



1971-2021

中华人民共和国恢复联合国合法席位50周年
THE 50TH ANNIVERSARY OF THE RESTORATION OF THE LAWFUL SEAT
OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA IN THE UNITED NATIONS

SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
GOALS



地球大数据支撑 可持续发展目标报告



中国科学院
2021年9月

地球大数据支撑 可持续发展目标报告



目录



04 序

05 前言

06 执行摘要

08 绪论

12  SDG 2 零饥饿

14 背景介绍

15 主要贡献

16 案例分析

2.4 中国近 20 年耕地复种指数时空变化 \ 16

2.4 中国主要作物分布及其时空变化 \ 20

2.4 黄河下游中低产田高效生态农业模式
实践 \ 23

26 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 湖泊水体透明度动态变化监测与评价 \ 32

6.4 全球农作物水分利用效率变化评估 \ 36

6.5 中国水资源综合管理评估 \ 40

6.6 2000~2020 年中国自然和人工水体变化 \ 43

6.6 2010~2020 年中国沼泽湿地时空动态 \ 46

49 本章小结

50  SDG 11 可持续城市和社区

52 背景介绍

53 主要贡献

54 案例分析

11.2 中国可便利使用公共交通的人口比例 \ 54

11.5 2010~2020 年中国地市级自然灾害总体损
失年际变化 \ 57

11.7 中国城市绿地空间变化 \ 60

11.1 11.2 11.3 11.7 中国主要城市景观的社区尺
度变化与可持续发展指标 \ 64

11.2 11.3 11.5 11.6 11.7 2015~2020 年中国城市
SDG 11 多指标综合评价 \ 68

72 本章小结



74



SDG 13 气候行动

76 背景介绍

77 主要贡献

78 案例分析

13.1 近 10 年中国沙尘天气年际变化 \ 78

13.2 中国温室气体浓度时空变化 \ 81

13.2 气候变化对中国森林净生态系统生产力的影响 \ 84

13.2 土地覆盖变化对全球净生态系统生产力的作用 \ 87

13.3 全球海洋热含量变化 \ 90

93 本章小结

94



SDG 14 水下生物

96 背景介绍

97 主要贡献

98 案例分析

14.2 黄海大型藻藻华监测和预警 \ 98

14.2 中国红树林动态变化 \ 101

14.2 中国滨海养殖池动态变化 \ 105

108 本章小结

110



SDG 15 陆地生物

112 背景介绍

113 主要贡献

114 案例分析

15.1 中国生态系统及其质量动态变化评估 \ 114

15.1 中国草地生态系统保护现状及空缺 \ 117

15.1 15.4 珍稀濒危植物精细空间分布大数据模拟 \ 119

15.4 全球山地绿色覆盖指数高分辨率监测 \ 122

15.5 越冬白鹤栖息地时空分布动态监测 \ 126

128 本章小结

130 SDG 多指标交叉

136 总结与展望

138 缩略词

141 主要参考文献

146 报告编写组

序

2015年，联合国通过了包含17项可持续发展目标（Sustainable Development Goals, SDGs）的2030年可持续发展议程，力争到2030年通过达到这些目标在全世界实现经济、社会与环境的和谐发展。可持续发展议程实施以来，中国坚持创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念，积极推进可持续发展目标的实现，在消除绝对贫困、应对气候变化、改善生态环境、提升公共卫生服务水平、保障粮食安全等方面取得了重大成就，逐步推进实现高质量发展。与此同时，中国还积极参与和推动国际发展合作，为全球可持续发展目标实现提供高质量的公共服务产品。

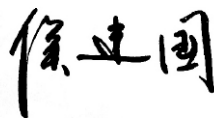
六年来的实践表明，对于可持续发展议程落实情况的科学评价仍面临诸多重大挑战，其中数据缺失、指标体系不完善以及发展不平衡所带来的数据能力差异是最主要的问题。作为中国国家科研机构，中国科学院长期致力于运用大数据促进可持续发展目标实现，近年来，与国内外高校、研究院所和企业一道，综合利用云计算、人工智能、空间技术、网络通信技术等新兴技术，进行可持续发展目标评估体系优化、公共数据产品研发和决策支持服务的探索。

