级行政区综合指数减小,SDG 11综合指数平均值由0.58增长到0.65;综合指数小于0.6的省级行政区由20个减少到8个,而综合指数大于0.68的省级行政区由8个增加大10个。

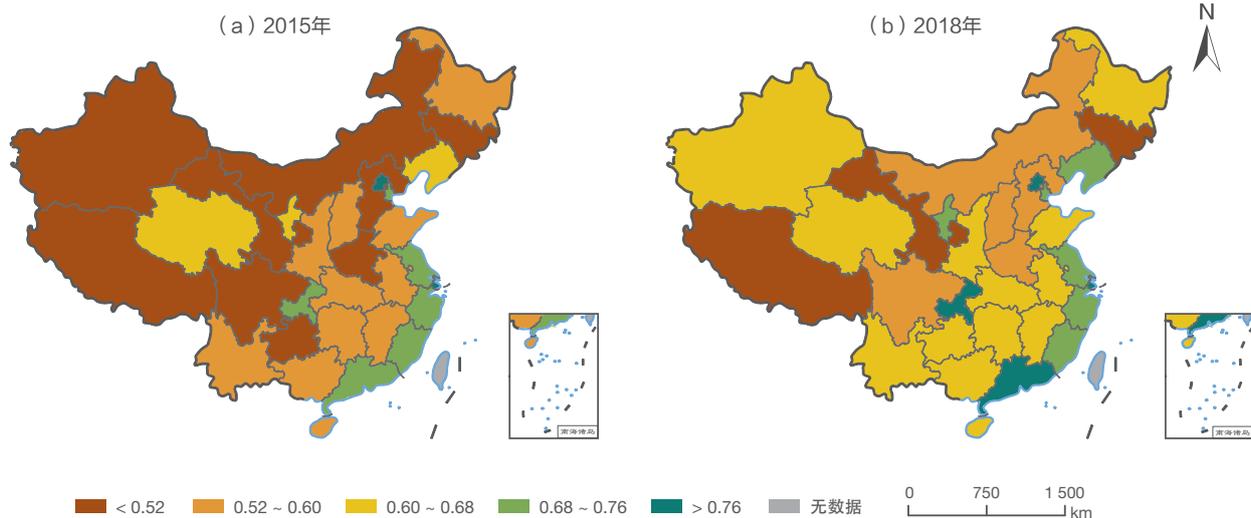


图4-13. 省域尺度SDG 11综合指数空间分布

2) 具体目标的可持续发展进程

图4-14显示了2015和2018年度中国省域尺度可持续发展目标指示板。从整体来看,SDG 11.3实现程度较好,而SDG 11.6实现程度较差。东部省级行政区的SDG 11.2

和SDG 11.3实现程度较好,而中西部地区SDG 11.5实现程度较差。各省级行政区在继续保持实现程度较好的目标的同时,应该重点关注实现程度较差的目标。

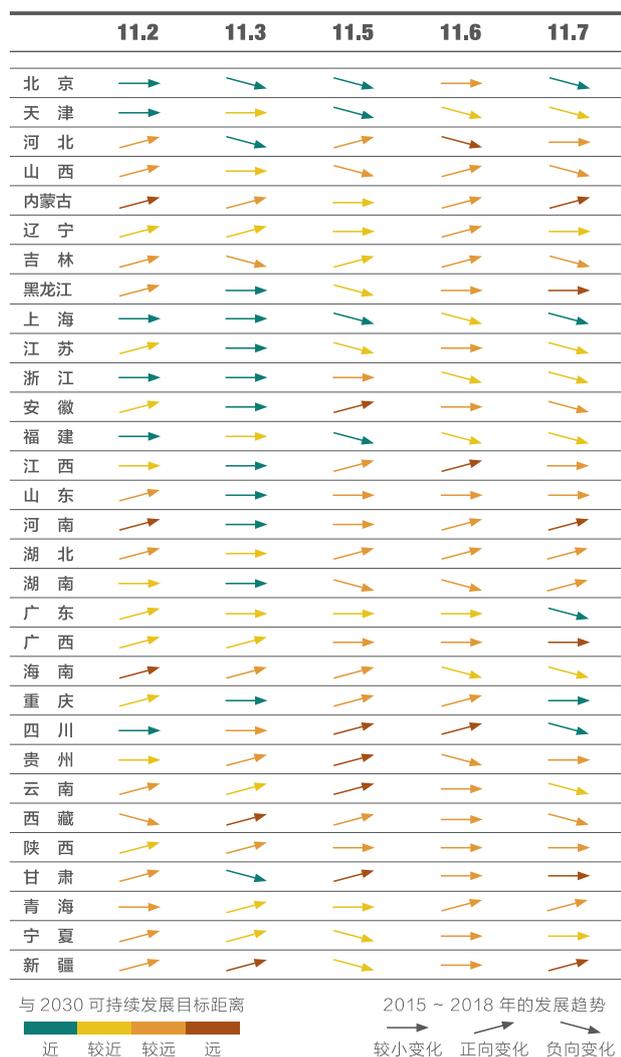


图 4-14. 可持续发展目标指示板

讨论与展望

案例采用 SDSN 在 2019 年可持续发展报告中的研究方法计算 SDG 11 综合指数，为评估 SDG 11 整体可持续性提供参考。通过各指标具体的值和可持续发展指示板能够很好地识别每个省级行政区表现好的指标和表现差的指标。SDG 11 指标和具体目标之间也有相互影响的作用，不能以削弱一个指标为代价而去实现另外一个指标，所以后期将会对各指标相互作用关系进行研究。



本章小结

本章以 SDG 11 的五个技术类具体目标及其对应的六个 SDG 11 指标为核心，发展了地球大数据支撑的指标评价模型和方法，实现了 SDG 11 多指标的动态、空间精细化、定量监测与评估，并开展了中国省级尺度多指标的综合评估，为开展城市可持续发展指标动态监测和综合评价提供了有力的支撑。

在数据产品方面，本章：①针对 SDG 11.2.1，首次生产 2015 和 2018 年分性别、年龄段的高分辨率精细人口公里格网数据；②自主生产 1990~2018 年 433 个中国城市建成区矢量数据集；③覆盖棚户区、公共交通、城镇化、灾害以及公共开放空间等中国城市综合评价数据集，为中国城市可持续发展综合评估提供数据支撑。

在方法模型方面，本章：①发展了先进的深度学习语义分割模型，并用于中国棚户区提取（SDG 11.1.1）；②尝试提出经济增长率与土地使用率之间的比率（EGRLCR）新指标，对 SDG 11.3.1 指标进行扩展与本地化，丰富了 SDG 11 指标体系。

基于上述自主生产的地球大数据及其模型方法，我们开展了中国尺度 SDG 11 指标监测与综合评估，可为中国城市可持续发展提供决策支持与中国方案。

未来，在 SDG 11 指标监测与评估中重点开展以下研究：

◎ 发展地球大数据科学，基于地球大数据技术生产高质量评价数据集以及支撑 SDG 11 指标监测新方法；

◎ 推动 SDG 11 数据共享与技术方法推广，为发展中国家提供数据和技术支撑；

◎ 积极开展国内外合作，联合开展全球典型区域 SDG 11 可持续发展综合评估，服务于联合国需求以及中国国家战略。



SDG 13



SDG 13 气候行动

背景介绍	72
主要贡献	73
案例分析	74
本章小结	79



背景介绍

为应对气候变化的影响,联合国可持续发展目标中,SDG 13“采取紧急行动应对气候变化及其影响”(以下简称“气候行动”)主要任务包括减少气候变化引起的灾害,降低气候变化影响和提高应对能力。SDG 13 气候行动并不是一个孤立的目标,对整个可持续发展目标的实现都具有重要影响。

本报告主要关注气候行动 13.1 和 13.2 两个具体目标。SDG 13.1“加强各国抵御和适应气候相关灾害和自然灾害的能力”落实的基础是《仙台减灾框架》,其主要监管机构联合国减少灾害风险办公室(United Nations Office for Disaster Risk Reduction, UNDRR)发布的报告中指出,气候变化已是灾害损失的主要影响因素。SDG 13.2“将应对气候变化的举措纳入国家政策、战略和规划”落实的基础是《巴黎协定》。现有指标评估中,往往都是统计数字,关于灾害种类、影响范围等情况,缺少详细的分析和数据,以及应对气候变化更多的指导和方案。两个具体目标涉及的指标均为 Tier II。这些指标没有充

分考虑到对地观测方法监测实施进展,急需对指标内涵进行扩充,拓展气候变化灾害、气候变化影响的空间分布信息,才能制定更明确的应对措施。

《中国应对气候变化的政策与行动 2019 年度报告》中指出,中国实施积极的应对气候变化国家战略,在调整产业结构、节能减排、国土绿化增加碳汇等方面采取一系列措施。2018 年中国单位国民生产总值二氧化碳排放比 2005 年累计下降 45.8%,相当于减排 52.6×10^8 t 二氧化碳。气候变化是人类需要长期面对的共同问题,其影响未来还将持续。中国以及世界其他地方,已经或即将受到气候变化的哪些影响,如何在气候变化背景下降低灾害损失、减少影响并实现可持续发展,都缺少有力的答案。本报告将重点围绕 SDG 13.1、SDG 13.2 两个具体目标,通过地球大数据平台,为 SDGs 指标提供反映气候变化参数的方法模型、空间信息明确的数据产品、气候变化应对决策支持三个方面的贡献。



主要贡献

SDG 13 包含两个案例（表 5-1），对应两个具体目标，主要涉及气候变化相关灾害、气候变化应对两个方面。数据集方面，在以往统计数据基础上，提供了中国高温热浪空间分布数据集、主要农作物物候集合概率预测数据集；在方法模型方面，提出了多种非平稳模型、参数

化和非参数化混合的气象数据均一化方法；在决策支持方面，提出小麦和玉米开花期、成熟期提前，可能对农作物产量造成威胁，需要提前进行应对。本报告将为人们更全面地理解气候变化的影响，减缓和应对气候变化带来的一系列问题提供新的方案。

表 5-1 案例名称及其主要贡献

具体目标	案例	贡献
13.1 加强各国抵御和适应气候相关的灾害和自然灾害的能力	中国极端高温热浪灾害的强度和频率	数据产品：均一化序列气温数据集 方法模型：多种非平稳模型、参数化和非参数化方法混合
13.2 将应对气候变化的举措纳入国家政策、战略和规划	气候变化对中国主要作物物候影响预测	数据产品：未来气候变化情景下近期中国主要作物物候集合概率预测数据集 决策支持：为中国粮食生产应对气候变化提供决策依据



案例分析

中国极端高温热浪灾害的强度和频率

对应目标： 13.1 加强各国抵御和适应气候相关的灾害和自然灾害的能力。

成果亮点

- 基于 754 个地面气候观测站的均一化气温资料，评估了 1990 年到 2018 年中国极端高温热浪灾害强度和频率的时空变化。结果显示，20 世纪 90 年代末以来，我国极端高温热浪灾害的强度和频率显著增加。

案例背景

《巴黎协定》的目标是把全球平均气温升幅控制在工业化前水平以上低于 2 °C 以内，并努力将气温升幅限制在工业化前水平以上 1.5 °C 以内。近几十年，极端高温热浪成为影响中国地区主要的气候灾害之一。

本案例提出动态重现期的概念，对于极端高温热浪

的指标进一步完善，使之更具广泛的适用性，尤其适合描述近年来的灾害性极端高温热浪事件。通过对极端高温时空演变的刻画，可准确全面地把握中国极端高温热浪的格局，为相关可持续发展目标提供科学的决策支持。

所用数据

© 中国气象局气象信息中心 1960~2018 年 754 站逐日最高气温观测资料，并经过订正和均一化处理（Li *et al.*, 2015），取 1979~2018 年为基准期。

方法介绍

数据的均一化在最大程度上校正了因为站点迁址、观测手段和方法改变等造成的系统性偏差。取每个站点夏半年（4 月到 9 月）每日最高气温最大值，以此进行广义极值（Generalized Extreme Values, GEV）分布的拟合并计算重现期和重现水平。动态重现期采用位置参数的时间线性模型，由此统计各站每年发生的 N 年一遇高

温极值的频率。N 年一遇极端高温指的是在当年的气候状态下，全年最高气温达到或超过给定重现水平阈值的概率为 1/N，由此得到全国以及各个分区的平均每站每年发生频率。强度则定义为该极端温度记录超出此 N 年一遇重现水平的数值大小，单位为 °C。

结果与分析

全国 20 年一遇极端高温热浪的发生频率自 20 世纪 90 年代末以来显著增加（图 5-1）。本世纪以来，全国有 5 个年份极端高温热浪异常偏多，即 2000、2003、2010、2013、2017 年。在这 5 年中，全国 7 个分区均有 2~3 个分区发生较为显著的极端高温热浪。频率和强度的年际波动较大，大体上各分区每 5~10 年均会出现一次极端高温热浪异常偏多的年份。相对来说，北方的极端高温热浪强度较南方更为突出。

自 2010 年以来基本上每年都会发生比较显著的极端

高温热浪事件（图 5-2）。2010 年极端高温热浪的影响空间范围最大，全国超过一半的区域均监测到较强的极端高温事件。2013 年极端高温热浪的强度最强，华华东数十站极端高温频率达 10 天左右。2016 年和 2017 年极端高温热浪的影响范围也十分广泛。值得注意的是，在高纬度和高海拔地区，相对的极端高温热浪在近年也易于多发。2014 年西南山区局地曾出现 15 天的极端高温。2010、2015 和 2018 年也有部分高海拔和高纬度站点记录到 8~10 天的极端高温，均为当年的全国之最。

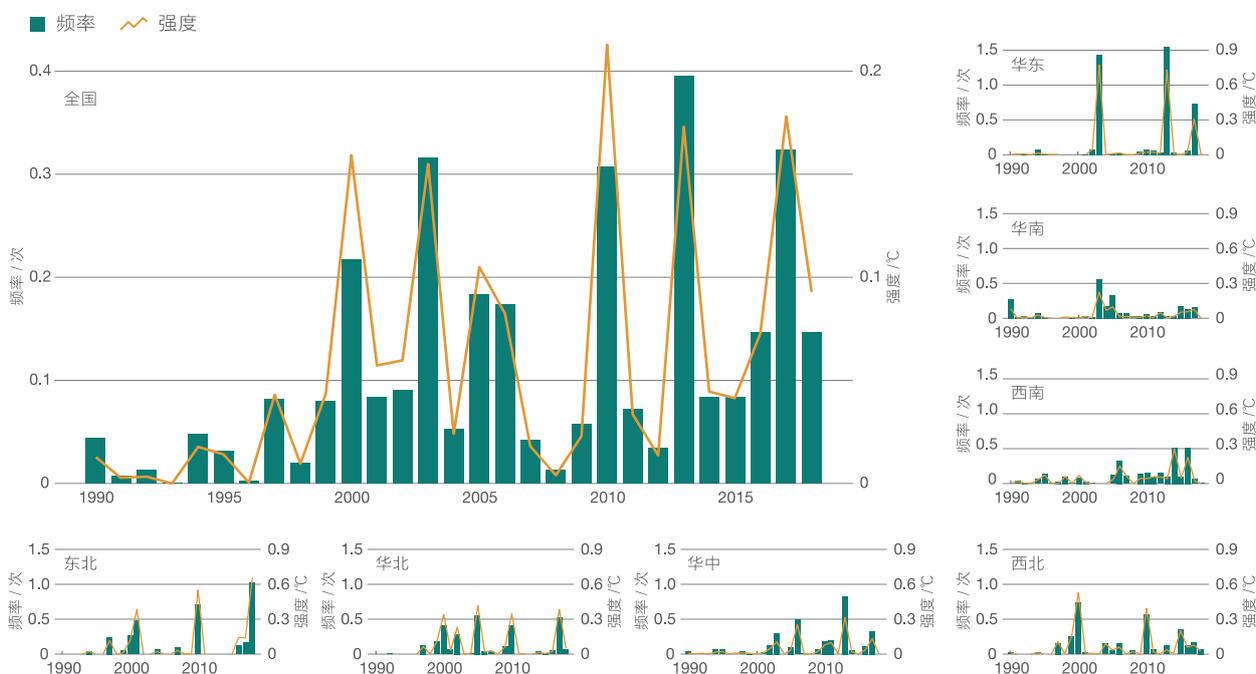
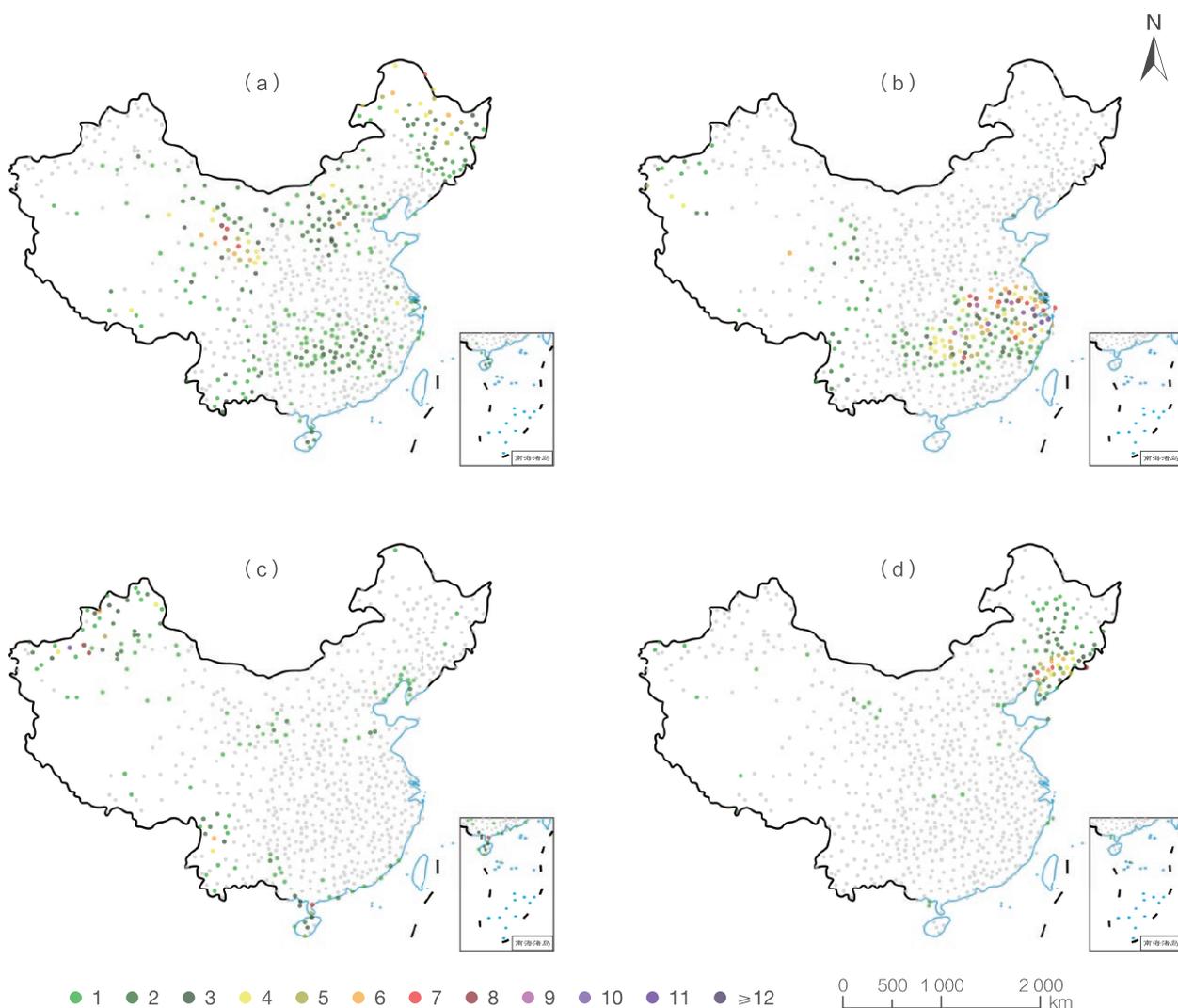


图 5-1. 1990~2018 年全国及各分区 20 年一遇极端高温热浪的平均每站发生频率和强度



↑ 图 5-2. 5 年一遇极端高温热浪事件频率的空间分布（注：缺台湾地区数据）
 (a) 2010 年；(b) 2013 年；(c) 2015 年；(d) 2018 年（灰色为无极端事件站点）

讨论与展望

本案例通过改进极端高温热浪的定义标准，利用重现期和重现水平对极端高温热浪事件有了更完整的认识。中国的极端高温热浪在近年持续高发，已形成一种常态。本世纪以来基本每 5 年左右，中国约三分之一的区域会经受接近或达到历史纪录的极端高温天气，特别是最近每年都发生了较大范围或较高强度的高温热浪事件。因此需要提升对极端高温的总体气候预测和天气预报水平，加强每年统筹应对不同地区发生极端高温热浪灾害的能力。另外，还应注意加强对高纬度和高海拔地区相对极端高温热浪的监测预测，因这些地区极少发生绝对高温，

以往容易被忽视。然而近年来，这些地区相对极端高温热浪频率甚至高于典型高温热浪多发的中东部地区，对当地的农林生态和基础设施同样造成严重的威胁。

随着中国近几十年社会和经济的迅速发展，人口大量向大中城市集中，土地利用也发生巨大变化。如何结合人口和土地等其他地球大数据，全面考虑不同群体和系统的暴露度和脆弱性，更加精准地评估极端高温热浪对于生产生活、人体健康及自然生态系统等各方面产生的具体影响，是今后需要关注的重要方向。