2020年9月22日，习近平主席在第75届联合国大会上，宣布中国将设立可持续发展大数据国际研究中心，为落实《联合国2030年可持续发展议程》提供新助力。2021年9月6日，可持续发展大数据国际研究中心在北京正式成立，习近平主席致贺信，联合国秘书长安东尼奥·古特雷斯发表视频致辞。相信中心成立后，能够更好地以大数据为中国乃至

全球可持续发展提供有力支撑。

近年来，中国科学院立足自身优势，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、陆地生物等目标，开展了一系列SDGs指标监测评估示范研究工作，并持续发布年度系列《地球大数据支撑可持续发展目标报告》。2021年《地球大数据支撑可持续发展目标报告》进一步围绕上述目标，面向可持续发展的实际场景，展示了包括单一指标进展评估和多指标综合评估的研究成果。这些成果为详细了解不同尺度和区域SDGs的实现进程，准确把握相关指标的动态变化趋势，深入分析实现可持续发展目标面临的问题等，提供了更有力的科学依据和决策支持。

2021年是中华人民共和国恢复联合国合法席位50周年。中国科学院谨以此报告为联合国2030年可持续发展议程实现持续贡献中国科技界的一份力量。中国科学院将进一步加强与国际科技界的深入合作，发挥科技创新促进作用，共同应对可持续发展面临的新挑战。



中国科学院院长

前言

新冠肺炎疫情为全球 2030 可持续发展议程的落实带来了前所未有的挑战，很大程度上影响了前期取得的成绩，出现了停滞甚至退步的情况。科技创新作为推动经济社会发展的重要力量之一，将为解决当前的困境提供新助力。2015 年，联合国建立了面向 SDGs 的技术促进机制，强调通过科技促进全球可持续发展。联合国秘书长安东尼奥·古特雷斯在《2020 年可持续发展目标报告》中呼吁，在健全数据和科学的基础上，以可持续发展目标为指导，协调全球疫情应对和恢复工作。

应对可持续发展目标所面临的数据挑战需要开拓更有效的方式。伴随科技发展，全球数据量正呈指数增长。计算和数据技术的进步，使得实时处理和分析大数据变成了现实，而新型数据与统计和调查数据等传统数据的结合，可创造更详细、更及时的高质量信息。充分发掘利用和创新地球大数据技术，是解决当前可持续发展面临的数据鸿沟以及信息和工具缺失问题的有效途径。

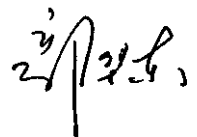
依托中国科学院建设的可持续发展大数据国际研究中心（International Research Center of Big Data for Sustainable Development Goals, CBAS）是致力于大数据服务可持续发展目标的国际研究机构，将建成集“存储、计算、分析、服务”的 SDG 大数据技术服务体系、开展 SDG 指标监测与评估科学研究、研制并运行 SDG 科学卫星、构建科技促进可持续发展智库，并开展大数据服务可持续发展目标的人才培养和能力建设。

近年来，中国科学院基于地球大数据技术，面向零饥饿、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、陆地生物等六个可持续

发展目标，开展了可持续发展指标监测和评估的案例研究，连续两年编制了《地球大数据支撑可持续发展目标报告》，在第 74 届和 75 届联合国大会上发布，充分体现了地球大数据技术在应对可持续发展面临的挑战中的重要价值和作用。

2021 年《地球大数据支撑可持续发展目标报告》是三年来地球大数据技术支撑可持续发展目标监测与评估实践的一次集成创新。报告聚焦六大目标，通过 26 个典型案例，展示了在典型地区、国家、区域和全球四个空间尺度上 SDGs 指标的监测评估成果。此外，报告还探索了多个可持续发展目标之间的相互作用，为未来开展不同情景下的多目标协同发展策略研究，奠定了良好的基础。报告的系列研究成果，可为深入认识和更为精准地判定 SDGs 相关问题提供新的分析工具，在推动科技创新服务可持续发展方面具有重要实践价值。

本报告得到外交部相关部门领导的悉心指导。报告形成过程中得到来自国家发展和改革委员会、自然资源部、生态环境部、住房和城乡建设部、交通运输部、水利部、农业农村部、应急管理部、国家统计局、国家林业和草原局等相关领导和专家的宝贵意见和建议，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。



可持续发展大数据国际研究中心主任
联合国可持续发展目标技术促进机制 10 人组成员
(2018~2021)

执行摘要

2021年是联合国正式发起可持续发展目标（Sustainable Development Goals, SDGs）未来十年行动计划的开局之年，人类实现2030年可持续发展议程仍面临严峻挑战，全球新冠肺炎疫情的暴发对议程的落实也产生了严重影响。科学技术是应对这些挑战，推动和落实联合国2030年可持续发展议程的重要杠杆。9月6日，国家主席习近平向可持续发展大数据国际研究中心（以下简称中心）成立大会暨2021年可持续发展大数据国际论坛致贺信中指出“科技创新和大数据应用将有利于推动国际社会克服困难、在全球范围内落实2030年议程”；联合国秘书长安东尼奥·古特雷斯在中心成立致辞中强调，“借助联合国技术促进机制的发展机遇，以科学支撑决策，推动创新、寻求解决方案……推动科技界助力可持续发展目标的实现”。本报告利用地球大数据的优势和特点，推动大数据服务于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 陆地生物六项SDGs的指标监测与评估及多指标交叉分析，展示了科学技术支撑SDGs落实的创新性实践。



在SDG 2 零饥饿方面，聚焦可持续粮食生产体系（SDG 2.4），针对反映耕地利用的两个关键要素——复种程度和作物类型，发展了融合多源信息的空间分布制图方法，构建了中国耕地复种指数和14种主要作物空间分布数据集，展现了地球大数据技术在及时快速信息获取和多源数据融合方面的能力，发现近20年来，中国复种指数略微下降6%，2000至2015年间作物分布重心主要向东北、西北和西南三个方向移动。同时，针对粮食生产体系转型，提出了数据驱动的高效生态农业模式，并通过实体试验农场案例，为农户与不同规模经营主体开展可持续农业生产提供技术支撑与示范。



在SDG 6 清洁饮水和卫生设施方面，围绕改善水质（SDG 6.3）、提高用水效率（SDG 6.4）、水资源综合管理（SDG 6.5）和保护与恢复与水有关的生态系统（SDG 6.6）四个具体目标，发展了中国湖泊水体透明度数据集、全球大型湖泊水体透明度数据集、全球农业区的作物水分利用效率数据集、中国自然和人工水体分布数据集，以及中国沼泽湿地分布数据集；评估了中国实施水质、水量和水生态一体化管理的成效，并开展了湖泊水体透明度、农作物用水效率指标的全球示范应用；得出了全球大型湖泊水体总体变得更清澈透明、全球农业区的作物水分利用效率呈增加趋势、中国水资源综合管理能力已达到全球中上水平、中国自然和人工水体分布面积增加、中国沼泽湿地损失明显减缓等关键结论。上述研究成果为联合国全球SDGs数据库中收录的中国数据集提供了补充，为其他发展中国家监测和评估SDG 6 目标实现进程提供了重要的参考。