气候变化对中国主要作物物候影响预测

对应目标： 13.2 将应对气候变化的举措纳入国家政策、战略和规划。

成果亮点

- 预测了 2030s（2011~2040）中国主要作物物候的变化情况。结果显示，到 2030s，中国小麦成熟期提前的概率为 90.4%~91.2%；玉米成熟期提前的概率为 62.9%~64.5%。如果不进行相应的人为干预，物候期提前、生长期缩短，小麦和玉米很可能将面临减产风险。

案例背景

气候变化对粮食安全的影响受到广泛关注。气候变化不仅导致作物物候发生变化，还会进一步影响产量变化，并通过农业生产及其相关产业威胁国家粮食安全和经济稳定（Liu *et al.*, 2018a）。这种影响不仅仅是当下，很可能会持续到未来。因此，预估未来情景下主要作物

物候的变化，有利于制定相应的适应措施、保障区域粮食安全（Liu *et al.*, 2018b）。本案例通过校验后的作物模型预测近期中国主要作物物候的空间分布，并结合多模式多情景集合概率预测来减小气候变化评估中的不确定性。

所用数据

◎ 气候变化情景数据（RCP 2.6、RCP 4.5 和 RCP 8.5），由部门间影响模型比较计划（The Inter-Sectoral Impact Model Inter-comparison Project）获得；

◎ 模型校验所需的实验数据（作物生长和田间管理

记录）和气象观测数据（日最低气温、日最高气温、日总降水和日照时数）由农业气象观测站实验得到；

◎ 土壤数据由中国土壤数据库和农业气象观测站实验得到。

方法介绍

本案例将种植比率大于 0 的区域作为研究区，基于农业技术转移决策支持系统（Decision Support System for Agrotechnology Transfer, DSSAT）- 小麦 / 玉米模型开展多情景下（RCP 2.6、RCP 4.5 和 RCP 8.5）2030s（2011~2040 年）中国小麦、玉米物候预测研究。经过校验后的 DSSAT- 小麦 / 玉米模型的模拟精度达到 90% 以上。为评估在不采取适应措施情况下未来小麦和玉米的物候变化，在模拟中，保持管理水平与基准期一致。

本案例分情景求取 5 个大气环流模式的平均值，将该模式平均值作为对应情景下（RCP 2.6、RCP 4.5 和 RCP 8.5）的气候条件，并利用核密度估计方法（核函数选择高斯核函数）估计物候期变化的概率密度和区间，以降低预测结果的不确定性。此外，由于案例同步考虑 CO₂ 浓度的影响，因此在模拟过程中需要根据模拟时期和情景分别设置模型中的 CO₂ 浓度的具体取值。

结果与分析

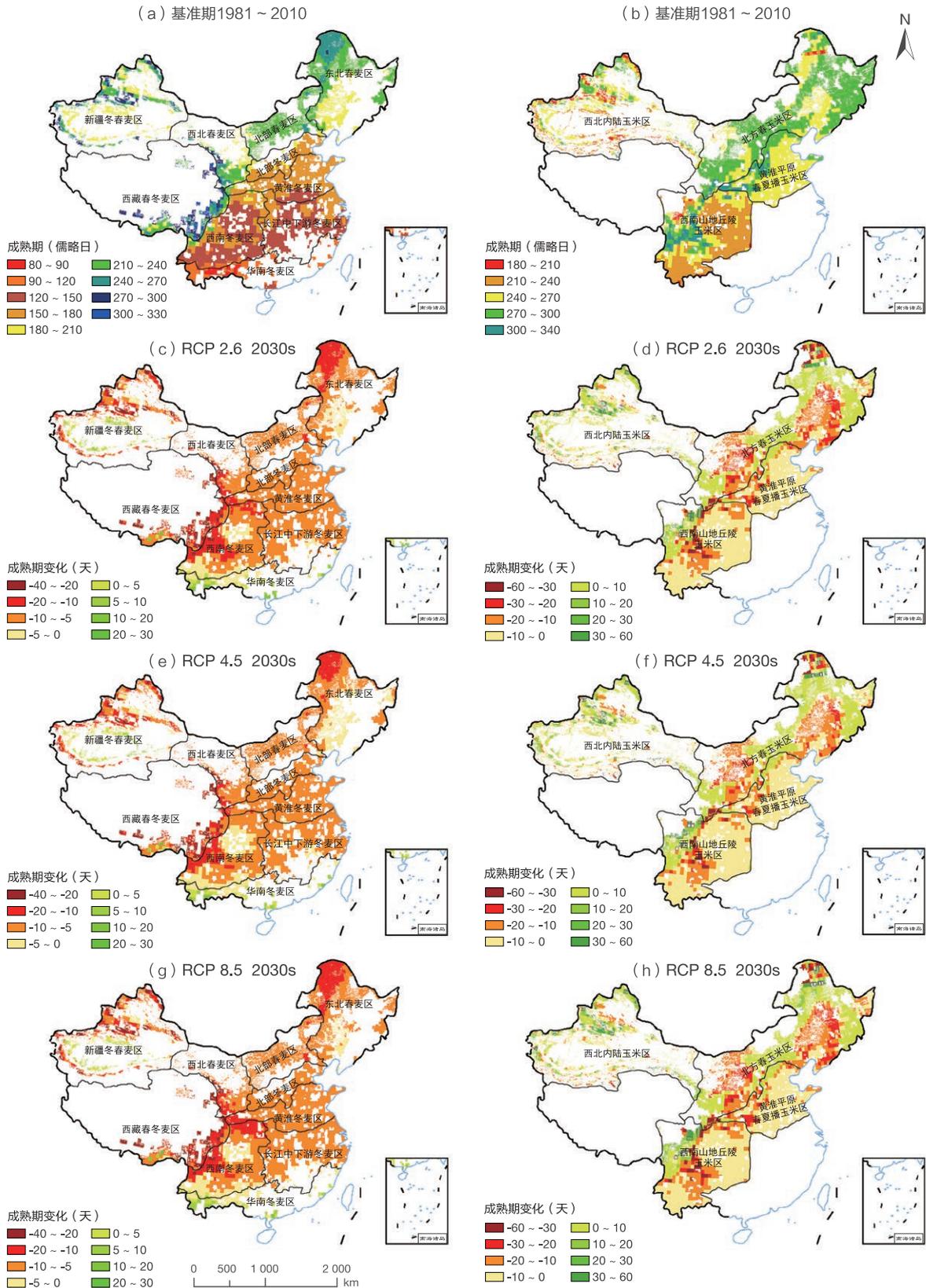


图 5-3. 气候变化情景下全国农作物成熟期空间分布及变化 (a, c, e, g) 小麦; (b, d, f, h) 玉米

2030s 小麦和玉米成熟期的空间分布及变化如图 5-3 所示。相较于基准期（1981~2010 年），2030s 各情景下小麦物候期呈现提前趋势的区域达 90% 以上，小麦物候期提前幅度较大的区域为青藏春冬麦区，物候期推迟的区域集中在新疆冬春麦区和华南冬麦区。与基准期相比，玉米开花期在各情景下均以提前为主，且在 RCP 2.6 情景下有 98.0% 的区域开花期呈现提前趋势，开花期提前幅度较大的区域集中在西南山地丘陵玉米区。与开花期不同，玉米成熟期的变化存在明显的区域差异，且 RCP 8.5 情景下玉米成熟期的提前幅度最大。随着纬度的降

低，小麦开花期和成熟期由提前趋势转为推迟趋势，且在 RCP 8.5 情景下最为明显。与小麦相反，玉米开花期和成熟期呈现推迟趋势的区域主要集中在高纬度地区。

2030s 小麦开花期提前的概率为 88.9%~89.1%，成熟期提前的概率为 90.4%~91.2%，玉米开花期提前的概率为 97.2%~98.0%，成熟期提前的概率为 62.9%~64.5%。相同情景下，玉米开花期提前的概率大于小麦，而成熟期提前的概率却小于小麦。在 RCP 2.6、RCP 4.5 和 RCP 8.5 情景下，两种作物开花期提前的概率依次减小，其中 RCP 2.6 情景下玉米开花期提前的概率高达 98.0%。

讨论与展望

气候变化影响预测中存在很多不确定性，虽然本研究考虑到模式输出和排放情景的不确定性，采用集合概率进行预测，并尽可能多的对作物模型分区域校验，以提升模型模拟精度，但作物生物物理过程模拟仍存在一定的不确定性。未来的气候变化很可能会加剧中国小麦和玉米生产的波动性，亟须采取适应措施以保障粮食安

全。改善作物管理是增强农业适应气候变化能力的有效途径，例如调整播期、施肥、灌溉等措施能够降低气候变化的不利影响；而通过改良品种转换作物光合作用模式，或培育耐高温和对热量需求较高的新品种也是提高适应能力的重要措施。



本章小结

本章重点围绕 SDG 13 的两个具体目标开展案例分析：

◎ 在气候变化相关灾害方面，分析了典型自然灾害高温热浪的空间分布特征，发现中国自 20 世纪 90 年代末以来，极端高温热浪呈现上升趋势。

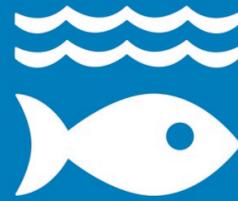
◎ 在气候变化应对方面，评估了气候变化对中国主要作物物候和产量可能的影响，小麦和玉米的开花期提

前成为大概率事件。

本章是在 SDG 13 现有指标的基础上，进行了空间信息拓展和完善。依托地球大数据平台，形成新型数据集，为 SDG 13 气候变化相关灾害、气候变化应对提供空间分布信息，使相关政府和机构更全面地理解气候变化所面临的问题，从而更好地应对气候变化，减少损失。



SDG 14



SDG 14 水下生物

背景介绍	82
主要贡献	83
案例分析	84
本章小结	93





背景介绍

占地球表面积 71% 的海洋是全球三大生态系统之一，海洋生态系统的平衡对于人类生存和可持续发展具有重要意义。2015 年，“保护海洋与海洋资源以促进可持续发展”被写入联合国 2030 年可持续发展议程，并成为国际社会共同关注的热点问题之一。2017 年 9 月，第九次金砖国家领导人会议把“蓝色经济”作为一个议题，进行了专门研讨。2018 年 11 月，首届全球可持续蓝色经济会议通过了《促进全球可持续蓝色经济内罗毕意向声明》。

中国政府高度重视和支持联合国海洋可持续发展的相关议程。2015 年以来，在“坚持陆海统筹，加快建设海洋强国”的战略目标引领下，中国海洋事业飞速发展，在保护海洋、促进经济增长等方面都取得了很多成果。“海

洋命运共同体”和“蓝色伙伴关系”等理念推动着全球治理体系向更公正、更合理方向发展。但是，由于中国沿海地区人口密集、经济发展迅速，对海洋资源的需求大，中国海洋可持续发展也面临挑战。

海洋生态环境具有尺度大、变化快的特点，相关监测数据的缺乏是目前制约海洋可持续发展目标客观评估与政府科学决策的瓶颈之一。地球大数据具有宏观、动态监测能力，可为海洋可持续发展评价提供重要数据获取手段。本报告重点聚焦预防和大幅减少海洋污染（SDG 14.1）、抵御灾害与保护海洋和沿海生态系统（SDG 14.2）2 个具体目标，充分利用地球大数据技术，为准确把握中国海洋可持续发展相关重大问题，提供新的数据和信息支撑。



主要贡献

利用地球大数据，重点围绕减少海洋污染、保护海洋生态系统两个方向，在中国近海及典型地区开展指标监测与评估，通过三个案例为全球贡献中国在 SDG 14

目标监测相关的数据产品、方法模型与决策支持成果。案例名称及主要贡献见表 6-1。

表 6-1 案例名称及其主要贡献

具体目标	案例	贡献
14.1 到 2025 年，预防和大幅度减少各类海洋污染，特别是陆上活动造成的污染，包括海洋废弃物污染和营养盐污染	中国近海海洋垃圾与微塑料分布变化分析	数据产品：中国近海海洋垃圾与微塑料分布数据集 决策支持：揭示中国近海海洋垃圾与微塑料的污染现状、区域分布及变化特征，服务典型区海洋垃圾与微塑料污染防控
14.2 到 2020 年，通过加强抵御灾害能力等方式，可持续管理和保护海洋和沿海生态系统，以免产生重大负面影响，并采取行动帮助它们恢复原状，使海洋保持健康，物产丰富	中国近海典型海湾生态系统健康评估	数据产品：胶州湾、大亚湾、四十里湾典型海湾生态环境要素数据集 方法模型：基于海域生态系统结构、服务功能的健康评估方法 决策支持：揭示中国近海典型海湾环境因子对生态系统关键要素变化贡献，为保护沿海生态系统提供科学依据
	中国近海筏式养殖变化监测	数据产品：中国沿海重点省份筏式养殖监测数据集 方法模型：基于深度学习的海洋筏式养殖智能提取方法



案例分析

中国近海海洋垃圾与微塑料分布变化分析

对应目标：14.1 到 2025 年，预防和大幅度减少各类海洋污染，特别是陆上活动造成的污染，包括海洋废弃物污染和营养盐污染。

成果亮点

- 分析了中国沿海 22 个典型区域漂浮垃圾分布与变化，发现 2018 年中国近海漂浮垃圾丰度比 2010~2014 年平均值下降约 25%。
- 2019 年中国近海微塑料形态主要为纤维状、线状、颗粒状和碎片，区域分布特征存在差异，微塑料的平均丰度处于中低水平。

案例背景

近年来，海洋垃圾与微塑料环境影响问题得到社会各界的广泛关注，目前逐渐从科学研究层面向实质性污染管控和全球联合治理方向延伸。联合国 2030 年可持续发展目标框架内，减少塑料垃圾是防治“海洋污染”的

重要指标之一，但国际上相关数据还比较匮乏，该指标仍处于 Tier II 状态。中国相关业务部门和科研机构正着力开展相关的监测和分析工作，陆续取得了系列成果。

所用数据

◎ 海洋微塑料数据主要来源于自然资源部中国近海微塑料监测数据与生态环境部《2019 年中国海洋生态环境状况公报》数据；

◎ 海洋漂浮垃圾数据主要为生态环境部《2018 年中国海洋生态环境状况公报》与国际期刊发表的文献数据。

方法介绍

本案例通过综合中国近海海洋垃圾与微塑料的调查监测数据、海洋公报数据及文献资料，系统展示中国近

海海洋垃圾与微塑料的污染现状、区域分布，并结合历史数据分析了中国近海海洋垃圾与微塑料的变化趋势。

结果与分析

1) 中国近海漂浮垃圾的分布与变化

监测结果显示, 2015年以来中国近海漂浮垃圾丰度呈现减少趋势。2018年中国近海漂浮垃圾丰度比2010~2014年的平均丰度(3 207个/km²) (Zhou *et al.*, 2016)下降约25%。

2018年中国近海漂浮垃圾中, 塑料类垃圾的数量最多, 占88.7%, 其次为木质品类, 占4.4% (图6-1)。塑料类垃圾主要为聚苯乙烯泡沫、塑料袋和塑料瓶等。

结合22个中国沿海典型区漂浮垃圾分布情况发现, 不同区域漂浮垃圾的丰度存在显著差异 (图6-2), 其中大连星海湾、象山皇城岳头、潮州大埕湾、湛江观海漂浮垃圾的丰度相对较高。

2) 中国近海微塑料的分布特征

2019年中国近海微塑料形状、颜色、粒径及聚合物

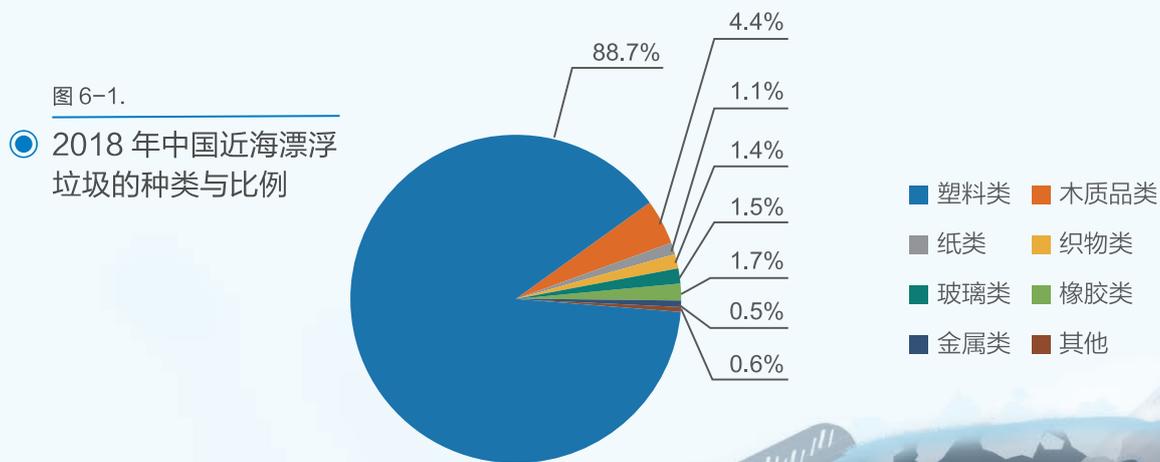
类型监测结果显示: 微塑料形态主要为纤维状、线状、颗粒状和碎片。粒径范围在1.0~2.0 mm的微塑料占比相对较高。微塑料共有8种颜色, 分别为白色、黑色、红色、黄色、蓝色、绿色、紫色和透明色, 不同海域微塑料颜色比例存在差异。微塑料的类型以聚对苯二甲酸乙二醇酯 (Polyethylene Terephthalate, PET)、聚苯乙烯 (Polystyrene, PS)、聚乙烯 (Polyethylene, PE) 和人造丝 (Rayon) 为主。

2019年中国近海微塑料丰度监测结果显示: 渤海监测断面海面漂浮微塑料丰度为0.82个/m³, 东海监测断面海面漂浮微塑料丰度为0.25个/m³, 微塑料的平均丰度处于中低水平。

讨论与展望

减少海洋垃圾与微塑料污染是全球海洋治理的重要课题之一, 需要各国携手共治。受限于目前对海洋微塑料污染科学认知的不足, 下一步需要加强海洋微塑料对污染环境行为影响分析。目前中国近海海洋垃圾与微塑料的污染状况呈现改善趋势, 但彻底解决海洋环境中海

洋垃圾与微塑料环境问题仍任重道远, 需持续开展近海塑料垃圾与微塑料动态监测及基础数据的积累, 同时兼顾大洋与极地环境中微塑料的分布研究, 为全球范围海洋垃圾与微塑料的治理防控提供科学依据。



中国近海典型海湾生态系统健康评估

对应目标：14.2 到 2020 年，通过加强抵御灾害能力等方式，可持续管理和保护海洋和沿海生态系统，以免产生重大负面影响，并采取行动帮助它们恢复原状，使海洋保持健康，物产丰富。

成果亮点

- 胶州湾、四十里湾和大亚湾生态系统目前健康状况良好。2007 年至 2019 年的十多年间，胶州湾生态系统整体健康状况稳中有升；四十里湾和大亚湾两个海域均表现平稳，其中，大亚湾自 2016 年后健康状态略有上升。

案例背景

全球近海生态系统承受着工业、农业、养殖、旅游等人类活动的多重压力。2015 年，联合国 2030 年可持续发展议程中 SDG 14.2 对实现“可持续管理和保护海洋与沿海生态系统”以及“海洋保持健康”提出明确要求。

海洋生态系统健康评估作为海洋管理和开发利用的重要途径，可以为海洋生态环境保护、生态管理等提供重要的科学依据，协助有效解决当前海洋环境和资源保护等面临的诸多问题（Rapport, 1995; Pollard, 1998）。

所用数据

© 2007 年 1 月至 2019 年 12 月期间生态网络相关典型海湾水文、化学、浮游生物、底栖动物、微生物等环境及生态要素数据集。

方法介绍

本案例面向 SDG 14.2，结合海湾生态系统特征，完善评估方法：对生态系统各项要素进行现状及变化趋势分析，对指标参数进行调整、筛选；利用机器学习技术

对数据进行挖掘，对评估阈值标准进行补充和完善；发展卡片式评估报告，服务于近海生态系统管理的决策支持。

结果与分析

本案例选取四十里湾、胶州湾、大亚湾作为典型海湾，分别代表不同的生态环境特点和人类活动特征：四十里湾位于黄海北部，海湾及周边地区涉及工农业、养殖、港口等，海湾内赤潮频发；胶州湾位于黄海南部，湾内面临港口、养殖、跨海大桥等多项人类活动压力；大亚湾位于南海，湾内现有一个包含 6 台运行机组的大亚湾核电基地。通过健康联合评估，为不同海湾保护与管理提供科学信息。

1) 典型海湾生态系统健康整体评估

评估结果显示，四十里湾、胶州湾和大亚湾的生态系统目前健康状况良好。2007 年至 2018 年，胶州湾生态系统健康状况稳中有升；2015 年至 2019 年四十里湾、2013 年至 2018 年大亚湾整体生态系统健康状态表现平稳，大亚湾自 2016 年后状态略有上升。具体评估结果如图 6-3 所示。