在SDG 11 可持续城市和社区方面，聚焦公共交通（SDG 11.2）、灾害评估（SDG 11.5）、公共开放空间（SDG 11.7）三个具体目标开展了基于地球大数据技术的指标监测与评估，并在中国市级尺度开展了多指标综合评估。生产了分性别、年龄段的中国人口高精度公里网格数据、中国地市级自然灾害总体损失年际变化数据集、中国城市建成用地绿地空间组分数据产品、中国社区尺度城市景观数据产品。基于以上数据，得出了2020年中国可便利使用公共交通人口比例为90.15%，与2018年相比上升9.59%；中国自然灾害影响总体呈现减轻趋势，综合防灾减灾能力和城市抵御自然灾害的设防能力得到明显提升；2000年以来城市建成用地的绿地空间显著上升，城市生态绿化成效显著；2020年各市级行政区可持续性表现较好等关键结论。上述研究成果可为中国SDG 11 实现提供数据和决策支撑，也可以为其他国家提供示范和参考。



在 SDG 13 气候行动方面，聚焦抵御气候相关灾害（SDG 13.1）、应对气候变化举措（SDG 13.2）、气候变化适应和预警（SDG 13.3）三个具体目标，通过地球大数据方法生产了中国沙尘天气年际影响范围数据集、中国 CO₂ 和 NO₂ 浓度数据集、中国森林净生态系统生产力数据集、全球净生态系统生产力及其驱动因素数据集、综合海表卫星与 ARGO 浮标观测资料生产全球海洋热含量数据集。依据这些具有时空特征的系列数据集发现，近 10 年中国北方春季沙尘天气频次波动下降；中国 CO₂ 浓度仍在增加，但增幅减小；受新冠疫情带来的经济活动波动影响，全国 NO₂ 平均浓度 2020 年 2 月达到波谷，12 月快速达到波峰且超过以往年份；中国以及全球净生态系统生产力分析显示，森林面积增加对中国碳汇的增加具有重要贡献，近十年来中国森林碳汇增加速度为 199.54 TgC/a；全球海洋上层 2000 m 暖化显著，且不断加剧，每十年增暖速率为 $2.25 \times 10^8 \text{ J/m}^2$ 等重要结论。通过以上数据和分析，可为应对气候变化相关灾害和长期影响，以及碳中和战略实施提供科学依据。



在 SDG 14 水下生物方面，聚焦可持续管理和保护海洋及沿海生态系统（SDG 14.2）具体目标，通过时空数据融合、四维变分同化预报和深度学习等方法，在中国和典型地区两个空间尺度，完成了中国红树林动态变化、中国滨海养殖池动态变化等数据集产品生产和黄海大型藻华监测预警模型实用性验证等工作。结果显示，通过地球大数据云平台进行漂浮藻类空间分布遥感快速提取、基于四维变分同化预报模式的大型藻华漂移轨迹实时预测，可为有害藻华灾害监测预警提供有效的信息支撑；2015~2020 年，中国红树林分布范围不断增加，面积净增长 16%；2015~2020 年间，在退塘还湿等政策驱动下，中国滨海养殖池面积总体呈现持续下降趋势。上述研究成果可有效补充 SDG 14 相关基础数据集，为提高海洋生态灾害防治能力提供示范参考。



在 SDG 15 陆地生物方面，聚焦陆地和内陆的淡水生态系统保护、恢复与可持续利用（SDG 15.1）、山地生态系统保护（SDG 15.4）与遏制生物多样性丧失（SDG 15.5）三个具体目标，生产了全球山地绿色覆盖指数及濒危物种公里网格空间精细分布两套数据集产品；评估了中国生态系统质量及动态变化、中国草地生态系统保护现状及空缺、越冬白鹤栖息地时空变化特征；得出了中国 2000~2015 年生态系统质量显著提升，生态系统质量综合指数同比上升约 21%、中国草地生态系统总体保护效果较好，但仍有 5 类分布面积较小的草地保护比例低，鄱阳湖栖息地退化亟须进一步保护等科学发现，为全球、国家及典型地区 SDG 15 指标实现情况监测评估提供了重要参考。

在 SDGs 多指标交叉方面，报告开展了地球大数据在空间信息挖掘及综合评估方面的方法与实践研究，包括：基于 SDGs 多指标之间相关性分析，评估不同 SDGs 指标间的协同与权衡关系；基于 SDGs 多指标在时间上演变分析，模拟经济、社会、环境等不同发展情景；基于 SDGs 多指标在区域的综合实践，开展区域 SDGs 综合评估。通过指标的交叉研究，可以发现潜在科学问题及评价政策措施的影响，指导政策的动态规划，加快区域可持续发展的实施进程。