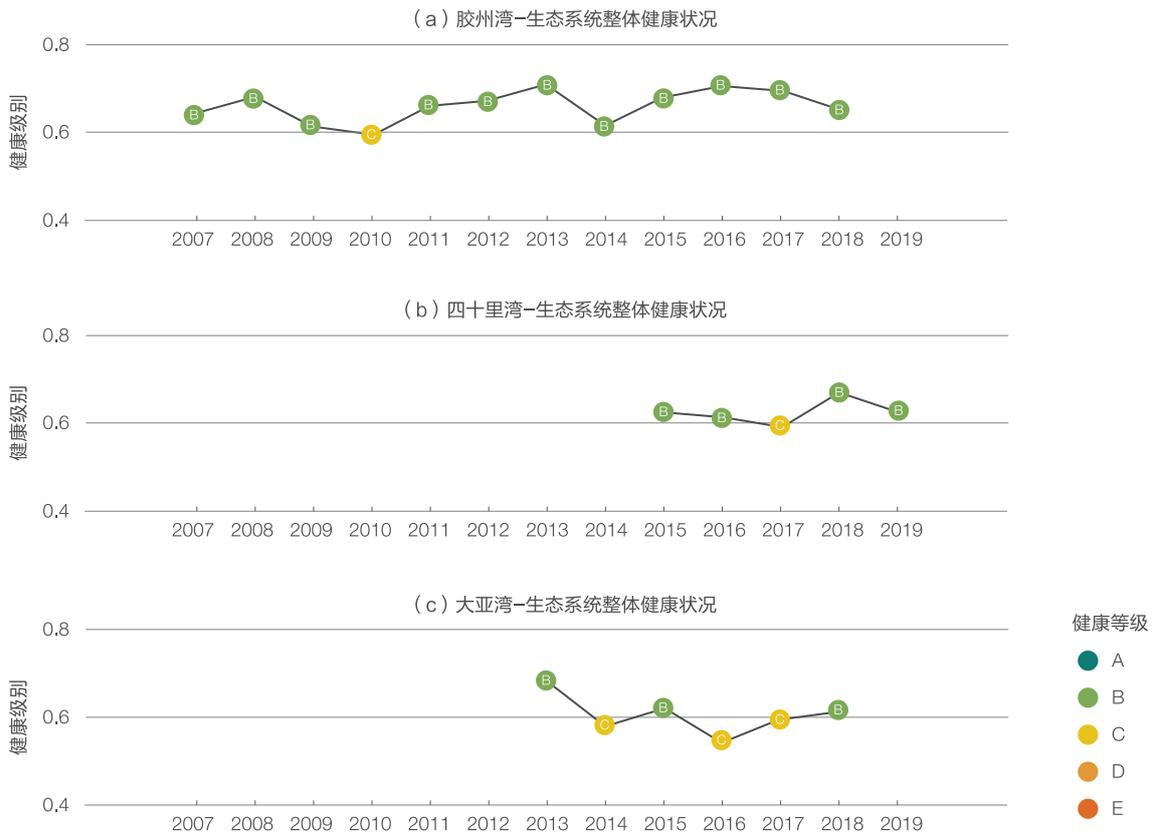


图 6-3. 2007~2019 年各典型海湾生态系统健康评估结果

2) 典型海湾生态系统关键要素单项评估

海域表层叶绿素 a 浓度与硅藻甲藻丰度比值 (简称硅甲藻比) 能够从一定程度上反映海域内初级生产力水

平以及浮游植物的群落结构, 对生态系统健康有重要的指示作用。我们对三个典型海域内的这两项要素分别进行健康评估, 结果显示: 四十里湾硅甲藻比代表的浮游

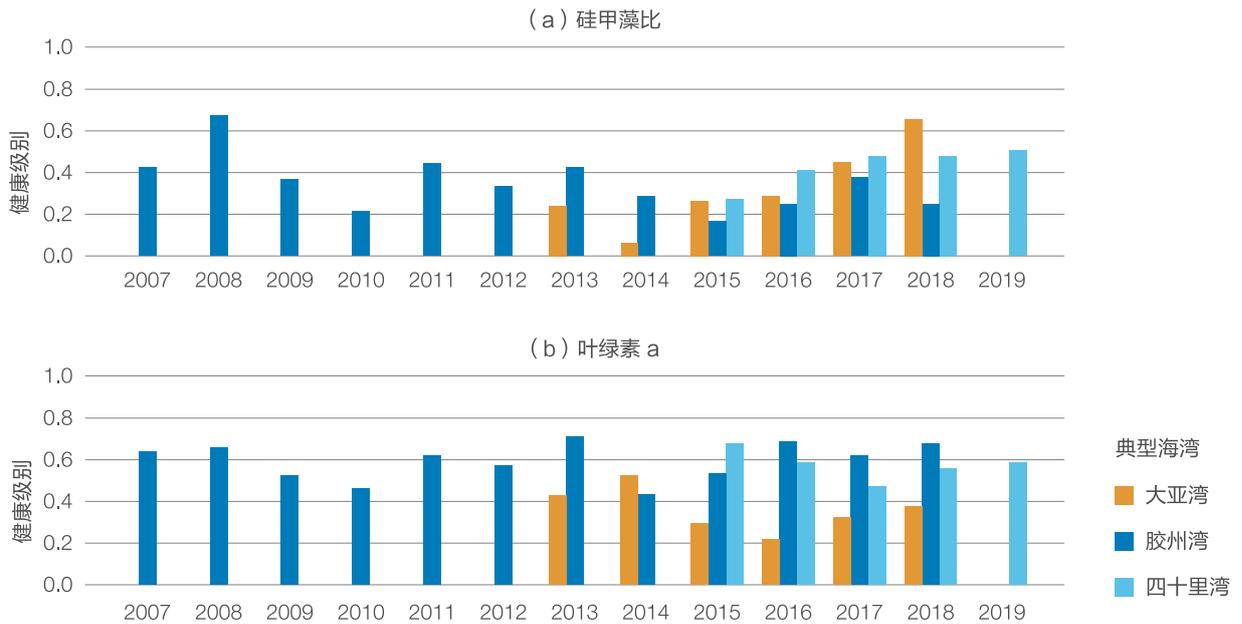


图 6-4. 各典型海湾内要素评估结果对比 (得分及级别划分同图 6-3)

(a) 硅甲藻比 (Bacillariophyta Pyrrophyta Ratio, BP Ratio); (b) 叶绿素 a (Chlorophyll a, Chl a)

植物群落结构健康状态呈现持续改善趋势，初级生产力水平健康状态良好且稳定；大亚湾浮游植物群落结构状态自 2014 年后持续改善，但初级生产力水平评估得分在三个海湾内最低，这可能与其营养盐特征有关；胶州湾浮游植物群落结构状态评估得分均略逊于其他两个海域，初级生产力水平健康状态良好。具体结果如图 6-4 所示。

3) 环境因子对生态系统关键要素变化贡献分析

利用机器学习方法分析各海湾内主要环境因子对硅藻丰度变化的贡献，分析结果如图 6-5 所示。相对贡献

率越大的环境因子对硅藻丰度变化起到更为重要的作用。结果显示胶州湾和四十里湾中，对硅藻丰度贡献最大的环境因子为营养盐，而大亚湾硅藻丰度变动受水温影响最大。这与三个典型海湾自身特征一致：胶州湾和四十里湾海域受工农业、养殖等人类活动影响剧烈，其海域内营养盐程度相对较高，因此海域生态要素与营养盐关系密切；而大亚湾内水温波动对硅藻丰度贡献更为重要，这与大亚湾海域周边核电温排水可能有着极为密切的联系。

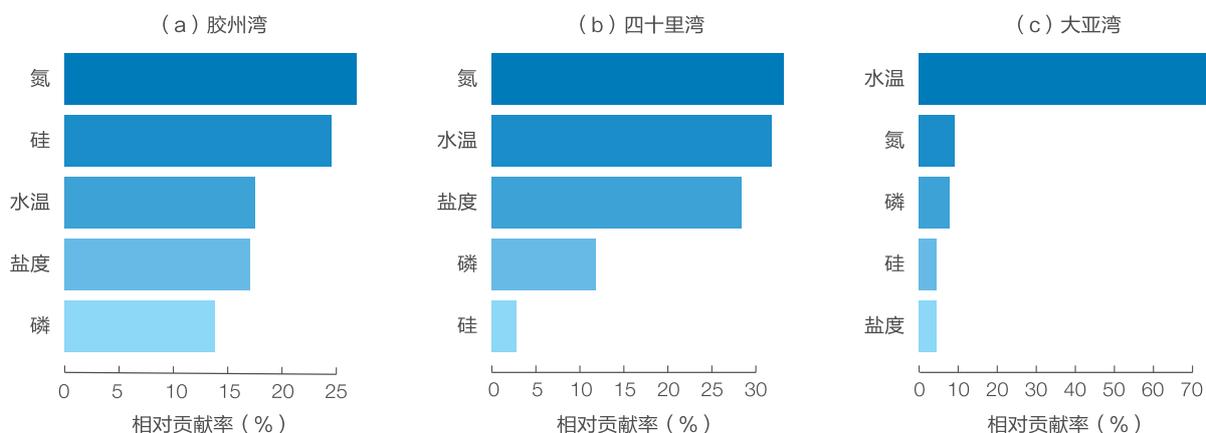


图 6-5. 环境因子对浮游植物优势种硅藻丰度的贡献率分析
(a) 胶州湾；(b) 四十里湾；(c) 大亚湾

讨论与展望

本案例基于近海生态系统健康评估方法体系，在中国近海多个典型海湾开展联合评估，对各海湾整体生态系统状况及变化趋势进行了分析，对生态系统关键要素健康状态开展了对比，对各海湾引起海洋生态系统状态变化的主要贡献因子进行了挖掘。下一步将继续完善专

家诊断模型，通过分析生态系统健康胁迫因子，提高健康诊断客观性，并将开发决策支持系统，面向不同用户及使用目标发展辅助决策分析工具，为近海环境的保护和管理提供支撑。

中国近海筏式养殖变化监测

对应目标：14.2 到 2020 年，通过加强抵御灾害能力等方式，可持续管理和保护海洋和沿海生态系统，以免产生重大负面影响，并采取行动帮助它们恢复原状，使海洋保持健康，物产丰富。

成果亮点

- 利用深度学习方法，首次生产了 2017、2019 和 2020 年中国沿海重点省份筏式养殖区分布 30 m 分辨率动态监测数据集。
- 筏式养殖区分布及面积动态变化结果显示，我国海洋筏式养殖面积仍然处于增长阶段，但大部分近海生态保护红线内筏式养殖面积基本保持稳定。

案例背景

海洋筏式养殖是海洋养殖的重要组成部分，主要包括浮筏养殖、网箱养殖和延绳式养殖三种形式。相对于靠近海岸的池塘及滩涂养殖，海洋筏式养殖由于远离海岸而导致更加难以管控。由于筏式养殖范围广且区域分散，目前传统的监测方法是利用导航定位系统进行现场

测量，费时费力，且难以得到大区域准确的结果。卫星遥感作为地球大数据的重要数据源，可以克服现场调查的不足，实现安全、多时相、大范围的有效监测，是开展海洋筏式养殖动态监测的可靠和先进的技术手段。

所用数据

◎ 2017、2019、2020 年中国近海海域高分 3 号、哨兵 1/2 卫星影像数据，其中 2017、2019 年采用 4 月至 9 月数据，2020 年采用 4 月至 6 月数据；

◎ 2018 年海洋筏式养殖现场调查验证数据；
◎ 海洋生态红线保护规划等相关政策数据。

方法介绍

本案例采用了一种支持大区域、复杂场景的海洋筏式养殖区人工智能遥感监测方法。样本方面，从南到北采用了大量的代表性样本进行标记，使得训练得到的模

型适用不同的场景。模型方面，针对筏式养殖区在遥感影像上特点，选用多核卷积层、添加纹理特征等方法对深度学习网络进行改进。

结果与分析

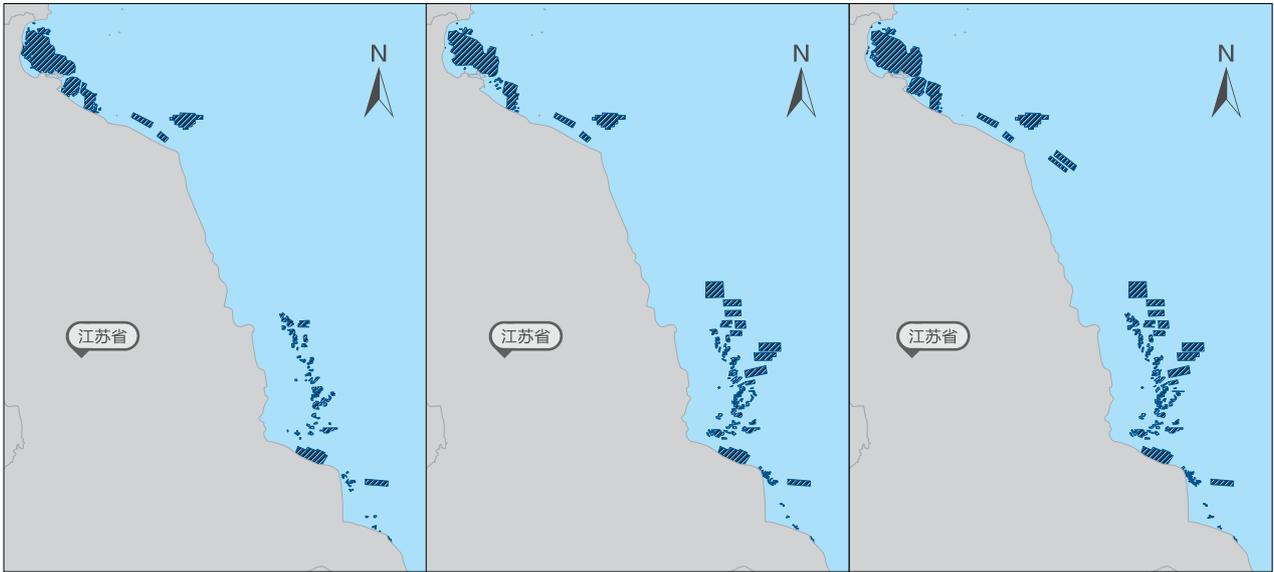
本案例重点选取江苏、福建两省进行筏式养殖区变化监测（图 6-6、图 6-7）。分析发现，大部分筏式养殖区分布于海岸附近，江苏省和福建省的养殖区面积 2017~2020 年总体处于增长阶段，增长幅度呈减缓趋势。

此外，对海洋养殖变化结合生态保护红线分析显示，生态红线规划实施后，大部分生态保护红线内海洋养殖基本无变化。

(a) 江苏省2017年近海筏式养殖分布图

(b) 江苏省2019年近海筏式养殖分布图

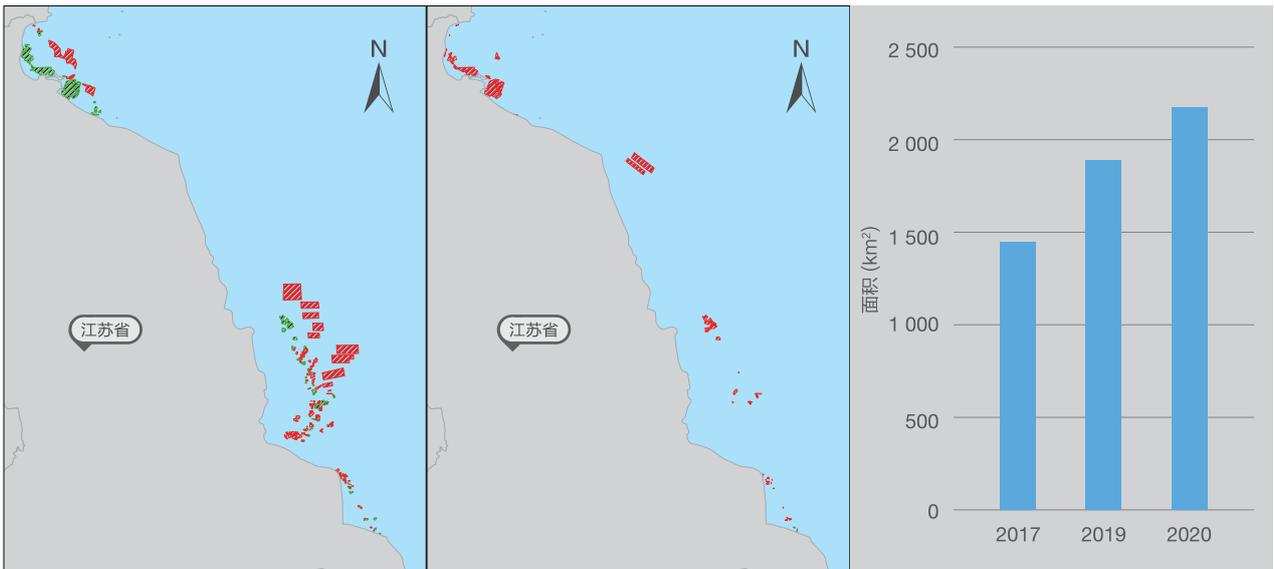
(c) 江苏省2020年近海筏式养殖分布图



(d) 江苏省2017~2019年近海筏式养殖变化图

(e) 江苏省2019~2020年近海筏式养殖变化图

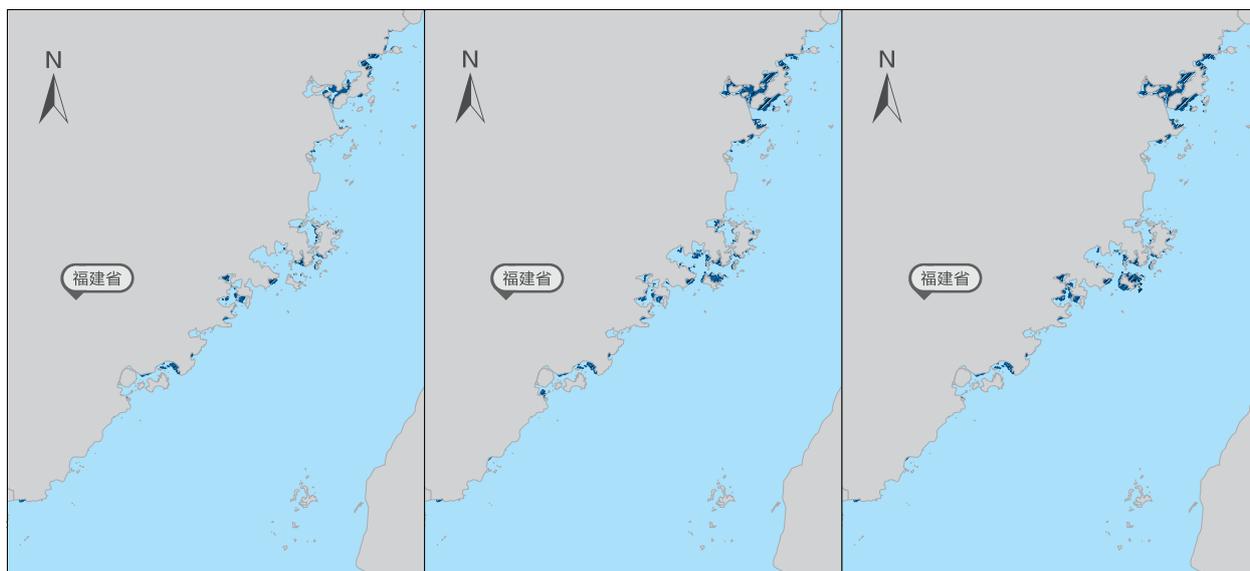
(f) 江苏省近海筏式养殖面积统计



近海筏式养殖区
 新增筏式养殖区
 减少筏式养殖区
 0 20 40 80 120 km

↑ 图 6-6. 江苏省近海筏式养殖分布及变化监测

(a) 福建省2017年近海筏式养殖分布图 (b) 福建省2019年近海筏式养殖分布图 (c) 福建省2020年近海筏式养殖分布图



(d) 福建省2017~2019年近海筏式养殖变化图 (e) 福建省2019~2020年近海筏式养殖变化图 (f) 福建省近海筏式养殖面积统计

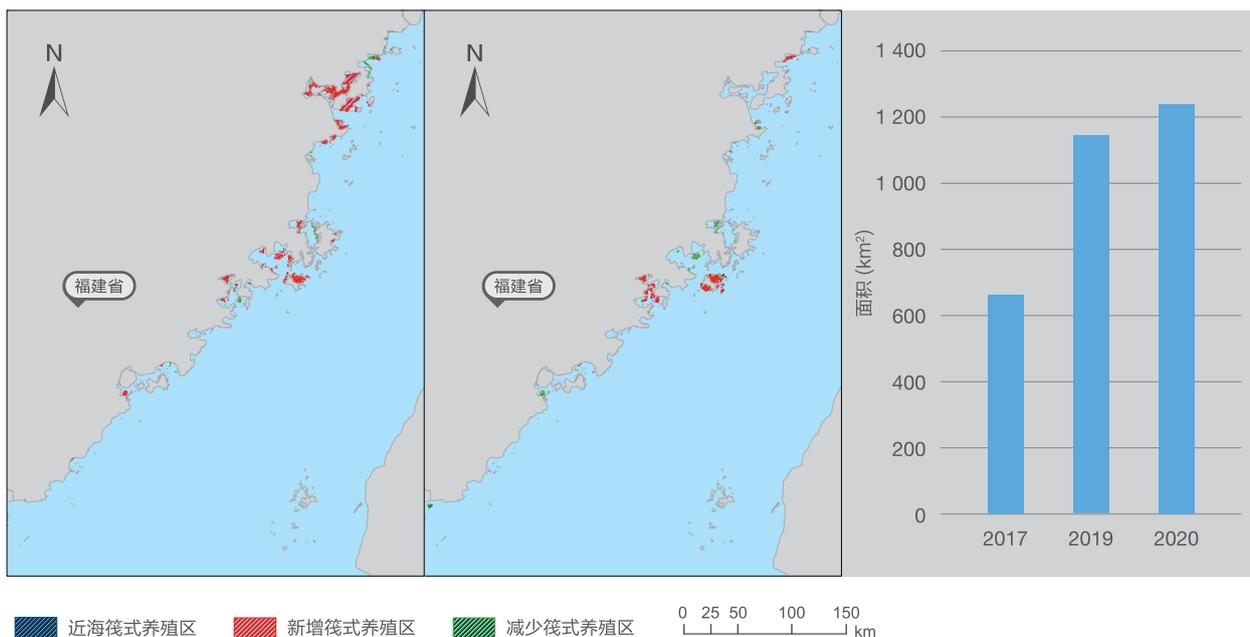


图 6-7. 福建省近海筏式养殖分布及变化监测

讨论与展望

海洋养殖不仅是人类利用海洋资源的重要方式，也是影响海洋生态环境和系统健康的重要因素。传统养殖区调查手段大范围推广和全海域覆盖监测难度非常大，卫星遥感等地球大数据的不断丰富为该问题的解决提供