绪论

为如期实现 2030 年可持续发展议程所提出的 17 项可持续发展目标，2020 年 1 月，联合国正式发起可持续发展目标行动十年计划，呼吁加速采取可持续解决方案来应对目前所有重大挑战。然而，突发的新冠疫情对 2030 年可持续发展议程的全球落实产生了严重影响。目前，疫情加剧了全球粮食系统脆弱性，2020 年面临饥饿的人口比 2019 年增加约 1.18 亿，增幅达 18%，且突发性粮食不安全状况飙升至 5 年来最高水平；过去一个世纪，全球用水量的增速是人口增速的两倍多，而根据联合国相关估计，到 2030 年，全球淡水资源将减少 40%，暴发水资源危机的可能性极大；在疫情之前，城市的贫民窟居住人数就不断增加，空气污染日益严重，公共开放空间极小，公共交通便利性有限，而疫情进一步暴露并增加了城市的脆弱性；主要温室气体在大气中的浓度持续增加，2015~2020 年是有记录以来最热的 6 年，气候变化使得多项可持续发展目标的实现变得更加困难；海洋不断受到污染、变暖和酸化的威胁，这些问题正在扰乱海洋生态体系；毁林和森林退化、生物多样性持续丧失和生态系统持续退化正在对人类福祉和生存产生深远影响，全球未能实现 2020 年遏制生物多样性丧失的目标（UN, 2021a, 2021b）。

联合国《2021 年可持续发展目标报告》指出，全球需要共同努力，支持由 2030 年可持续发展议程指导的复苏，而监测和评估数据的获取和可用性是实现更

好复苏能力的关键因素之一。多年来，支撑 SDGs 监测与评估的数据显著增加，然而，在数据的空间覆盖和及时性方面，仍然存在重大缺口。全球可持续发展目标指标数据库显示，仅有少数几个可持续发展目标的数据覆盖超过了 80% 的国家，且对于大部分目标而言，数据存在严重的时间滞后（UN, 2021c）。以上数据缺口对实时监测各目标进展及评估区域间差异造成了阻碍。

数据创新是解决上述缺口、加速实现 SDGs 的关键，而创新的一个重要领域是地理空间信息和统计信息的融合。通过卫星、无人机、地面传感器等获取的对地观测数据，不仅可以作为官方统计和调查数据的补充，其与传统数据结合，还可以创造更及时、空间代表性更强的高质量信息。以对地观测数据为基础、具有空间属性的地球大数据一方面具有海量、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（Guo *et al.*, 2016; Guo, 2017）。地球大数据可促进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，从而为实现 SDGs 作出重要贡献。

地球大数据科学的主要技术体系包括：①地球大数据泛在感知；②地球大数据可信共享；③多元地球大数据融合；④地球大数据孪生及复杂过程模拟；⑤

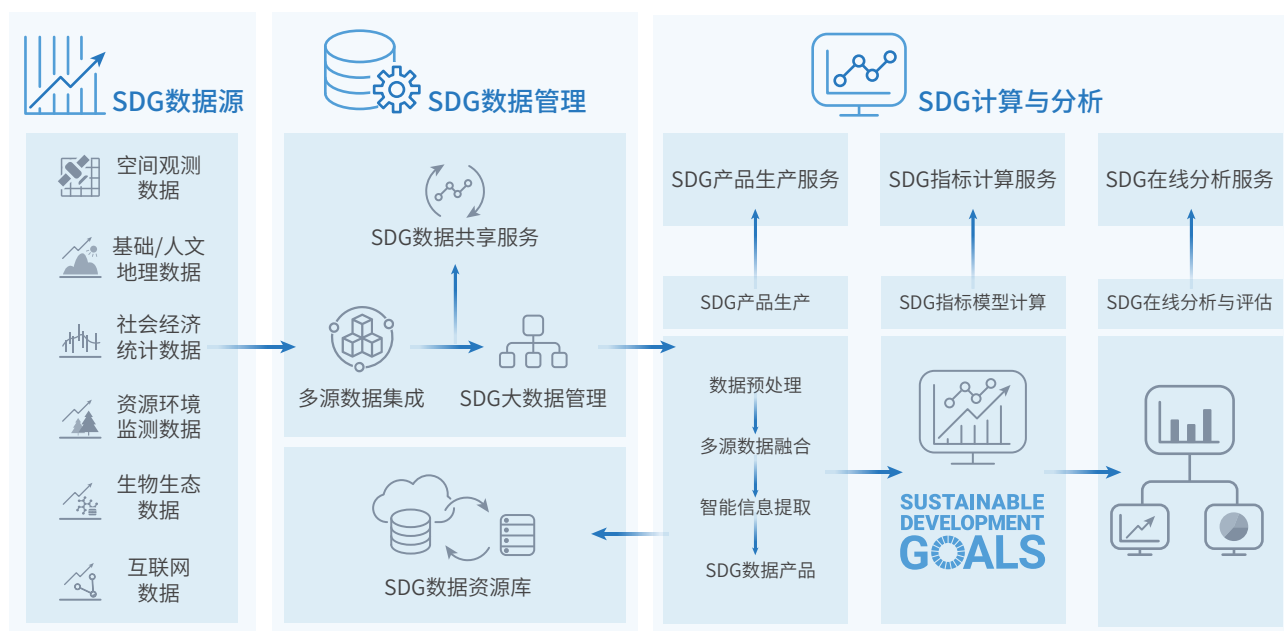


图 1-1. 地球大数据科学的主要技术体系

地球大数据智能认知（图 1-1）。利用地球大数据支撑 SDGs 监测与评估具有独特优势：一是数据来源多样，相互验证，使 SDGs 监测结果更透明、可重复；二是赋予 SDG 指标空间差异信息、动态变化信息，进而有利于决策者通过空间信息发现发展不平衡和薄弱环节、补齐短板，并通过时间动态变化明确变化趋势和政策效果。

自 2018 年开始，中国科学院（Chinese Academy of Sciences, CAS）在利用地球大数据支撑 SDGs 实

现方面开展了诸多实践。依托地球大数据科学工程先导专项（Big Earth Data Science Engineering Program, CASEarth）建立了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、可视化演示等方面为 SDGs 指标监测与评估提供支撑（图 1-2）。目前，CASEarth 共享数据总量约 10 PB，并每年以 3 PB 的数据量持续更新。截至 2021 年 9 月，拥有 147 个国家及地区，全球 36 万用户，数据总访问量达到 5797 万次。



↑ 图 1-2. 地球大数据支撑 SDG 路线图

在 17 个可持续发展目标中，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 陆地生物是表征地球表层环境、资源密切相关的目标，地球大数据在这些目标的监测与评估中可发挥重要作用。针对上述目标，《地球大数据支撑可持续发展目标报告》进一步遴选了能充分发挥地球大数据优势的指标开展监测。2019 年、2020 年中国科学院发布的两期《地球大数据支撑可持续发展目标报告》中，收录了 SDGs 监测与评估新方法、新产品和决策支撑案例。

2021 年《地球大数据支撑可持续发展目标报告》重点专注新方法新指标的探索、可持续发展进程的跟踪评

估，以及多指标交叉研究的理论与实践，针对 18 个具体目标汇集了 26 个典型案例，展示了在典型地区、国家、区域和全球四个尺度上针对 SDG 指标的研究和监测评估成果，包括 20 套数据产品、13 种方法模型和 16 个决策支持。这些分析成果，包括中国 20 年耕地复种指数变化和自然与人工水体变化、中国城市绿地空间变化、全球陆地生态系统碳汇变化及其驱动、全国生态保护恢复成效评估等。