了新的途径。下一步将继续加大地球大数据在相关方面的深入应用，确定各海域筏式养殖区最优遥感监测时间，提高海洋养殖种类、养殖规模、养殖期、养殖区环境变化等信息监测的精度和时效性。



本章小结

本章聚焦减少海洋污染、保护海洋生态系统两个SDG 14目标，围绕中国近海海洋垃圾及微塑料分布、典型海域生态系统健康、近海筏式养殖变化三个具体案例，面向中国-典型地区两个尺度，实现了相关目标的动态、定量监测与评估，从数据产品、模型方法及决策支持三个角度为海洋环境可持续发展目标评价提供有力支撑。

后续将进一步加强空天遥感数据、人工智能等技术方法在SDG 14指标监测分析中的深入应用，希望能够从更大尺度、更深的维度将相关指标研究从中国近海海域延伸到远海海域，形成更完整的海洋生态可持续发展监测评价数据、技术和方法体系。



SDG 15



SDG 15 陆地生物

背景介绍	96
主要贡献	97
案例分析	98
本章小结	118



背景介绍

SDG 15 目标为保护、恢复和促进可持续利用陆地生态系统，可持续管理森林，防治荒漠化，制止和扭转土地退化，遏制生物多样性的丧失。健康的生态系统能够保护地球，使生计得以持续。尤其是森林、湿地、山岳和旱地，它们提供了各种各样的环境产品和服务——清洁空气和水、生物多样性保护和减缓气候变化。然而，自然承担的压力越来越大，人类活动已经改变了地球表面近 75% 的区域，生物多样性也正在丢失，目前约有 100 万种动植物濒临灭绝，每年更是有 $1\,200 \times 10^4 \text{ km}^2$ 土地被干旱和荒漠化吞噬，导致珍贵经济资产和生计机遇的流失（IPBES, 2019）。

针对 SDG 指标监测数据可用性与方法成熟度，SDGs 跨机构专家组（IAEG-SDGs）发展了一套 SDGs 指

标分级体系。IAEG-SDGs 2020 年发布报告显示，SDG 15 涵盖的 14 个指标中 10 个指标为 Tier I，4 个指标为 Tier II，处于 Tier I 的 10 个指标也面临着一半左右国家无法定期提供数据的情况，这一问题对于经济相对落后的发展中国家来说尤为严重。

本报告以充分发挥地球大数据优势为出发点，聚焦生态保护、土地退化、生物多样性三个方向，围绕森林比例（SDG 15.1.1）、生物多样性保护比例（SDG 15.1.2）、退化土地比例（SDG 15.3.1）及红色名录（SDG 15.5.1）四个指标，开展了 SDG 15 目标的监测，以期为联合国机构及相关国家在 SDG 15 指标监测及落实方面，提供数据产品、模型方法及决策支撑，为 SDG 15 目标的实现贡献中国方案。





主要贡献

面向全球 - 中国 - 典型地区三个尺度，实现了 SDG 15 多指标的动态、空间精细化、定量监测与评估，从数据产品、方法模型及决策支持三个角度为陆地生物可持续发展指标动态监测和评价提供了有力的支撑。针对 SDG 15.1.1 指标，实现了全球 30 m 分辨率森林覆盖产品的及时更新（2019），发展了综合时空谱多维特征的森

林精细类型提取方法体系；针对 SDG 15.1.2 指标，提出了中国生物多样性保护分区方案及保护修复建议；针对 SDG 15.3.1，科学开展了中国土地退化零增长跟踪评估并分析了其全球贡献，深入分析了中国典型地区沙漠化与水土流失动态及驱动力；针对 SDG 15.5.1，深入剖析了中国植物多样性致危因素并提出了保护对策（表 7-1）。

表 7-1 案例名称及其主要贡献

指标	指标层级	案例	贡献
15.1.1 森林面积占陆地总面积的比例	Tier I	全球 / 区域森林覆盖现状（2019 年）	数据产品：全球 2019 年森林覆盖数据产品（30 m 分辨率） 方法模型：全球尺度机器学习森林分类方法 决策支持：为全球及重点区域森林状况评估提供依据
		中国长江流域森林类型时空分布	数据产品：2018 年长江流域森林类型分布数据集（10 m 分辨率） 方法模型：提出基于多规则时间序列遥感影像合成方法与一种综合时空谱多维特征的森林类型提取框架
15.1.2 保护区内陆地和淡水生物多样性的重要场地所占比例，按生态系统类型分列	Tier I	中国生物多样性保护和可持续利用分区	数据产品：中国生物多样性保护和可持续利用三个分区数据集 决策支持：将全球三个分区的方案在中国落地，并结合“全国重要生态系统保护和修复重大工程”，提供生态系统保护和修复对策建议
15.3.1 已退化土地占土地总面积的比例	Tier I	中国土地退化零增长跟踪评估及其全球贡献	数据产品：全球土地退化 / 恢复数据集 决策支持：基于 IAEG-SDGs 指标体系，全球共享数据，实现了中国土地退化零增长跟踪评估，并客观分析了中国的全球贡献
		黄土高原大规模绿化与水土保持及黄河泥沙关系	方法模型：构建了植被覆盖水土保持功效定量评估模型 决策支持：明确了黄土高原水土保持功效空间差异，为水土流失防治提供决策支持
		中国北方半干旱区及周边沙漠化时空动态及治理成效评估	数据产品：1975~2015 长时间序列北方半干旱区及周边沙漠化动态数据产品 决策支持：开展了近 40 年中国北方半干旱区及周边沙漠化发展过程与驱动力评估，为沙漠化防治提供支撑
15.5.1 红色名录指数	Tier I	中国植物多样性致危因素与保护对策	数据产品：中国植物多样性风险分布与保护空缺分布 方法模型：发展和完善物种多样性遭受的威胁压力确定方法 决策支持：明晰中国植物多样性的保护空缺，建议通过主动保护策略与恢复管理策略相结合的方式，保护物种赖以生存的栖息地



案例分析

全球/区域森林覆盖现状（2019年）

对应目标：15.1 到 2020 年，根据国际协议规定的义务，保护、恢复和可持续利用陆地和内陆的淡水生态系统及其服务，特别是森林、湿地、山麓和旱地。

成果亮点

- 自主生产了 2019 年全球 30 m 分辨率森林覆盖遥感产品，精度 86.45%，为可持续发展目标评估提供有效空间数据支撑。
- 全球森林总面积为 $36.92 \times 10^8 \text{ hm}^2$ ，约占全球陆地总面积的 24.78%。从大洲角度来看，南美洲森林覆盖率最高（47.45%），大洋洲森林覆盖率最低（12.80%）。

案例背景

森林对人类发展至关重要。森林在维持人民生计、提供洁净的空气和水、保护生物多样性以及应对气候变化等方面发挥着不可替代的重要作用（FAO, 2018a）。近年来，越来越多的国家、组织和企业投入到对全球森林资源的遥感调查工作中，例如全球森林覆盖变化项目、全球森林监测等。自 2010 年开始，联合国粮食及农业组织（Food and Agriculture Organization of the United Nations,

FAO）每隔五至十年定期发布的全球森林资源评估中大量采用遥感数据，从区域和全球不同尺度上分析森林的发展态势，以及人口、经济、制度和技术等外部因素变化可能对森林产生的影响（FAO, 2006, 2010, 2016）。快速、准确地获取全球森林覆盖信息，准确认知森林资源的状况和变化，对于加强森林的管理和保护、应对全球变化及实现森林可持续发展具有十分重要的意义。

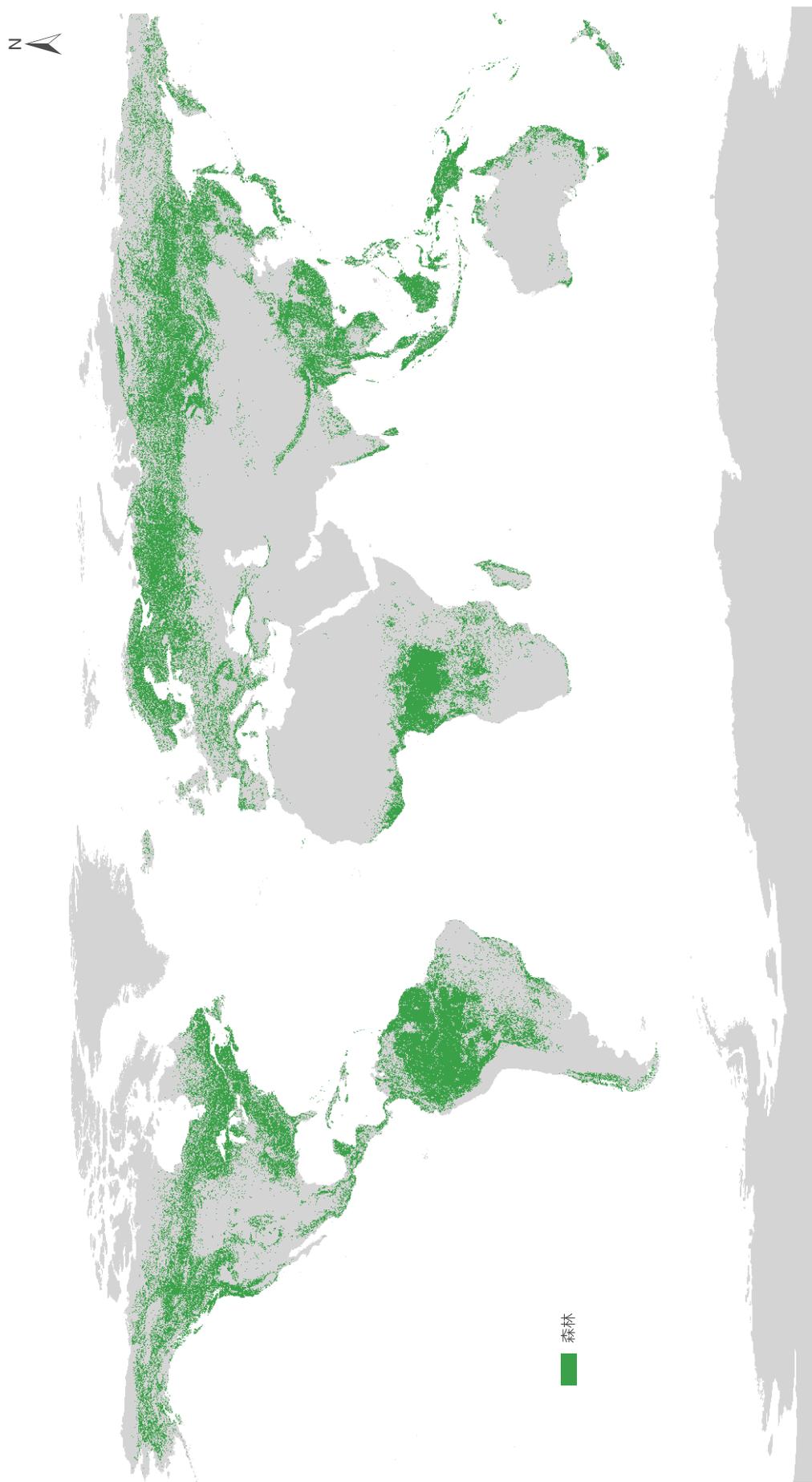
所用数据

© 2019 年 1 月 1 日至 2019 年 12 月 31 日全球陆地卫星系列数据，空间分辨率 30 m。

方法介绍

本案例中森林采用全球森林资源评估(2020)的定义，即森林是指覆盖面积大于 0.5 hm^2 ，树高在 5 m 以上，覆盖度大于 10%，或能够达到以上条件的林地，不包括主要用于农业和城市用途的林地（FAO, 2018b）。采用机器学习、大数据分析等先进技术，基于长时间序列的多

源卫星遥感数据开展全球森林覆盖的快速提取，实现了全球 30 m 森林覆盖产品（2019）生产。该产品与国内外现有的同类产品相比，具有更新的时效性，更高的时间、空间分辨率和更完整的空间覆盖度。



↑ 图 7-1. 全球森林分布状况图 (2019 年)

结果与分析

到2019年底，全球森林总面积为 $36.92 \times 10^8 \text{ hm}^2$ ，约占全球陆地总面积的24.78%（按全球陆地面积 $149 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 计算）。全球森林空间分布如图7-1所示。整体而言，全球森林分布沿纬度呈条带状分布，集中分布在南美洲和中非及东南亚的热带地区，俄罗斯和加拿大的北部地区，以及太平洋沿岸和大西洋沿岸一带。

全球分为热带、亚热带、温带和北寒带四个气候带，不同气候带森林分布呈现不均衡现象（表7-2和图7-2）。

其中，热带森林覆盖面积最大，几乎占全球森林总面积的一半，森林覆盖率21.91%，位居全球第二，这主要是因为该地区分布着全球最主要的森林类型——热带雨林；北寒带森林覆盖面积虽然只有全球的约1/4，森林覆盖率却最高，达到47.27%，这与北方针叶林在北半球增暖剧烈的中高纬度地区广泛分布密不可分，主要集中在俄罗斯北部和加拿大地区。温带和亚热带森林覆盖面积和覆盖率分居第三和第四。

表7-2 全球各气候带森林覆盖状况统计（2019年）

气候带	森林覆盖面积 / 千公顷	占全球森林面积的比例 / %	森林覆盖率 / %
热带	1 755 987.04	47.56	21.91
亚热带	421 115.39	11.40	16.43
温带	602 494.36	16.32	20.49
北寒带	912 837.24	24.72	47.27
全球	3 692 434.03	100.00	24.78

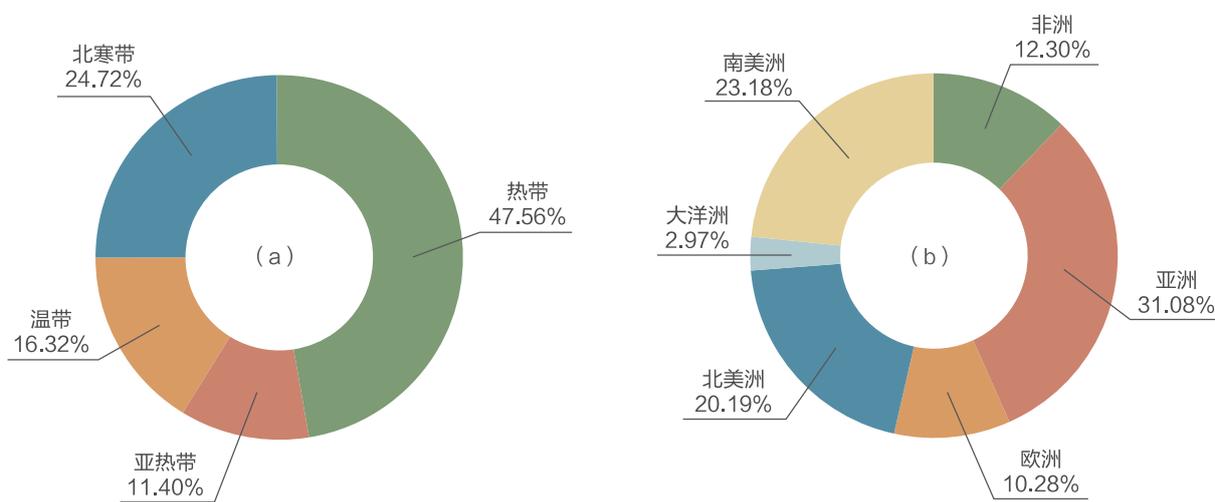


图7-2. 2019年全球各气候带/大洲森林面积占比
(a) 各气候带；(b) 各大洲

从各大洲来看，全球六大洲（不包括南极洲）森林覆盖状况差异明显（表 7-3 和图 7-2）。亚洲陆地面积最大，森林覆盖面积也最大，森林覆盖度在全球排名第四。南美洲的森林覆盖面积虽然在全球排第二，但森林覆盖

率最高，达到 47.45%，拥有全球最广大且毗连成片的热带雨林——亚马孙盆地。欧洲和北美洲森林覆盖率高居全球第二和第三。大洋洲在六大洲中陆地面积最小，森林覆盖面积和覆盖率也最低。

表 7-3 全球各大洲森林覆盖状况统计（2019 年）

各大洲	森林覆盖 / 千公顷	占全球森林面积的比例 / %	森林覆盖率
非洲	454 041.04	12.30	15.02
亚洲	1 147 751.04	31.08	25.92
欧洲	379 596.54	10.28	38.42
北美洲	745 487.64	20.19	31.78
大洋洲	109 547.50	2.97	12.80
南美洲	856 010.27	23.18	47.45
全球	3 692 434.03	100.00	24.78

讨论与展望

采用机器学习、大数据分析等方法，基于长时间序列的多源卫星遥感数据开展了全球森林覆盖产品的快速生产，实现了 SDG 15.1.1 “森林面积占陆地总面积的比例”指标监测，并进行了各气候带和各大洲森林覆盖空间分布特征的比较和分析。

基于地球大数据，我们将实时发布和更新全球森林覆盖遥感产品；发布和更新的全球森林覆盖遥感产品可以帮助那些没有技术和财政资源支撑的欠发达国家和地区来监测森林的变化情况，增强保护意识，提高管理能力，从而实现全球森林资源的可持续发展。

中国长江流域森林类型时空分布

对应目标：15.1 到 2020 年，根据国际协议规定的义务，保护、恢复和可持续利用陆地和内陆的淡水生态系统及其服务，特别是森林、湿地、山麓和旱地。

成果亮点

- 提出了基于多规则的时间序列遥感影像合成方法，构建了综合时空谱特征与机器学习算法的森林类型遥感分类体系。
- 生产了 2018 年中国长江流域 10 m 空间分辨率森林类型空间分布数据产品，总体分类精度为 83.25%。

案例背景

森林面积的精确获取是实现 SDG 15.1.1 评估的基础。全球用于评价森林覆盖率的数据主要来自联合国粮农组织等一些专业机构。《2015 年全球森林资源评估》表明世界森林仍然在继续减少（FAO, 2018a）。现有的森林分类遥感数据产品存在着时间空间分辨率较低、区域适用性较差等问题。长江流域横跨中国东部、中部和西部三大经济区，是世界第三大流域，其总面积为 $1.80 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，占中国陆地总面积的 18.80%。该流域主要位于亚热带常

绿阔叶林区，并包括青藏高原植被区的一部分。长江流域因其复杂的地质活动和气候变化历史及多样的地形和环境条件，形成了丰富的森林资源，是中国林木资源的重要保障。随着社会发展，长江经济带生态与经济、保护与开发之间的矛盾越来越凸显，长江流域森林等生态资源受到威胁，迫切需要开展长江流域森林类型的监测，掌握其时空分布特征，以对其进行精准的可持续管理。

所用数据

◎ 1985~2018 年 30 m 空间分辨率的陆地卫星时间序列影像数据；

◎ 2015~2019 年 10 m 空间分辨率的哨兵二号时间序列遥感影像数据；

◎ 30 m 空间分辨率的长江流域数字高程模型；

◎ 中国长江流域区划数据；

◎ 2014、2015、2018 年实地野外考察数据等。

方法介绍

针对云层覆盖与大尺度地区土地覆盖制图对高质量遥感影像的需求问题，提出了一种基于多规则的多光谱时间序列遥感影像合成方法，利用覆盖同一区域同一时期的遥感影像的像素，为研究区合成了高质量、无云的遥感影像。结合哨兵二号高空间分辨率与较高光谱分辨

率的特征，以及美国陆地卫星系列的长时间序列特征，建立了森林遥感分类的光谱-空间-时间特征集（Cheng *et al.*, 2019），基于云计算平台和机器学习算法，获取了 2018 年的 10 m 空间分辨率的中国长江流域的森林类型覆盖产品。

结果与分析

长江流域森林类型空间分布如图 7-3 所示。按类型统计发现，长江流域森林类型以常绿针叶林、混交林、常绿阔叶林为主。其中，常绿针叶林集中分布在长江流域的上游地区，在通天河、雅砻江、金沙江等地区常见，面积约占 15.76%。混交林主要在长江流域的中部偏北地区，以横断山脉东部、秦岭山脉以北为主要分布区域，占总面积的 14.15%。常绿阔叶林围绕在长江流域中下游的乌江、

湘江、赣江等区域，面积约占 7.29%。落叶阔叶林与针叶林所占比例较小。

利用真实地表类型数据对结果验证，结果显示总体分类精度为 83.25%。生产者精度在 73.08%~100% 之间，其中落叶针叶林的生产者精度最高，达到了 100%，说明其遗漏误差为 0。用户精度在 56.59%~94.50% 之间，常绿阔叶林最高，为 94.50%，说明其错分误差是最小的。