基于连续三年的《地球大数据支撑可持续发展目标报告》研究成果，针对六个可持续发展目标中的 20 个指标，开展了 2010~2020 年的中国可持续发展进程评估（表 1-1）。

表1-1 基于地球大数据的中国可持续发展目标进展评估表 (2010~2020年)

| 指标 | | 评估内容 | 2010~2015年 | 2015~2020年 |
|--------|---|-----------------------------|------------|------------|
| SDG 2 | 2.2.1 5岁以下儿童发育迟缓发病率 | 5岁以下儿童生长迟缓比例 | ● ↑ | ● ↑ |
| | 2.4.1 从事生产性和可持续农业的农业地区比例 | 土地生产力、水资源利用、化肥过施量 | ● ↑ | ● ↑ |
| | 6.3.2 环境水质良好的水体比例 | 水库水体透明度 | ● ↑ | ● ↑ |
| SDG 6 | 6.4.1 按时间列出的用水效率变化 | 用水效率 | ● ↑ | ● ↑ |
| | 6.5.1 水资源综合管理的程度 | 水资源综合管理评估 | ● ↑ | ● ↑ |
| | 6.6.1 与水有关的生态系统范围随时间的变化 | 湿地 (河流、湖泊、沼泽) 面积 | ● ↑ | ● ↑ |
| | 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 | 可便利使用公共交通的人口比例 | ● ↓ | ● ↑ |
| SDG 11 | 11.3.1 土地使用率与人口增长率之间的比率 | 土地使用率与人口增长率之比 | ● ↓ | ● ↑ |
| | 11.4.1 保存、保护和养护所有文化和自然遗产的人均支出总额 | 遗产地单位面积投入 | ● ↑ | ● ↑ |
| | 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 | 地市级自然灾害总体损失年际变化 | ● ↑ | ● ↑ |
| | 11.6.2 城市细颗粒物 (例如 PM _{2.5} 和 PM ₁₀) 年度均值 (按人口权重计算) | 城市细颗粒物 (PM _{2.5}) | ● ↓ | ● ↑ |
| | 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 | 城市开放空间面积 | ● ↑ | ● ↑ |
| | 13.1.1 每 10 万人当中因灾害死亡、失踪和直接受影响的人数 | 每 10 万人当中因灾害死亡、失踪和直接受影响的人数 | ● ↑ | ● ↑ |
| | 13.2.2 年温室气体总排放量 | 温室气体浓度 | ● ↑ | ● ↑ |
| SDG 14 | 14.1.1 (a) 沿海富营养化指数和 (b) 漂浮塑料碎片密度 | 近海洋垃圾与微塑料 | ● ↑ | ● ↑ |
| | 14.2.1 基于生态系统的方法管理海洋区域的国家数量 | 红树林面积 | ● ↑ | ● ↑ |
| | 14.7.1 可持续渔业占国内总产值的比例 | 近海筏式养殖面积 | ● ↑ | ● ↑ |
| SDG 15 | 15.3.1 已退化土地占土地总面积的比例 | 土地退化面积比例 | ● ↑ | ● ↑ |
| | 15.4.2 山区绿化覆盖指数 | 山地绿色覆盖指数 | ● ↑ | ● ↑ |
| | 15.5.1 红色名录指数 | 红色名录指数 | ● ↓ | ● ↑ |



目前，评估的 20 个指标中，中国有 4 个指标整体已接近或达到 2030 年可持续发展目标，包括 SDG 2.2.1 五岁以下儿童生长迟缓比例，SDG 11.2.1 可便利使用公共交通的人口比例，SDG 15.3.1 土地退化比例以及 SDG 15.4.2 山地绿色指数，未来需要关注的重点是地区间的差异。而 SDG 6.4.1 用水效率和 SDG 15.5.1 红色名录指