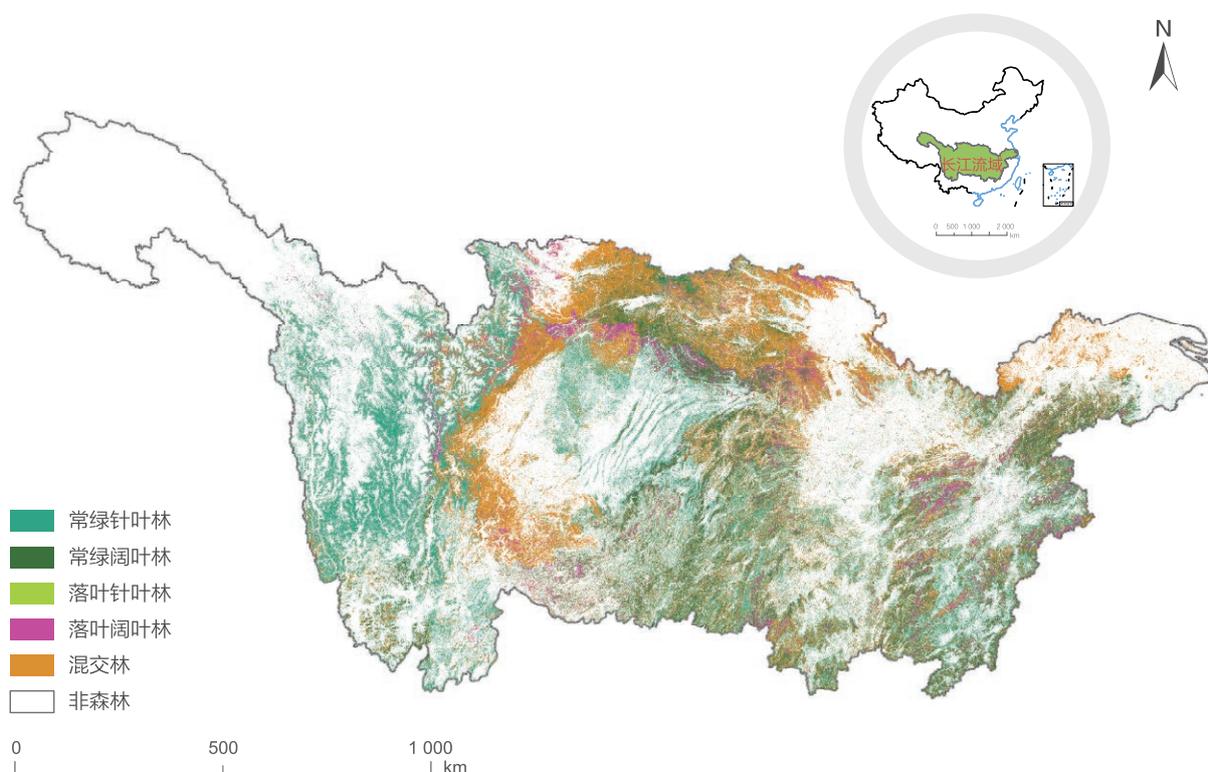


图 7-3. 中国长江流域森林遥感分类空间分布

讨论与展望

本案例首次获取了中国长江流域 2018 年 10 m 空间分辨率的森林遥感分类产品，与此前的数据产品相比，时空分辨率更高，并拥有更丰富的森林类型信息，可为长江流域森林资源的可持续管理提供数据基础。

下一步将扩展本研究中提出的方法至中国全境，生产 2018 年 10 m 空间分辨率中国全境的森林类型覆盖产品，开展中国区域内细分森林类型的 SDG 15.1.1 指标度量，为中国区域的森林资源可持续管理提供参考。

中国生物多样性保护和可持续利用分区

对应目标：15.1 到 2020 年，根据国际协议规定的义务，保护、恢复和可持续利用陆地和内陆的淡水生态系统及其服务，特别是森林、湿地、山地和旱地。

成果亮点

- 提出中国为实现生物多样性保护和可持续利用的 3 类分区的划分标准和方案。
- 生物多样性的压力、状态与响应在 3 类分区呈现出不同的分布格局。分区 1（城市与农田）生物多样性保护面临的压力大，分区 2（共享景观）的生物多样性高，而分区 3（大面积荒野）的保护力度高。在此研究结果的基础上，提出了优化中国生物多样性保护行动空间配置的方案。

案例背景

SDG 15 强调促进陆地生态系统的保护、恢复和可持续利用对自然生境和生物多样性保护的重要作用（United Nations, 2015）。自然保护行动受制于不同地区的社会经济状况，因此，制定因地制宜的保护政策对于提高生物多样性保护工作的效率具有重要意义。

为实现生物多样性保护和可持续利用，Locke 等（2019）提出全球 3 类分区的保护管理措施。该方案将全球划分为 3 类分区：分区 1 城市与农田（Cities and

Farms），分区 2 共享景观（Shared Landscapes）和分区 3 大面积荒野（Large Wild Areas），并提出 3 类分区的不同保护管理对策，为不同地区制定适宜的差异化保护管理政策提供了新的框架。本案例基于全球 3 类分区的理论框架，制定了中国 3 类分区的划分标准和方案，并进一步地采用生物多样性“压力-状态-响应”模型，分析了 3 类分区的特点，然后在研究结果的基础上，提出了在空间上优化中国生物多样性保护管理的对策建议。

所用数据

案例使用了人口、土地利用、净初级生产力、土壤有机碳、高等植物及动物分布、自然保护区边界、关键生物多样性区域等一系列数据（表 7-4）。

表 7-4 案例所用地球大数据

数据名称	来源	空间分辨率
全球人口分布（2015）、人口变化速率（1990~2015）	国际社会经济数据与应用中心	1 km
全球土地利用类型（2015）、土地变化（1993~2015）	欧洲航天局	300 m
中国净初级生产力（2010）	中国科学院资源环境科学数据中心	1 km
全球森林覆盖率（2010）	全球森林观测计划	1 km
全球土壤有机碳	国际土壤信息参比中心	1 km

表 7-4 案例所用地球大数据

数据名称	来源	空间分辨率
全球生物碳	自有数据	3 km
中国 1600 余种特有受威胁高等植物分布	自有数据	300 m
中国 600 余种陆生哺乳动物分布	自有数据	10 km
中国 1200 余种鸟类分布	自有数据	10 km
中国自然保护区	自有数据	矢量图
关键生物多样性区域 (Key Biodiversity Areas, KBAs)	世界关键生物多样性区域数据库	矢量图

方法介绍

将中国陆地划分为 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 的网格（除去主要内陆湖泊等水体），3 类分区的划分标准如下。分别计算反映生物多样性“压力 - 状态 - 响应”的各项数据指标在 3 类分区中的分布，对总人口求总和，对其他指标求均值。

分区 1 (C1)：城市与农田

人口密度 ≥ 1000 人 / km^2 或农田与建筑占比 $> 50\%$

分区 2 (C2)：共享景观

不属于分区 1，农田与建筑占比 $> 0.5\%$ 或人类干扰指数 (Kennedy *et al.*, 2019) > 0.1

分区 3 (C3)：大面积荒野

属于中国荒野地图 (Cao *et al.*, 2019) 划定的面积大于 10 km^2 的荒野斑块，农田与建筑占比 $\leq 0.5\%$ ，并且人类干扰指数 ≤ 0.1

结果与分析

中国 3 类分区占陆地面积的比例分别为：C1 占 25.0%，C2 占 48.1%，C3 占 26.9%（图 7-4）。C1 和 C3 较为明显地分布在胡焕庸线的两侧。

压力、状态与响应指标在 3 类分区中呈现不同的分布格局。其中，C1 面临的压力最高：包括了中国 73.5%

的人口，并且人口数在 1990~2015 年间增长最快；在 1993~2015 年间，C1 内 4.5% 的生境退化，而 C2 和 C3 的自然生境有所恢复；反映生物多样性状态的指标表明 C2 的生物多样性分布最为集中；而 C3 的保护力度明显高于 C1 和 C2。

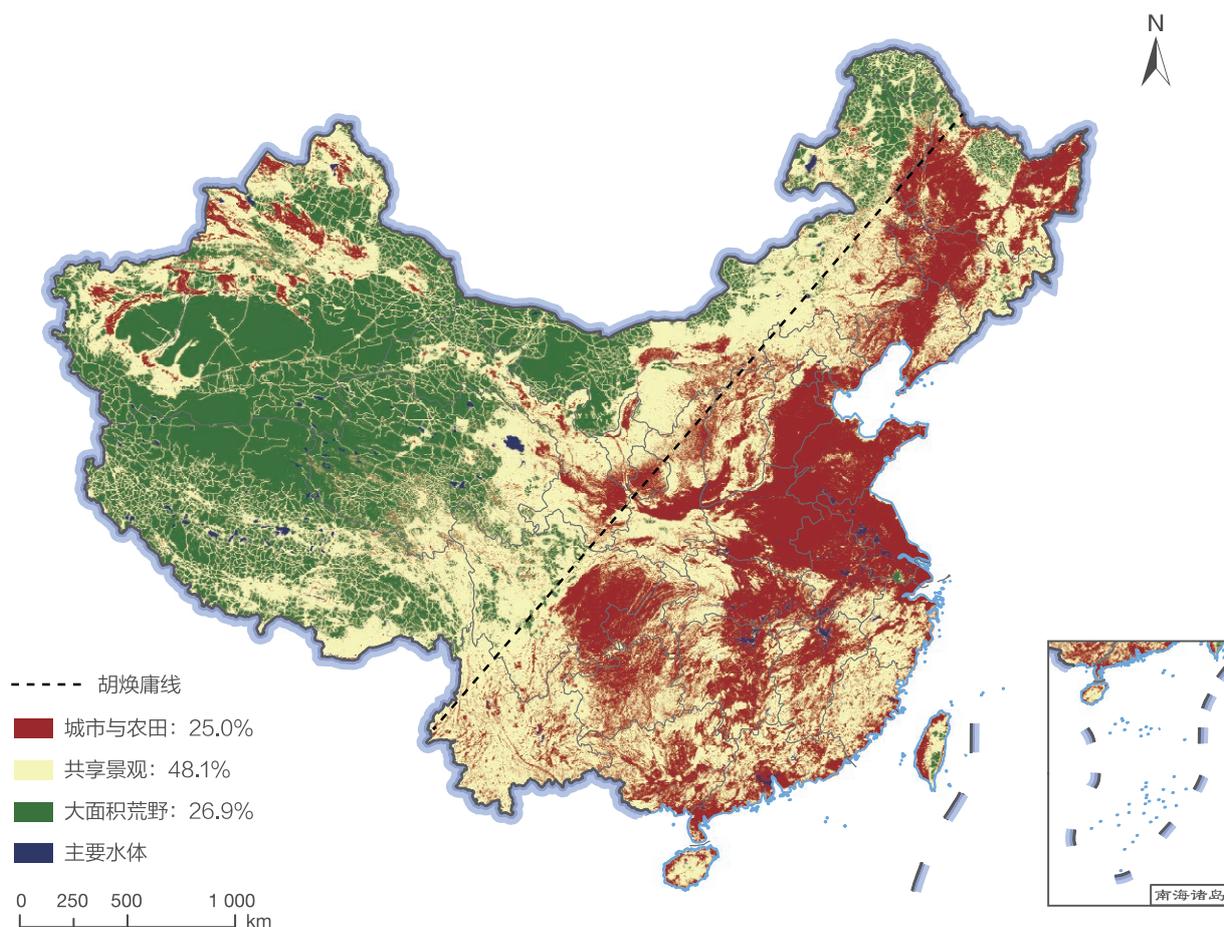


图 7-4. 中国 3 类分区的分布及面积占比

讨论与展望

研究表明，3类分区中，C2是中国生物多样性分布最为集中的区域，但生物多样性的压力集中分布在C1，保护行动集中分布在C3。为此，建议在中国未来的陆地生物多样性保护管理对策中，有针对性地考虑以下几个方面：

（1）减少C1内生物多样性面临的威胁，比如减少污染物的排放，促进资源的回收和可持续利用，推动环境友好型农业发展，建设绿色城市，打击滥捕滥猎等违法活动等；

（2）增加对C2的保护力度，通过建立新的保护地和其他保护措施（如社区保护等）、建立廊道以加强保护地间的连通性、减少人类活动对自然生境的破坏等措施，促进自然资源和生物多样性的保护和可持续利用；

（3）持续推进对C3的永续保护，应严格限制该区域内的人为开发和利用活动，通过建立大型的保护地、加强监测和科学研究以及其他保护措施促进生物多样性的永续保护。

中国土地退化零增长跟踪评估及其全球贡献

对应目标：15.3 到 2030 年，防治荒漠化，恢复退化的土地和土壤，包括受荒漠化、干旱和洪涝影响的土地，努力建立一个不再出现土地退化的世界。

成果亮点

- 基于联合国防治荒漠化公约（UNCCD）的框架体系与地球大数据，率先开展了全球一致、空间可比的国别尺度土地退化零增长基准及进展的监测评估工作。
- 中国土地退化零增长趋势持续向好，与 2015 年相比，2018 年净恢复土地面积同比增长 60.30%，土地恢复净面积约占全球的 1/5，对全球土地退化零增长贡献最大（排第一位）。

案例背景

SDG 15.3 “实现土地退化零增长的世界”是 SDGs 的重要目标之一（United Nations, 2015）。然而，土地退化的定义一度争议较大，其核心恰在于对不同退化过程、起因、特征与危害的分歧，这直接导致了不同土地退化评估结果差异巨大（全球 4%~74%），严重影响了国际社会对全球 / 区域土地退化真实状况的科学认知和准确判断，进而影响其切实行动和有效防治。

当前，联合国 SDGs 跨机构专家组（IAEG-SDGs）确定了 SDG 15.3.1 的监测指标体系（框架），即土地覆盖、土地生产力与土壤有机碳，UNCCD 与地球观测组织土地退化零增长（Group on Earth Observations Land Degradation Neutrality, GEO-LDN）倡议等以此为基础针对数据选取及分析方法也进行了研判，形成了《SDG 15.3.1 评估良好实践指南》（Neil *et al.*, 2019）。然而，

目前尚未有全球尺度上的、空间明确的 SDG 15.3.1 基准及动态进展的结果发布；这与数据可用性、方法不确定性及政治敏感性直接相关。尽管如此，从科技创新促进可持续发展目标的角度来讲，一个符合联合国 SDG 15.3.1 监测指标体系、全球可比且空间明确的 SDG 15.3.1 基准与评估结果仍具有重要参考意义。

2019 年，地球大数据科学与工程开展了 2000~2015 年全球土地退化基准评估，并形成了国家尺度的土地退化零增长（LDN）报告。持续跟踪 SDG 15.3.1 进程，是保障实现 SDG 15.3 的必要前提。为此，2020 年我们以 UNCCD 设计的土地退化零增长监测框架为参考，开展了全球 SDG 15.3.1 进展的评估（以 2015 年为基准年），并重点分析了中国土地退化零增长动态及其全球贡献。

所用数据

◎ 2000~2015 年 SDG 15.3.1 评估结果数据（Guo *et al.*, 2019）；

◎ 2015、2018 年全球土地覆盖数据，欧洲航天局提供，空间分辨率 300 m；

◎ 2000~2018 年增强型植被指数（Enhanced Vegetation Index, EVI）数据，空间分辨率 500 m；

◎ 全球土壤有机碳数据，国际土壤信息参比中

心（International Soil Reference and Information Center, ISRIC）SoilGrid 250，空间分辨率 250 m；

◎ 全球生态分区数据（RESOLVE Ecoregions 2017）；

◎ 2005、2011、2015 年《中国荒漠化和沙化状况公报》。

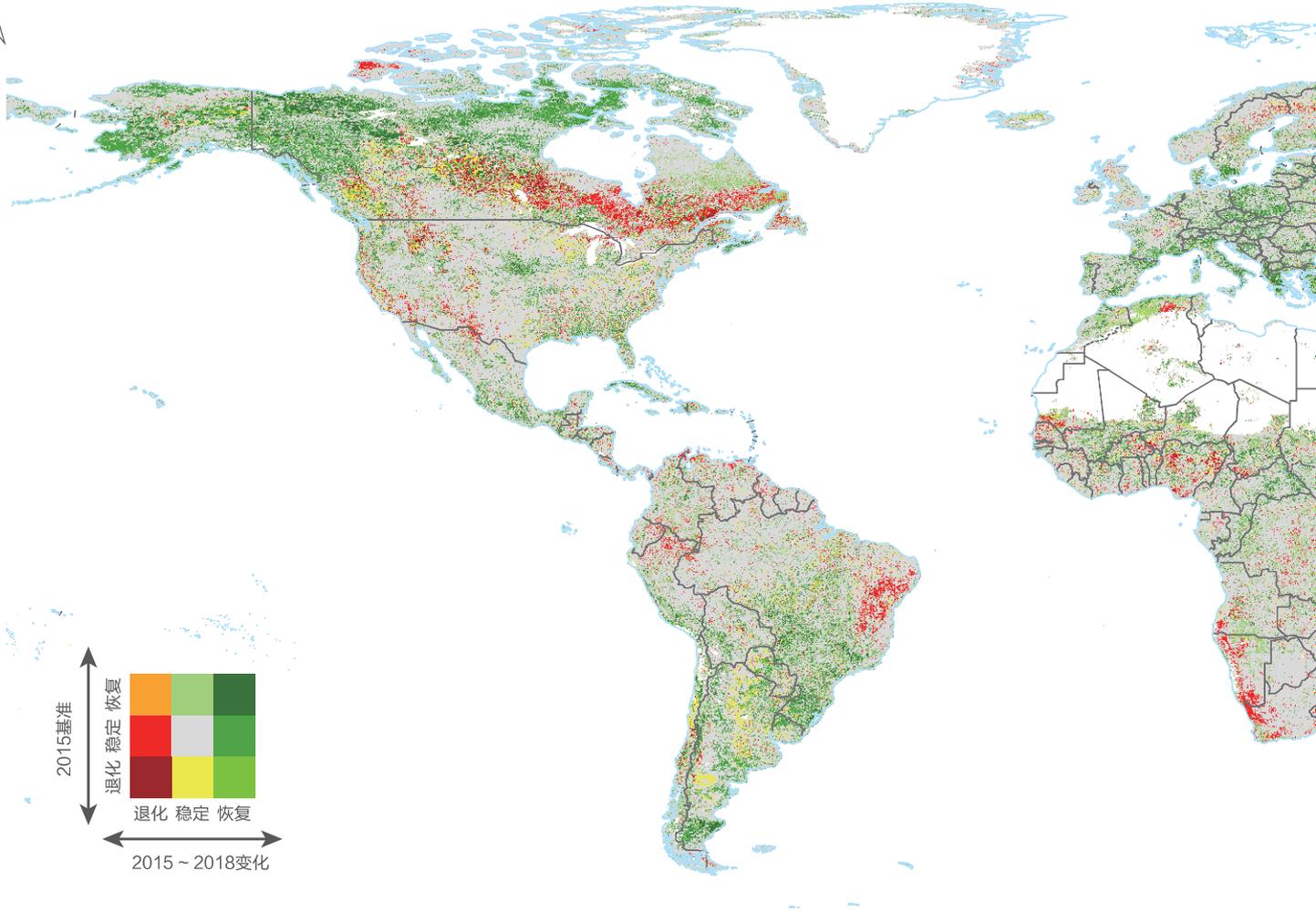


图 7-6.

● 中国 2015 ~ 2018 土地退化
动态及现状统计分析

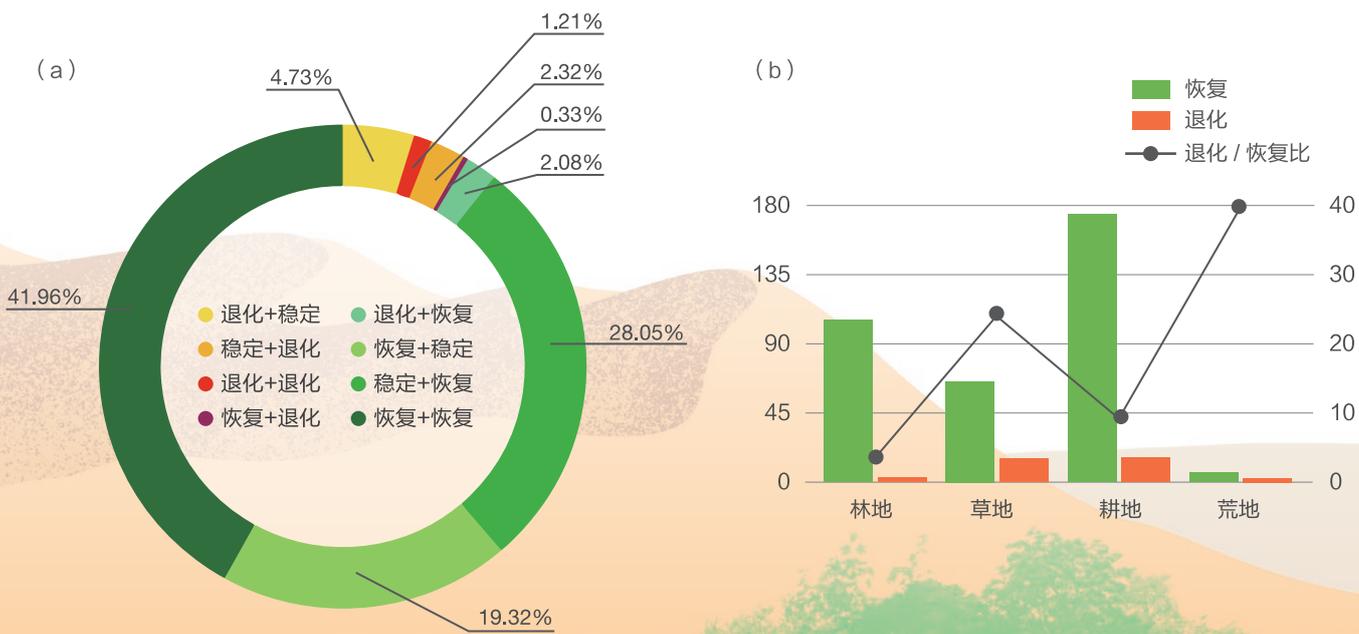
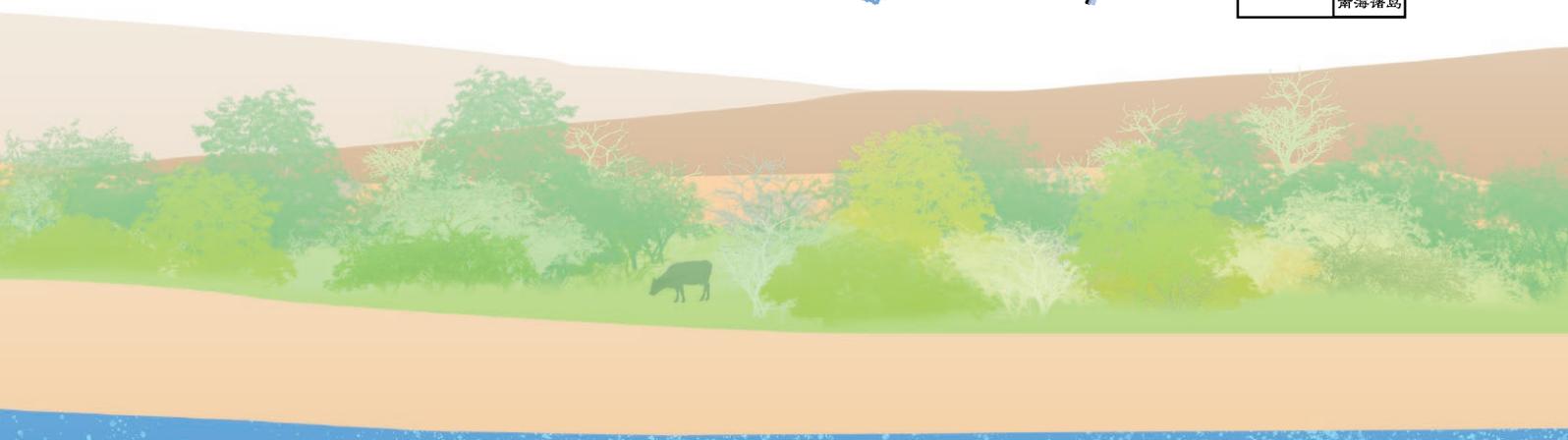


图 7-5.

● 2015~2018 年全球土地退化
基准与动态空间分布



方法介绍

在 2000~2015 年基准评估基础上，利用一致的土地覆盖、土地生产力与土壤有机碳三个子指标开展 2015~2018 年动态评估。针对土地覆盖子指标，利用 2015 与 2018 年的土地覆盖转换矩阵实现土地退化与恢复评估；针对土地生产力子指标，通过分析 2004~2018 年的变化趋势来进行动态评估，分别将显著增加、显著降低及其他变化定义为恢复、退化与稳定三个状态；针

对土壤碳子指标，通过 IPCC 提出的土地覆盖变化与土壤碳变化的对应关系来完成评估，并最终分为退化、恢复与稳定三个级别。综合土地覆盖、土地生产力与土壤碳三个指标评估 2015~2018 年动态，评估原则为任一指标退化则定义为退化。然后通过与 2015 年全球土地退化基准相结合，判断 2018 年全球 SDG 15.3.1 实现情况。

结果与分析

2015~2018 年全球土地退化动态变化如图 7-5 所示。统计分析可知，2015~2018 年间 SDG 15.3.1 趋势整体向好，但存在一定空间差异。中国 2015~2018 年土地退化零增长趋势持续向好，土地退化净恢复面积同比增加了 60.30%，2018 年中国土地净恢复面积占全球 17.76%（排名第一），与 2015 年基准年占比（18.24%）基本相当，对全球土地退化零增长贡献最大。

从中国 2015~2018 年土地退化动态数据（图 7-6）来看，恢复占比 29.16%，退化占比 1.56%，稳定占比 69.28%。对于呈变化趋势土地，结合 2015 年基准情况，持续恢复占比 41.96%，稳定转为恢复占比 28.05%，持续退化占比 1.21%，稳定转为退化占比 2.32%。特别是，

2015~2018 年的 4 年期间，原有退化土地中退化加剧的有 $4.62 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，实现逆转的有 $8.02 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，体现了中国在土地退化恢复方面的成绩。与此同时，不同土地覆盖类型的土地退化形势也不尽相同。从 2018 年不同土地覆盖类型统计情况来看，当前退化主要发生在耕地和草地类型；从退化与恢复比例情况来看，中国林地在 LDN 目标实现上表现最好，耕地尽管存在一定退化但恢复比例更大，因此未来 LDN 目标实现压力不大，草地与荒地面临一定风险，当前退化 / 恢复面积分别为 24.04% 与 39.73%，考虑到气候变化背景的不利影响未来应予以格外关注。

讨论与展望

案例参考 UNCCD《SDG 15.3.1 评估良好实践指南》，利用国际共享数据集，实现了 SDG 15.3.1 的跟踪监测，评估了中国土地退化零增长趋势，并在全球一致、可比的数据基础上明确中国土地退化零增长对全球的贡献，为争取 SDG 15.3.1 的实现提供了重要信息支持。

案例所用方法为面向全球尺度的可操作性方法，强调符合 IAEG-SDGs 指标体系，结果全球一致并可对比。因此，该结果并不代表具体国家地区有关 SDG 15.3 的准确数字，因这一尺度考虑的退化过程与指标体系更为复杂。然而，这不妨碍案例成果对了解国家及区域尺度 SDG 15.3 实现进程的重要参考作用。基于地球大数据视

角的中国土地退化零增长实现情况与趋势，与国家林业和草原局发布的“自 2004 年以来，中国荒漠化和沙化土地面积连续三个监测期保持双减少，中国实现荒漠化土地零增长”的结论一致。

需要指出的是，恢复与退化的评估严格对应于评估的时间周期（UNCCD-LDN 科学框架），存在着评估结果为恢复但实际仍处于退化水平的情况。因此，在看到土地退化零增长积极进展的同时，尚需认识到中国土地退化面临形势仍较为严峻。未来应加大科学保护与治理力度，提升土地退化零增长监测方法体系与能力，以争取在 2030 年实现更高水平土地退化零增长。

黄土高原大规模绿化与水土保持及黄河泥沙关系

对应目标： 15.3 到 2030 年，防治荒漠化，恢复退化的土地和土壤，包括受荒漠化、干旱和洪涝影响的土地，努力建立一个不再出现土地退化的世界。

成果亮点

- 利用地球大数据，通过计算不同时期土壤侵蚀控制指数（SECI）实现了植被变化水土保持功效定量评估。
- 自 2000 年以来黄土高原植被覆盖状况大幅度改善，平均增幅可达 17.06%，植被水土保持功效平均提升 22%。

案例背景

自 2000 年以来，随着退耕还林还草及相关水土保持措施的实施，中国黄土高原地区生态环境发生了深刻变化，植被状况达到大规模以及大幅度好转，成为近年来全球为数不多的植被覆盖明显改善的区域之一，引起国际社会的高度重视。与此同时，随着植被覆盖的明显增加，黄土高原水土流失状况明显改善，黄河泥沙也随之大幅度减少。本案例紧密围绕 SDG 15.3 土地退化零增长目标，

以中国黄土高原为对象，利用遥感大数据，以植被覆盖度（Fraction of Vegetation Cover, FVC）数据产品为基础，通过计算不同时期土壤侵蚀控制指数（Soil Erosion Control Index, SECI）获取植被变化所产生的水土保持功效，开展近 20 年来黄土高原大规模绿化对水土保持的作用及贡献评估，为未来区域土地退化评价以及水土保持监测探索新途径和新方法。

所用数据

◎ FVC 数据产品，欧洲航天局全球土地服务平台；
时间范围：2000~2019 年；分辨率：1 000 m；

◎ 黄河泥沙公报，黄河水利委员会；
◎ 水资源公报，黄河水利委员会。

方法介绍

以 2000~2019 年黄土高原 FVC 动态数据为基础，计算土壤侵蚀控制指数以反映水土保持措施对土壤侵蚀量的控制能力（假如治理措施仅为植被措施时，也可以理解为植被的水土保持作用和效果），结合通用水土流失

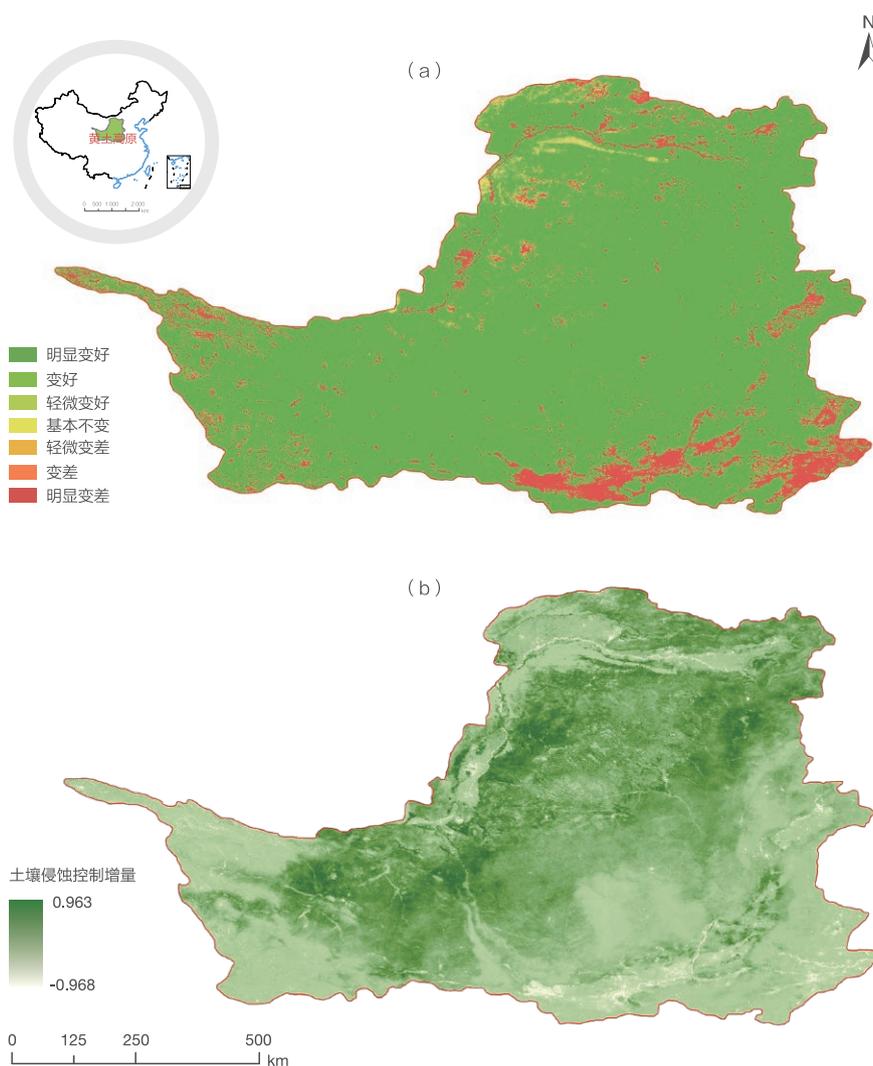
方程研究植被覆盖变化对水土保持的影响，从而得出黄土高原近年来大规模植被恢复（包括退耕还林、禁牧、植树造林等活动）水土保持功效及其对防治土壤侵蚀的贡献。

结果与分析

近 20 年来黄土高原地区植被覆盖大幅度增加（图 7-7a），植被覆盖全区平均增幅高达 17.06%。进一步研究表明，不同地区及典型流域植被覆盖增幅有所差异，其中黄土高原陕西部分增幅为 16.06%，延安市增幅为 21.58%，延河甘谷驿以上增幅为 23.89%，陕北大理河增幅为 27.10%。

黄土高原近 20 年来土壤侵蚀控制指数增量如图 7-7b 所示。从中可以看出，其土壤侵蚀控制指数（水土保持功效）与植被覆盖对应，黄土高原全区平均增幅 22.00%，陕西黄河流域平均 17.10%，陕北大理河 29.90%，延安市 12.30%，延河上游（甘谷驿以上）18.10%。

→ 图 7-7. 黄土高原近 20 年来植被覆盖动态 (a) 及水土保持功效增量 (b)



讨论与展望

案例构建了基于地球大数据的土壤侵蚀控制指数，实现了植被变化对水土保持贡献的定量评估。结果表明，近 20 年来黄土高原植被覆盖状况大幅度改善，黄土高原水土保持成效显著，但上述功效因地区不同增幅不一。

自 20 世纪末以来，黄土高原水土流失治理工程持续处于高强度、大规模实施阶段。河口 - 龙门区间年输沙

量在这一时段属于人为减沙持续显著响应时期，年输沙量长期处于低位。自 2000 年以来，黄河潼关水文站年输沙量在 3.00×10^8 t 以下。这也从末端充分说明近年来黄土高原水土保持成效以及黄土高原大规模植被恢复所发挥的水土保持功效。

中国北方半干旱区及周边沙漠化时空动态及治理成效评估

对应目标：15.3 到 2030 年，防治荒漠化，恢复退化的土地和土壤，包括受荒漠化、干旱和洪涝影响的土地，努力建立一个不再出现土地退化的世界。

成果亮点

- 形成了 1975~2015 年中国北方半干旱区及周边沙漠化长时间序列数据集，可为准确了解我国沙漠化时空动态过程提供重要数据支持。
- 2000 年是我国半干旱区沙漠化进程转折点，2000 年之前呈现退化趋势，主要原因来自樵采、过度开荒及放牧等不合理的人类活动，2000 年后沙漠化过程逆转，主要归功于生态保护政策的实施。

案例背景

沙漠化是以风沙活动为主要标志的一种荒漠化类型（Wang *et al.*, 2015）。中国北方半干旱区及其周边的农牧交错区和牧业区是沙漠化发生发展的重点地区，也是近年来出现逆转的主要地区。开展中国北方半干旱区及

周边沙漠化土地沙漠化动态监测，分析其时空变化对气候变异和人类活动的响应，有助于认识沙漠化发生发展的过程机制，预测未来的发展方向，提出科学合理的调控措施。

所用数据

- ◎ 1975~2015 年时间序列美国陆地卫星系列数据；
- ◎ 1 : 10 万地形图，自然资源部；
- ◎ 1 : 100 万地貌图。

方法介绍

根据土地沙漠化分类体系和解译标志，实现沙漠化信息提取。分类体系参考“中国北方土地沙漠化遥感监测分类体系”，将沙漠化类型分为四类：流动沙地、半

流动沙地、半固定沙地和固定沙地，与此相对应的沙漠化程度定义为：严重沙漠化、重度沙漠化、中度沙漠化和轻度沙漠化（Wang *et al.*, 2004）。

结果与分析

从中国北方半干旱区及周边地区沙漠化土地分布(图 7-8)可以看出，监测区的沙漠化土地集中分布在五大沙地地区。统计发现，1975~2000 年是沙漠化迅速发展的时期，沙漠化土地平均增长速率约为 2 486.57 km²/a。

2000 年之后，沙漠化趋势减缓，沙漠化土地面积逐渐减少，但平均逆转速率为 578.35 km²/a，远远低于 2000 年之前的发展速率。2000 年之后的沙漠化土地逆转速率也存在阶段性差异，其中 2000~2005 年为逆转速率较快的

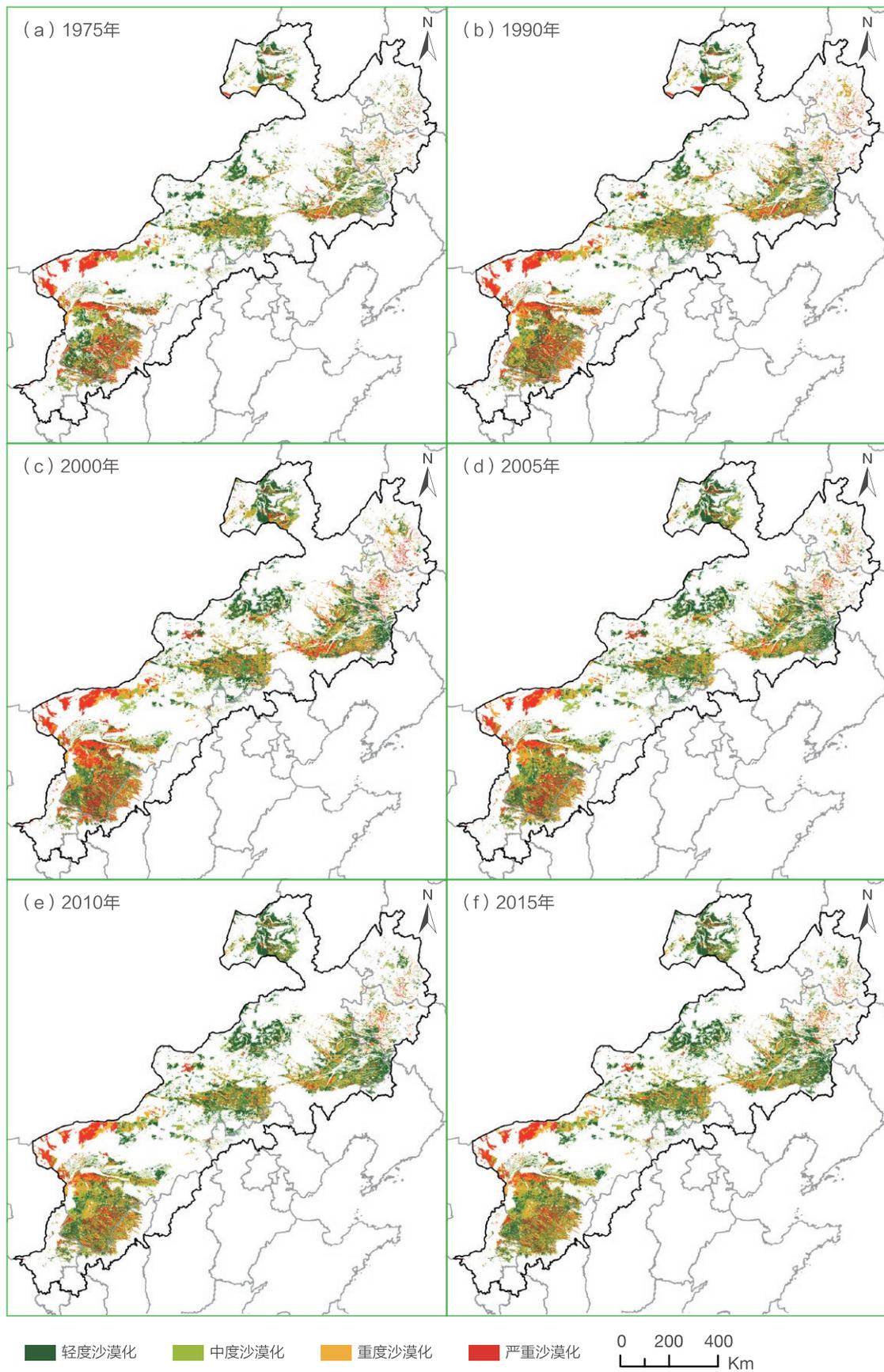


图 7-8. 中国北方半干旱区及周边地区沙漠化土地时空分布

时期，平均逆转速率为 $1\,129.05\text{ km}^2/\text{a}$ ；2005~2010 年的平均逆转速率为 $604.81\text{ km}^2/\text{a}$ ；2010~2015 年的沙漠化土地面积基本保持不变，5 年间仅减少了 5.96 km^2 。

不同程度的沙漠化土地表现出不同的时空变化过程（图 7-9）。其中，轻度和中度沙漠化土地占沙漠化土地总面积的 62% 左右，而重度和严重沙漠化土地占沙漠化土地总面积的 38% 左右。其中，轻度沙漠化土地除了在 1975~1990 年减少外，其他时期都表现为增加的态势，

尤其在 2000 年之后增加尤为明显，说明监测区的沙漠化程度有减轻的趋势。中度和重度沙漠化土地的发展态势比较一致，在 1975~1990 年表现出显著增加，之后为缓慢增加，在 2000 年之后逐渐稳定。严重沙漠化土地面积随时间变化比较剧烈，2000 年之前表现为显著增加而之后表现为迅速下降，这也进一步说明了中国北方半干旱区沙漠化土地在 2000 年之后伴随着面积减少的同时，程度也在减轻，呈现逆转趋势。

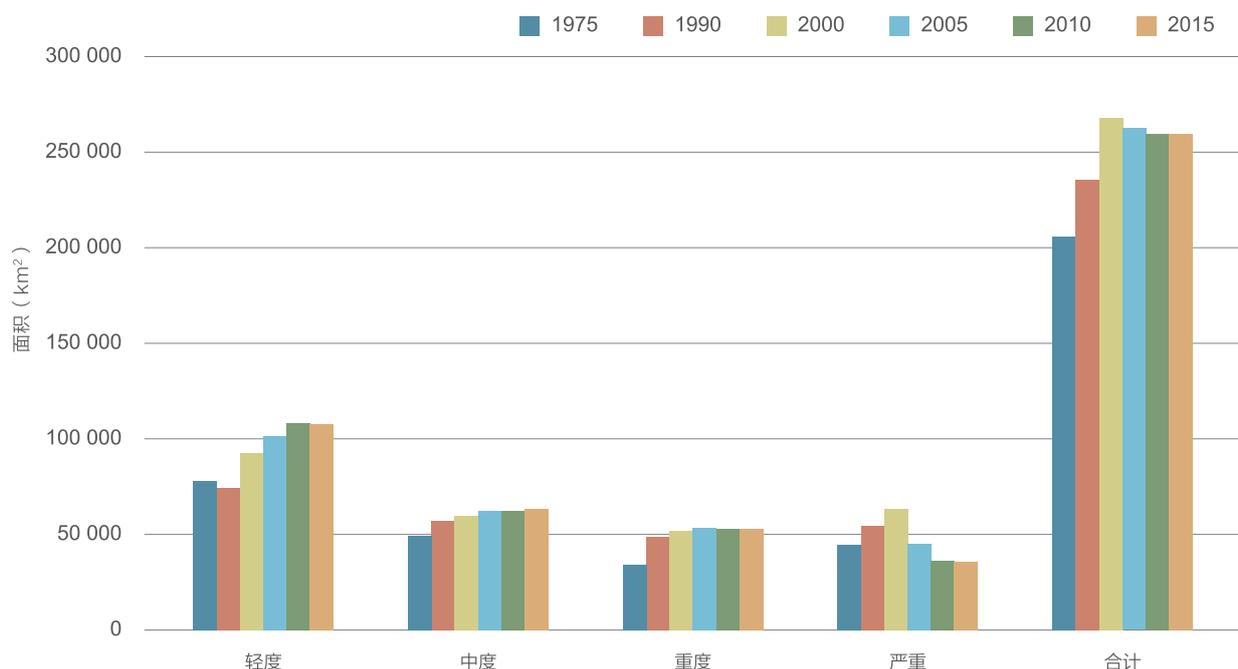


图 7-9. 中国北方半干旱区及周边地区不同程度沙漠化土地面积的时间变化

讨论与展望

中国北方半干旱区及周边地区的沙漠化一方面来自生态系统的脆弱性和不稳定性，另一方面在很大程度上受控于人类活动。近 40 年来，沙漠化发生的环境背景没有明显变化，而某些气候要素和人类活动则发生了显著的改变。首先，除了年均风速呈现略微降低的趋势外，在全区降水量不变局部减少的背景下，强降雨事件增加而降水频率降低是主要的气候变异特征，特别是在 2010 年之后尤为明显。其次，人类活动从 2000 年之前

的过度开垦、放牧和樵采逐渐过渡为退耕还林还草以及围栏禁牧、休牧和轮牧等以保护环境为主的土地利用方式。气候变异和人类活动的阶段性差异导致了沙漠化在不同时期受控于不同的驱动力。研究表明，1975~2000 年的沙漠化发生与发展主要来自不合理的人类活动。而 2000~2010 年之后的沙漠化逆转则主要归功于生态治理政策。2010~2015 年沙漠化逆趋势减缓则在很大程度上受到了干旱的影响。

中国植物多样性致危因素与保护对策

对应目标：15.5 采取紧急重大行动来减少自然栖息地的退化，遏制生物多样性的丧失，到 2020 年，保护受威胁物种，防止其灭绝。

成果亮点

- 采用物种风险指数表征灭绝风险，与基于多次评估动态数据的红色名录指数相比，具有更加广泛的适用性。
- 物种风险与人类压力交互作用高风险高压区，保护区覆盖率仅有 4%，因地制宜针对保护空缺制定保护和恢复行动策略，有助于提高保护效率、遏制物种丧失。

案例背景

人类活动和土地利用给自然环境带来了前所未有的压力，导致数以万计的物种灭绝。为实现联合国 SDG 15.5 采取紧急和重大行动，减少自然栖息地退化，遏制生物多样性丧失，保护和预防濒危物种灭绝的宏伟目标，各国和国际社会首先要明确如何在空间上实现这些目标，确定应该优先管理和保护哪些区域，以便在生物多样性保护与利用之间获得最大的协同。

以往基于最小面积保护更多物种为核心确定优先保

护区时，只关注物种分布热点区域，而非物种灭绝风险，忽视了物种遭受人类活动威胁的强度，极大限制了缓解物种丧失的有效性。基于此，本研究以中国保护植物为例，利用地球大数据的优势集成物种分布、生境、海拔、人类活动等多个要素，分析保护植物受威胁关键区域及生存避难所，这些地区对于许多受威胁物种的生存至关重要，而大多数这种高价值的栖息地仍未受到保护，应采取保护或恢复行动以阻止物种灭绝。

所用数据

◎ 保护植物分布数据：全球生物多样性信息网络、国家标本资源共享平台、自然标本馆、文献、志书等；

◎ 海拔数据：地球大数据共享服务平台；

◎ 生境数据：欧洲航天局 2018 年 300 m 土地覆盖

数据；

◎ 保护地矢量数据：地球大数据共享服务平台、资源环境数据云平台、世界保护区数据库数据融合；

◎ 人类足迹科学数据（McGowan, 2016）。

方法介绍

整合多源分布数据并结合物种生境偏好和海拔极限，使用土地覆盖图和高程图过滤不适宜物种分布区域，使分布范围更加接近真实分布（Brooks *et al.*, 2019）。基于物种分布和 2016 年生态环境部发布的《中国物种红色名录》3 万余种植物评估等级，优化了物种风险指数（Biodiversity Risk Index, BRI）：

$$BRI = \sum_{i=1}^N \frac{WS_i}{\log_{10}(Area_i)}$$

式中，N 为评估物种的数量；WS 为物种红色名录世界自然保护联盟（International Union for Conservation of Nature, IUCN）等级的线性权重值，即无危=0，近危

=0.2, 易危 =0.4, 濒危 = 0.6, 极危 =0.8, 灭绝 =1.0。Area 为物种分布面积 (km^2)。基于 BRI 与人类足迹指数 (Human Footprint, HFP) 双变量分布图 (分辨率 3

km), 确定物种遭受威胁关键区以及未受威胁的避难所, 为有效减缓和扭转物种丧失提供重要信息。

结果与分析

物种灭绝高风险且人类活动低威胁区域集中于云南北部高海拔特有种分布较多的山区 (图 7-10b), 物种灭绝高风险且遭受人类活动高威胁的区域 (TOP 25% 优先区) 集中在中国人类活动聚集、经济发达的南方地区 (图 7-10c), 中国西部具有大面积保存相对完整的荒野地, 物种受人类活动威胁强度较低、生存状态与生境也相对较好 (图 7-10d), 内蒙古及新疆北部虽然面临高强度的放牧、生境破碎化等人类威胁, 但中国西北广布物种分布较多, 物种面临灭绝的风险较低 (图 7-10e)。

值得关注的是, 高风险高威胁保护区覆盖率只有 4% (图 7-10c), 高风险低威胁保护区占比 31%, 这些地区分布着受威胁等级高、生境破碎化严重的物种, 物种丧失风险和保护价值较高。前者应该采取措施恢复破碎化生境; 后者应该采取保护策略, 优先扩大该地区保护面积, 保护好物种赖以生存的避难所。低风险低威胁保护区占比 27%, 多为景观完整、干扰较少的荒野地, 拥有中国最大保护地面积, 物种风险指数较低。总体而言, 受人类活动压力较大的区域, 保护区覆盖率低, 是以往保护工作忽视的地区, 特别是拥有高风险指数的地区生境退化、破碎化严重, 设置保护区难度大, 应采取恢复生境为主的行动策略, 制定强有力的法规限制对栖息地的威胁, 减缓生物多样性的丧失。鉴于物种灭绝的不可逆转性, 我们更应该对保护空缺地区采取积极行动, 保护好独特生物多样性栖息地, 改善人类福祉, 鼓励高风险以外的区域发展经济。

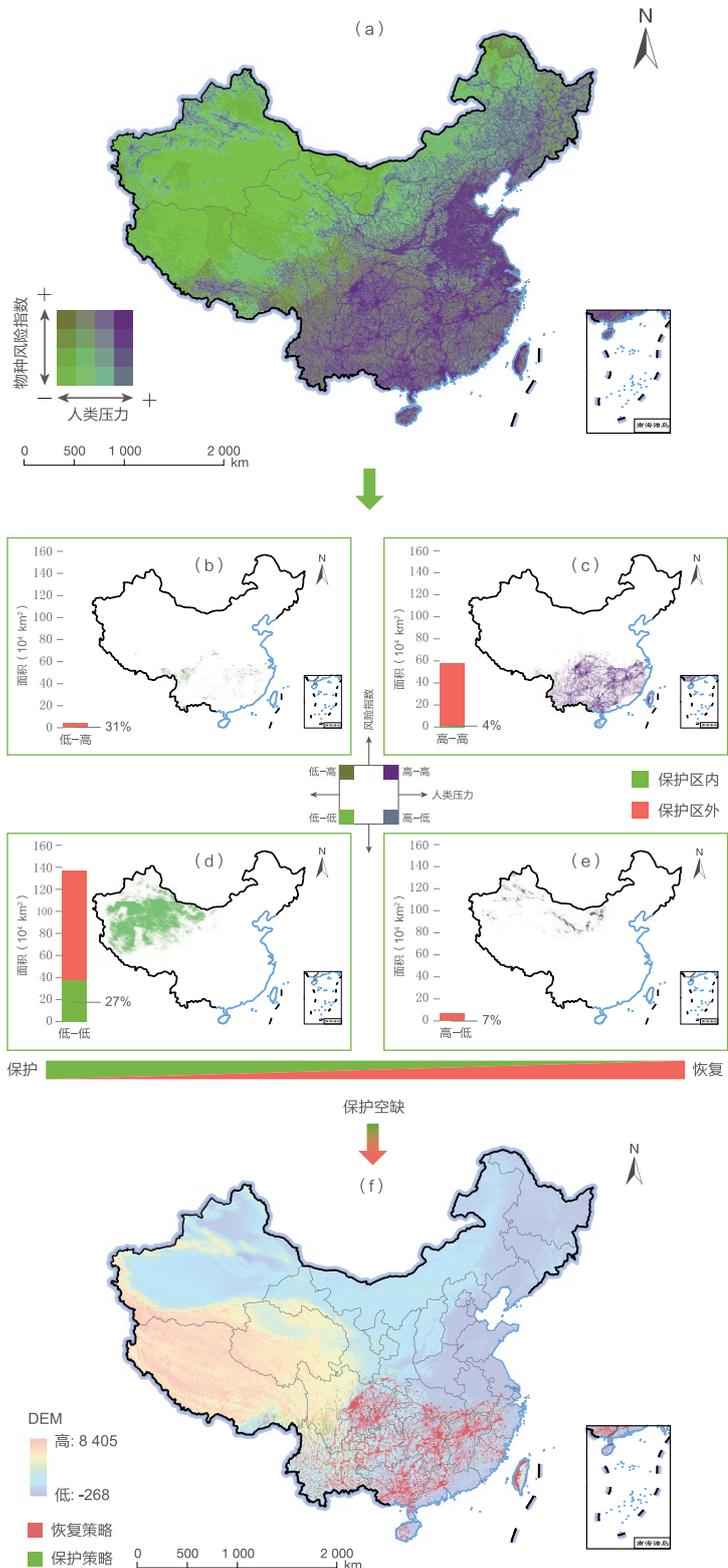


图 7-10. 多样性风险指数与人类压力双变量分布及保护空缺

讨论与展望

人类足迹指数综合衡量人类活动压力，已成为预测物种灭绝风险的有力指标（Allan *et al.*, 2019; Mokany *et al.*, 2020）。本研究集成人类足迹指数确定了中国植物多样性受威胁的热点区及避难所，并结合现有保护区分布，明晰中国植物多样性的保护空缺，建议因地制宜地实施分区保护管理措施。通过增设保护区主动保护策略与管

理和减缓威胁因素为主的恢复管理策略相结合的方式，保护物种赖以生存的栖息地，为实现 2030 年可持续发展目标明确中国未来保护地扩展区域和加强生境恢复管理的重要区域，为遏制生物多样性丧失的国家保护行动计划实施提供保护空缺信息与有益的方法，完善保护区规划和行动方案的制定。



本章小结

本章聚焦森林、土地退化与生物多样性三个方向，围绕森林比例（SDG 15.1.1）、生物多样性保护（SDG 15.1.2）、退化土地比例（SDG 15.3.1）及红色名录（SDG 15.5.1）四个指标，面向全球 - 中国 - 典型地区三个尺度，发展了地球大数据支撑的指标评价模型和方法，实现了 SDG 15 多指标的动态、空间精细化、定量监测与评估，形成了全球尺度 30 m 分辨率森林覆盖，中国保护植物 /

动物的受威胁状态、范围及压力累积等关键数据集，发展了综合时空谱多维特征的森林类型提取、植被变化水土保持功效定量评估等关键方法，并在中国土地退化零增长动态及全球贡献、中国北方荒漠化与水土流失动态变化机制及中国生物多样性保护分区与对策等方面提出了政策建议。



五大连池风景区 火山口

总结与展望

一、2020年，联合国开启可持续发展行动十年。5年来的实践表明，落实2030年议程依然面临数据缺失、指标体系研究不足、发展不平衡等问题，这对科技创新提出了更高的要求，其中对数据和方法是重要、迫切的需求。

本报告针对6个SDGs中的18个具体目标，实现地球大数据向SDGs相关应用信息的转化，以期对这些具体目标作出方法和数据上的贡献。

（一）针对SDG 2.2.1、SDG 2.4.1零饥饿指标，发现2002~2017年，中国5岁以下儿童生长迟缓率从18.8%降至4.8%，已达到SDG 2.2对应目标（5.9%）；通过提高复种，中国可增加 $1.35 \times 10^5 \text{ km}^2$ 至 $3.63 \times 10^5 \text{ km}^2$ 粮食收获面积；稻谷和小麦在面积最大主产区的单产提升潜力分别为2015年单产的13.3%和12.5%，其实现可使两种作物的全国产量满足2030年预测的消费需求；在不损失粮食产量的前提下，中国三大主粮作物的氮磷肥投入量有17%~19%的减幅空间。

（二）针对SDG 6.3.2、SDG 6.6.1等清洁饮水和卫生设施指标，发现2000~2019年，中国湖泊水体总体清澈程度表现良好，且呈现出继续向好态势；2015~2018年，中国红树林面积净增长22.11%，恢复成效显著，互花米草面积净减少2.59%，入侵态势得到有效控制；2000~2018年，亚欧非大陆50%的国际重要湿地水体面积呈现了显著的变化趋势，其中58%表现为增长趋势。

（三）针对SDG 11.1.1、SDG 11.2.1等可持续城市和社区指标，发现自1990年，中国434个城市土地使用率与人口增长率比率上升，2015年后城市建成区扩张速率减缓；2019年中国27个城市主城区棚户区人口南北方和东西部空间差异显著，其中4个城市棚户区人口占比超过3%；与2015年相比，2018年中国342个地级市建成区公共空间面积平均比例增加约1.5%，近50个城市公共空间面积比例超过20%；2018年中国城市可使用公共交通的人口比例平均为80.56%，与2015年相比，约80%的城市出现不同程度增长；相比2015年，2018年有28个省级行政区SDG 11综合指数呈不同程度增长。

（四）针对SDG 13.1、SDG 13.2气候行动具体目标，发现20世纪90年代末以来，中国极端高温热浪灾害的频率和强度显著增加，高纬度和高海拔地区的相对极端高温热浪值得警惕；预测2030s中国主要作物开花期、成熟期大概率提前，将对小麦和玉米带来减产风险，需要在作物管理、品种培育等方面作出调整和改进。

（五）针对SDG 14.1、SDG 14.2等水下生物具体目标，发现2018年中国近海漂浮垃圾丰度比2010~2014年平均值下降约25%；2019年中国近海微塑料形态主要为纤维状、线状、颗粒状和碎片；2015~2019年，中国胶州湾、四十里湾和大亚湾的生态系统健康整体处于良好状况；2017~2020年，中国海洋筏式养殖面积整体处于增长阶段，但大部分近海生态保护红线内筏式养殖面积基本保持稳定。

（六）针对SDG 15.1.1、SDG 15.1.2等陆地生物指标，发现2000~2019年，中国黄土高原植被覆盖状况大幅度改善，植被水土保持功效总体提升22%；2015~2018年，中国土地退化零增长趋势向好，净恢复土地面积同比增长60.30%，约占全球土地净恢复面积的1/5，对全球土地退化零增长贡献最大；实现了中国生物多样性保护和可持续利用分区，发现中国物种风险与人类压力交互作用高风险高压力保护区覆盖率较低，提出了因地制宜针对保护空缺保护和恢复行动策略。

二、2020伊始全球新冠肺炎疫情的蔓延严重挑战公共卫生安全，全面冲击世界经济运行，2030年议程全球落实面临巨大挑战。在此背景下，全球各界需更深入地思考加快落实2030年议程路径，探寻突破可持续发展困境的地球大数据科技支撑手段。

（一）从全球而言，指标数据的不足依然是SDGs实现的一个重要问题。许多国家，特别是发展中国家尚未能有效利用先进技术开展SDGs指标进展监测与评估，SDGs数据缺失的问题严峻。

（二）及时掌握2030年议程全球实施进展，需要一个系统的评估方法和标准体系作为支撑，建立地球大数据支撑完善SDGs指标体系及其评价方法，已成为全球

科技界面临的紧迫和重要任务。

(三) 地球大数据的宏观、动态、客观监测能力, 可为 SDGs 提供大尺度、周期变化的丰富信息用于决策支持 (Guo, 2018)。许多决策者、不同领域的科学家及从业者对地球大数据支撑全球 SDGs 的潜力认识尚不足, 亟须加强地球大数据科技合作, 实现方法共享、数据共享, 加速落实 SDGs 进程。

三、当前, 中国科学家在利用地球大数据服务可持续发展方面已开展了全面实践, 为以系统性和整体性的理念去研究 SDGs 实现面临的一系列重大科学问题, 还需要重点开展以下工作:

(一) 加强地球大数据支撑可持续发展目标研究。SDGs 实现需依靠经济、社会和环境三重维度的协同发展, 这也催生了一门新的、更具参与性的学术学科——可持续性科学, 为可持续发展创造有用的科学知识。地球大数据的宏观、动态监测能力为经济、社会、环境可持续性评价提供了重要手段, 并可整合多源数据, 有助于产生更相关、更丰富的信息用于决策支持。下一步将重点利用地球大数据, 开展 SDGs 蕴含的经济、社会和环境因子内在关联分析, 完善 SDGs 指标体系。

(二) 加强利用地球大数据的 SDGs 数据共享服务。将进一步研究 SDGs 数据资源实时获取、按需汇聚、融合集成、开放共享与分析等系列技术, 利用中国科学院

已生产的 8 PB 和每年连续产出的 PB 量级数据资源, 形成地球大数据支撑 SDGs 评估测量的方法体系, 实现 SDGs 数据的收集、处理和产品生产, 形成 SDGs 评估的系列数据产品, 向联合国各机构、成员国等开放共享, 为 SDGs 落实过程中的数据缺失问题提供实质性解决方案。

(三) 加强利用地球大数据服务 SDGs 的能力建设。可持续发展一个重要的目标就是解决全球发展不平衡、不充分的问题, 不让一个人掉队。只有通过国际合作把科技创新成果主动分享和造福于科技落后的国家, 才有可能最大程度在全球实现 2030 年愿景 (Guo, 2017)。下一步将建设集高性能计算、大数据分析、人工智能等于一体的 SDGs 数据基础设施, 为 SDGs 研究提供可视化综合分析系统平台, 为发展中国家提供地球大数据 SDGs 监测和评估的人才培养和培训。

(四) 加强地球大数据的 SDGs 知识支撑服务。科技创新是支撑可持续发展的重要途径, 在日趋严峻的地球资源和环境约束条件下, 亟需有效观测和认知地球系统环境资源变化格局, 揭示人地关系及其与可持续发展的相互作用机制, 以采取更有效的科学方案实现共同发展。未来, 将充分利用科学技术, 为实现经济、社会和环境各方面平衡发展, 落实 2030 年议程提供关键知识和技术支撑。

缩略词

BP Ratio	Bacillariophyta Pyrrophyta Ratio	硅藻甲藻丰度比值
BRI	Biodiversity Risk Index	物种风险指数
CAS	Chinese Academy of Sciences	中国科学院
CASEarth	CAS Big Earth Data Science Engineering Program	中国科学院地球大数据科学工程
CCMP	Cross-Calibrated Multi-Platform	交叉定标多平台
Chl a	Chlorophyll a	叶绿素 a
COVID-19	Corona Virus Disease 2019	新冠肺炎
DEM	Digital Elevation Model	数字高程模型
DSSAT	Decision Support System for Agrotechnology Transfer	农业技术转移决策支持系统
EGR	Economic Growth Rate	经济增长率
EGRLCR	Ratio of Economic Growth Rate to Land Consumption Rate	经济增长率与土地使用率之间的比率
EVI	Enhanced Vegetation Index	增强型植被指数
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations	联合国粮食及农业组织
FVC	Fraction of Vegetation Cover	植被覆盖度
GDP	Gross Domestic Product	国内生产总值
GEO	Group on Earth Observations	地球观测组织
GEO-LDN	Group on Earth Observations Land Degradation Neutrality	地球观测组织土地退化零增长
GEV	Generalized Extreme Values	广义极值
GF-2	Gaofen-2	高分 2 号
GPP	Gross Primary Productivity	总初级生产力
HFP	Human Footprint	人类足迹指数
IAEG-SDGs	Inter-Agency and Expert Group on SDG indicators	SDGs 跨机构专家组
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	政府间气候变化专门委员会
ISRIC	International Soil Reference and Information Centre	国际土壤信息参比中心
IUCN	International Union for Conservation of Nature	世界自然保护联盟
JRC	Joint Research Centre of the European Commission	欧盟委员会联合研究中心
KBAs	Key Biodiversity Areas	关键生物多样性区域
LCR	Land Consumption Rate	土地使用率
LCRPGR	Ratio of Land Consumption Rate to Population Growth Rate	土地使用率与人口增长率之间的比率
LDN	Land Degradation Neutrality	土地退化零增长

LWS	Level of Water Stress	用水紧张程度
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer	中分辨率成像光谱仪
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	归一化植被指数
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development	经济合作与发展组织
OLI	Operational Land Imager	陆地成像仪
PE	Polyethylene	聚乙烯
PET	Polyethylene Terephthalate	聚对苯二甲酸乙二醇酯
PGR	Population Growth Rate	人口增长率
PMUD	Population in Main Urban Districts	主城区人口
PPST	Proportion of Population in Shantytowns	棚户区人口占比
PS	Polystyrene	聚苯乙烯
PST	Population in Shantytowns	棚户区人口
RCP	Representative Concentration Pathway	代表性温室气体排放路径
RS-CYM	Remote Sensing-Crop Yield Model	遥感作物产量模型
SDD	Secchi Disk Depth	水体透明度
SDG	Sustainable Development Goal	可持续发展目标
SDSN	Sustainable Development Solutions Network	可持续发展解决方案网络
SECI	Soil Erosion Control Index	土壤侵蚀控制指数
STI	Science, Technology and Innovation	科学、技术和创新
TFM	Technology Facilitation Mechanism	技术促进机制
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission	热带降雨测量任务
UN	United Nations	联合国
UNCCD	United Nations Convention to Combat Desertification	联合国防治荒漠化公约
UNDRR	United Nations Office for Disaster Risk Reduction	联合国减少灾害风险办公室
UN-Water	United Nations Water	联合国水机制
VIIRS/DNB	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite Day/Night Band	可见光红外成像辐射仪白天 / 夜晚波段
WHO	World Health Organization	世界卫生组织
WWF	World Wide Fund for Nature	世界自然基金会

主要参考文献

- Allan, J. R., Watson, J. E. M., Di Marco, M., *et al.* (2019). Hotspots of human impact on threatened terrestrial vertebrates[J]. *PLoS Biology* 17: e3000158. DOI:10.1371/journal.pbio.3000158.
- Black, R. E., Victora, C. G., Walker, S. P., *et al.* (2013). Maternal and child undernutrition and overweight in low-income and middle-income countries[J]. *Lancet* 382: 427–451. DOI: 10.1016/S0140-6736(13)60937-X.
- Brooks, T. M., Pimm, S. L., Akçakaya, H. R., *et al.* (2019). Measuring terrestrial area of habitat (AOH) and its utility for the IUCN Red List[J]. *Trends in Ecology & Evolution* 34: 977–986. DOI: 10.1016/j.tree.2019.06.009.
- Cao, Y., Carver, S., Yang, R. (2019). Mapping wilderness in China: Comparing and integrating Boolean and WLC approaches[J]. *Landscape and Urban Planning* 192: UNSP 103636. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2019.103636.
- Chang, N. N., Luo, L., Wang, X. C., *et al.* (2020). A novel index for assessing the water quality of urban landscape lakes based on water transparency[J]. *Science of the Total Environment* 735: 139351. DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.139351.
- Chen, Y. H., Zhang, R. J., Ge, Y., *et al.* (2019). Downscaling census data for gridded population mapping with geographically weighted area-to-point regression kriging[J]. *IEEE Access* 7: 149132–149141. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2945000.
- Cheng, K., Wang, J. L. (2019). Forest type classification based on integrated spectral- spatial-temporal features and random forest algorithm—A case study in the Qinling mountains[J]. *Forests* 10: 559. DOI: 10.3390/f10070559.
- Deville, P., Linard, C., Martin, S., *et al.* (2014). Dynamic population mapping using mobile phone data[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111: 15888–15893. DOI: 10.1073/pnas.1408439111.
- FAO. (2006). Global Forest Resources Assessment 2005: Progress towards Sustainable Forest Management. Rome. www.fao.org/docrep/008/a0400e/a0400e00.htm.
- FAO. (2010). Global Forest Resources Assessment 2010. Rome. <http://www.fao.org/forestry/fra2010>.
- FAO. (2016). Global Forest Resources Assessment 2015: How are the World's Forests Changing? Rome. <http://www.fao.org/3/a-i4808e.pdf>.
- FAO. (2018a). The State of the World's Forests 2018-Forest Pathways to Sustainable Development. Rome. <http://www.fao.org/3/I9535EN/i9535en.pdf>.
- FAO. (2018b). Terms and Definitions: FRA2020. Rome. <http://www.fao.org/forest-resources-assessment/en/>.
- FAO, IFAD, UNICEF, *et al.* (2019). The State of Food Security and Nutrition in the World 2019. Safeguarding against Economic Slowdowns and Downturns. Rome. <http://www.fao.org/3/ca5162en/ca5162en.pdf>.
- FAO. (2020). FAOSTat: FAOSTAT Online Statistical Service. <https://crops.extension.iastate.edu/faostat>.
- Gong, P., Chen, B., Li X. C., *et al.* (2019). Mapping essential urban land use categories in China (EULUC-China): Preliminary results for 2018[J]. *Science Bulletin* 65: 182–187. DOI: 10.1016/j.scib.2019.12.007.
- Guo, H. D., Wang, L. Z., and Liang, D. (2016). Big Earth Data from space: A new engine for Earth Science[J]. *Science Bulletin* 61 (7): 505–513. DOI: 10.1007/s11434-016-1041-y.
- Guo, H. D. (2017). Big Earth Data: A new frontier in Earth and Information Sciences[J]. *Big Earth Data* 1 (1–2): 4–20. DOI: 10.1080/20964471.2017.1403062.
- Guo, H. D. (2018). Steps to the Digital Silk Road[J]. *Nature* 554: 25–27. DOI: 10.1038/d41586-018-01303-.
- Guo, H. D., Liu, J., Qiu, Y. B., *et al.* (2018). The Digital Belt and Road program in support of regional sustainability[J]. *International Journal of Digital Earth* 11:7, 657–669. DOI: 10.1080/17538947.2018.1471790.
- Guo, H. D., *et al.* (2019). Big Earth Data in Support of the Sustainable Development Goals (2019). Beijing: Science Press and EDP Sciences.
- Guo, H. D., Goodchild, F. M., and Annoni, A. (2020a). Manual of Digital Earth. Singapore: Springer.
- Guo, H. D., Nativi, S., Liang, D., *et al.* (2020b). Big Earth Data science: an information framework for a sustainable planet[J]. *International Journal of Digital Earth* 13:7, 743–767.

DOI: 10.1080/17538947.2020.1743785.

Han, Q., and Niu, Z. (2020). Construction of the Long-Term Global Surface Water Extent Dataset Based on Water-NDVI Spatio-Temporal Parameter Sets. *Remote Sens.*, 12(17), 2675. doi:https://doi.org/10.3390/rs12172675.

Henry, R. C., Engström, K., Olin, S., *et al.* (2018). Food supply and bioenergy production within the global cropland planetary boundary[J]. *PLOS ONE* 13: e0194695. DOI: 10.1371/journal.pone.0194695.

Hu, S. J., Niu, Z. G., Chen, Y. F. (2017). Global Wetland Datasets: a Review. *Wetlands* 37:807-817.DOI: 10.1007/s13157-017-0927-z.

Immerzeel, W. W., Lutz, A. F., Andrade, M., *et al.* (2019). Importance and vulnerability of the world's water towers[J]. *Nature* 577: 364–369. DOI: 10.1038/s41586-019-1822-y.

IPBES. (2019). Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. In: Brondizio, E. S., Settele, J., Diaz, S., *et al.*, Eds. IPBES secretariat, Bonn, Germany. DOI: 10.5281/zenodo.3553579.

Jia, M. M., Wang, Z. M., Zhang, Y. Z., *et al.* (2018). Monitoring loss and recovery of mangrove forests during 42 years: The achievements of mangrove conservation in China[J]. *International journal of applied earth observation and geoinformation* 73: 535–545. DOI: 10.1016/j.jag.2018.07.025.

Kennedy, C. M., Oakleaf, J. R., Theobald, D. M., *et al.* (2019). Managing the middle: A shift in conservation priorities based on the global human modification gradient[J]. *Global Change Biology* 25: 811–826. DOI: 10.1111/gcb.14549.

Lafortune, G., Fuller, G., Moreno, J., *et al.* (2018). Global SDG Index and Dashboards Methodology. New York: Bertelsmann Stiftung and Sustainable Development Solutions Network (SDSN). <http://sustainabledevelopment.report>.

Lee, L. H., Lee, Y. D. (2015). The impact of water quality on the visual and olfactory satisfaction of tourists[J]. *Ocean & Coastal Management* 105: 92–99. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2014.12.020.

Lehner, B., Doll, P. (2004). Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands[J]. *Journal of Hydrology* 296: 1–22. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2004.03.028.

Li, Z., Yan, Z. W., Wu, H. Y. (2015). Updated homogenized China temperature series with physical consistency[J]. *Atmospheric and Oceanic Science Letters* 8: 17–22.

DOI:10.3878/AOSL20140062.

Liu, Y. J., Chen, Q. M., Ge, Q. S., *et al.* (2018a). Spatiotemporal differentiation of changes in wheat phenology in China under climate change from 1981 to 2010[J]. *Science China Earth Sciences* 61: 1088–1097. DOI: 10.1007/s11430-017-9149-0.

Liu, Y. J., Chen, Q. M., Ge, Q. S., *et al.* (2018b). Modelling the impacts of climate change and crop management on phenological trends of spring and winter wheat in China[J]. *Agricultural and Forest Meteorology* 248: 518–526. DOI: 10.1016/j.agrformet.2017.09.008.

Locke, H., Ellis, E. C., Venter, O. *et al.* (2019). Three global conditions for biodiversity conservation and sustainable use: An implementation framework[J]. *National Science Review* 6: 1080–1082. DOI: 10.1093/nsr/nwz136.

Mao, D. H., Liu, M. Y., Wang, Z. M., *et al.* (2019). Rapid invasion of spartina alterniflora in the coastal zone of mainland China: Spatiotemporal patterns and human prevention[J]. *Sensors* 19: 2308. DOI: 10.3390/s19102308.

Mao, D.H., Wang, Z. M., Du, B. J., *et al.* (2020). National wetland mapping in China: A new product resulting from object-based and hierarchical classification of Landsat 8 OLI images[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 164: 11–25. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2020.03.020.

McGowan, P. J. K. (2016). Mapping the terrestrial human footprint[J]. *Nature* 537, 172–173. DOI:10.1038/537172a.

Mokany, K., Ferrier, S., Harwood, T., *et al.* (2020). Reconciling global priorities for conserving biodiversity habitat[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117: 9906–9911. DOI: 10.1073/pnas.1918373117.

Mueller, N. D., Gerber, J. S., Johnston, M., *et al.* (2012). Closing yield gap through nutrient and water management[J]. *Nature* 490: 254–257. DOI: 10.1038/nature11420.

Neil, C. S., Jacqueline, R. E., Glenn, J. N., *et al.* (2019). Developing good practice guidance for estimating land degradation in the context of the United Nations Sustainable Development Goals[J]. *Environmental Science & Policy* 92: 349–355. DOI: 10.1016/j.envsci.2018.10.014.

Pekel, J. F., Cottam, A., Gorelick, N., *et al.* (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes[J]. *Nature* 540: 418–422. DOI: 10.1038/nature20584.

Pojani, D., Stead, D. (2015). Sustainable urban transport in the developing world: Beyond megacities[J]. *Sustainability* 7: 7784–7805. DOI: 10.3390/su7067784.

- Pollard, P., Huxham, M. (1998). The European water framework directive: A new era in the management of aquatic ecosystem health? [J]. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 8: 773–792. DOI:10.1002/(SICI)1099-0755(1998110)8:6<773::AID-AQC313>3.0.CO;2-R.
- Rapport, D. J. (1995). Ecosystem health: Exploring the territory [J]. *Ecosystem Health* 1: 5–13. DOI: 10.11821/dlyj201502010.
- Ray, D. K., Ramankutty, N., Mueller, N. D., *et al.* (2012). Recent patterns of crop yield growth and stagnation. *Nature Communications* 3:1293. DOI: 10.1038/ncomms2296.
- Sachs, J., Schmidt-Traub, G., Kroll, C., *et al.* (2019). Sustainable Development Report 2019. New York: Bertelsmann Stiftung and Sustainable Development Solutions Network (SDSN). <http://sustainabledevelopment.report>.
- Sachs, J., Schmidt-Traub, G., Kroll, C., *et al.* (2020). The Sustainable Development Goals and COVID-19. Sustainable Development Report 2020. Cambridge: Cambridge University Press.
- United Nations. (2015). Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. Division for Sustainable Development Goals: New York, NY, USA. <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>.
- United Nations. (2018). World Urbanization Prospects: The 2018 Revision, Online Edition. <http://www.indiaenvironmentportal.org.in/content/455130/world-urbanization-prospects-the-2018-revision/>.
- United Nations. (2019). The Sustainable Development Goals Report 2019. New York: United Nations.
- UN-Water. (2018). Progress on water use efficiency 2018: Piloting the monitoring methodology and initial findings for SDG indicator 6.4.1. <https://www.unwater.org/publications/progress-on-water-use-efficiency-641/>.
- Wang, T., Wu, W., Xue, X., *et al.* (2004). Spatial-temporal changes of sandy desertified land during last 5 decades in northern China [J]. *Acta Geographica Sinica (Chinese Edition)* 59: 203–212. DOI: 10.1007/BF02873097.
- Wang, T., Xue, X., Zhou, L. H., *et al.* (2015). Combating aeolian desertification in Northern China [J]. *Land Degradation and Development* 26: 118–132. DOI: 10.1002/ldr.2190.
- Wang, J. W., Zhang, J. H., Bai, Y., *et al.* (2020). Integrating remote sensing-based process model with environmental zonation scheme to estimate rice yield gap in Northeast China [J]. *Field Crops Research* 246: 107682. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107682>.
- West, P. C., Gerber, J. S., Engstrom, P. M., *et al.* (2014). Leverage points for improving global food security and the environment [J]. *Science* 345: 325–328. DOI: 10.1126/science.1246067.
- Wurm, M., Stark, T., Zhu, X. X., *et al.* (2019). Semantic segmentation of slums in satellite images using transfer learning on fully convolutional neural networks [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 150: 59–69. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.02.006>.
- Xu, Z., Chau, S. N., Chen, X., *et al.* (2020). Assessing progress towards sustainable development over space and time [J]. *Nature* 577: 74–78. DOI: 10.1038/s41586-019-1846-3.
- Zhang, Z. H., Deng, S. F., Zhao, Q. D. *et al.* (2019). Projected glacier meltwater and river run-off changes in the Upper Reach of the Shule River Basin, north-eastern edge of the Tibetan Plateau [J]. *Hydrological Processes* 33: 1059–1074. DOI: 10.1002/hyp.13384.
- Zheng, Y. M., Zhang, H. Y., Niu, Z. G., *et al.* (2012). Protection efficacy of national wetland reserves in China [J]. *Chinese Science Bulletin* 57: 1116–1134. DOI: 10.1007/s11434-011-4942-9.
- Zheng, Y. M., Niu, Z. G., Gong, P., *et al.* (2015). A database of global wetland validation samples for wetland mapping [J]. *Science Bulletin* 60: 428–434. DOI: 10.1007/s11434-014-0717-4.
- Zhou, C. C., Liu, X., Wang, Z. W., *et al.* (2016). Assessment of marine debris in beaches or seawaters around the China Seas and coastal provinces [J]. *Waste Management* 48: 652–660. DOI: 10.1016/j.wasman.2015.11.010.
- Zuo, L. J., Zhang, Z. X., Carlson, K. M., *et al.* (2018). Progress towards sustainable intensification in China challenged by land-use change [J]. *Nature Sustainability* 1: 304–313. DOI: 10.1038/s41893-018-0076-2.

报告编写组

组长：

郭华东 中国科学院空天信息创新研究院

组员：（按姓名拼音排序）

白 雲	青岛大学	贾 立	中国科学院空天信息创新研究院
边 振	济南大学	贾根锁	中国科学院大气物理研究所
曹 越	清华大学	贾明明	中国科学院东北地理与农业生态研究所
陈 方	中国科学院空天信息创新研究院	蒋会平	中国科学院空天信息创新研究院
陈 玉	中国科学院空天信息创新研究院	李 丽	中国疾病预防控制中心营养与健康所
陈静波	中国科学院空天信息创新研究院	李 晟	北京大学
陈亚西	中国科学院空天信息创新研究院	李 珍	中国科学院大气物理研究所
程 凯	中国科学院地理科学与资源研究所	李家宝	中国地质大学（武汉）
程志峰	中国科学院地理科学与资源研究所	李景喜	自然资源部第一海洋研究所
崔宇然	中国科学院空天信息创新研究院	李利平	中国科学院空天信息创新研究院
丁钢强	中国疾病预防控制中心营养与健康所	李晓松	中国科学院空天信息创新研究院
董莹莹	中国科学院空天信息创新研究院	李笑语	中国科学院海洋研究所
窦长勇	中国科学院空天信息创新研究院	梁 栋	中国科学院空天信息创新研究院
杜士强	上海师范大学	廖 杰	中国科学院西北生态环境资源研究院
杜文杰	中国科学院空天信息创新研究院	刘 东	中国科学院南京地理与湖泊研究所
杜文雯	中国疾病预防控制中心营养与健康所	刘 洁	中国科学院空天信息创新研究院
段洪涛	中国科学院南京地理与湖泊研究所	刘鸣章	北京大学
范丽军	中国科学院大气物理研究所	刘树林	中国科学院西北生态环境资源研究院
范馨阁	中国科学院生态环境研究中心	刘玉洁	中国科学院地理科学与资源研究所
房红芸	中国疾病预防控制中心营养与健康所	龙腾飞	中国科学院空天信息创新研究院
房世波	中国气象科学研究院	卢 琦	中国林业科学研究院荒漠化研究所
冯娅娅	中国科学院西北生态环境资源研究院	卢善龙	中国科学院空天信息创新研究院
高丰蕾	自然资源部第一海洋研究所	马克平	中国科学院植物研究所
高云飞	黄河流域水土保持生态环境监测中心	毛德华	中国科学院东北地理与农业生态研究所
顾海峰	自然资源部第一海洋研究所	米湘成	中国科学院植物研究所
韩倩倩	中国科学院空天信息创新研究院	慕号伟	兰州交通大学
韩群力	中国科学院空天信息创新研究院	牛振国	中国科学院空天信息创新研究院
何国金	中国科学院空天信息创新研究院	欧阳志云	中国科学院生态环境研究中心
侯艳芳	中国科学院空天信息创新研究院	彭 燕	中国科学院空天信息创新研究院
胡仔园	中国科学院海洋研究所	曲 艺	黑龙江省科学院自然与生态研究所
黄 磊	中国科学院空天信息创新研究院	上官冬辉	中国科学院西北生态环境资源研究院
黄春林	中国科学院西北生态环境资源研究院	申小莉	中国科学院植物研究所
黄文江	中国科学院空天信息创新研究院	沈 明	中国科学院南京地理与湖泊研究所

石金莲	北京工商大学	邢 强	中国科学院空天信息创新研究院
宋 翔	中国科学院西北生态环境资源研究院	徐卫华	中国科学院生态环境研究中心
宋晓谕	中国科学院西北生态环境资源研究院	许世卫	中国农业科学院农业信息研究所
苏 畅	中国疾病预防控制中心营养与健康所	薛 娴	中国科学院西北生态环境资源研究院
孙承君	自然资源部第一海洋研究所	闫 欣	中国科学院空天信息创新研究院
孙晓霞	中国科学院海洋研究所	闫冬梅	中国科学院空天信息创新研究院
孙中昶	中国科学院空天信息创新研究院	阎世杰	中国科学院空天信息创新研究院
唐 朝	中国科学院空天信息创新研究院	杨 锐	清华大学
涂 锴	中国科学院大气物理研究所	姚凤梅	中国科学院大学
汪 潇	中国科学院空天信息创新研究院	于仁成	中国科学院海洋研究所
汪承义	中国科学院空天信息创新研究院	余强毅	中国农业科学院农业资源与农业区划研究所
汪祖家	中国科学院空天信息创新研究院	喻 闻	中国农业科学院农业信息研究所
王 宝	中国科学院西北生态环境资源研究院	袁 博	兰州交通大学
王 萌	中国科学院空天信息创新研究院	张 兵	中国疾病预防控制中心营养与健康所
王 瑞	中国科学院空天信息创新研究院	张 丽	中国科学院空天信息创新研究院
王福涛	中国科学院空天信息创新研究院	张 森	中国科学院空天信息创新研究院
王惠君	中国疾病预防控制中心营养与健康所	张 莎	青岛大学
王江浩	中国科学院地理科学与资源研究所	张 懿	中国科学院空天信息创新研究院
王靖雯	中国科学院大学	张佳华	中国科学院空天信息创新研究院
王卷乐	中国科学院地理科学与资源研究所	张克斌	北京林业大学
王力哲	中国地质大学(武汉)	张晓美	中国科学院空天信息创新研究院
王鹏龙	中国科学院西北生态环境资源研究院	张增祥	中国科学院空天信息创新研究院
王世金	中国科学院西北生态环境资源研究院	张兆明	中国科学院空天信息创新研究院
王世新	中国科学院空天信息创新研究院	赵 昌	自然资源部第一海洋研究所
王树东	中国科学院空天信息创新研究院	赵晓丽	中国科学院空天信息创新研究院
王心源	中国科学院空天信息创新研究院	赵晓倩	中国科学院植物研究所
王玥玮	中国地质大学(武汉)	郑姚闾	中国科学院空天信息创新研究院
王昀琛	中国科学院西北生态环境资源研究院	周 亮	兰州交通大学
王宗明	中国科学院东北地理与农业生态研究所	周 艺	中国科学院空天信息创新研究院
魏明月	中国科学院空天信息创新研究院	周正熙	中国科学院海洋研究所
吴炳方	中国科学院空天信息创新研究院	朱 丽	中国科学院植物研究所
吴太夏	河海大学	左丽君	中国科学院空天信息创新研究院
吴文斌	中国农业科学院农业资源与农业区划研究所		



联系方式:

地址: 北京市海淀区邓庄南路9号

电话: +86 10 82178980

邮箱: casearth@radi.ac.cn

网址: www.casearth.com