数，虽然近年有所改善，但仍面临较大挑战，未来需要重点关注并加大节约用水和野生动植物保护力度。结果显示，2010~2015 年有 2 个指标变差，正在改善的有 11 个；2015~2020 年无变差指标，正在改善的有 16 个。总之，中国的六个可持续发展目标正朝着 2030 年可持续发展目标迈进，尤其是 2015 年之后，改善幅度较大。



SDG 2



SDG 2 零饥饿

| | |
|------------|----|
| 背景介绍 | 14 |
| 主要贡献 | 15 |
| 案例分析 | 16 |
| 本章小结 | 26 |

2 零饥饿



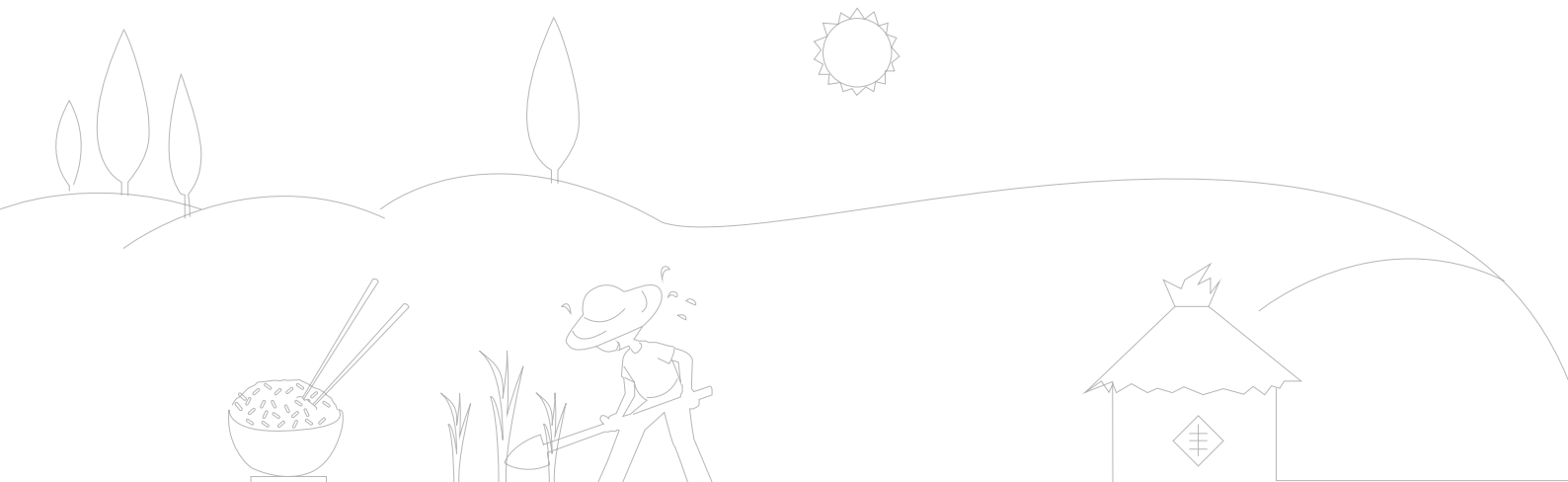
背景介绍

SDG 2 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，是全球可持续发展的基础及重要议题。2030 年可持续发展议程实施已五年有余，然而零饥饿目标实现进展缓慢。受地区冲突、气候变化、经济衰退（近年主要受新冠肺炎疫情影响）等因素影响，全球层面饥饿和粮食不安全问题持续加剧。中度或重度粮食不安全发生率已连续六年缓慢上升，至 2020 年达到 30.4%。食物不足发生率在连续五年保持稳定后，2020 年上升了 1.5 个百分点，使得到 2030 年实现零饥饿目标变得更具挑战。为实现全球零饥饿目标，联合国粮食及农业组织（Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO）提出了涉及粮食安全供应、获取、利用、稳定、能动和可持续性各维度的六大粮食体系转型潜在途径，并将技术、数据和创新列为两大类加速因素之一（FAO *et al.*, 2021）。

跟踪监测和评估零饥饿可持续发展目标的实现程度及变化过程，可以明确不同区域粮食安全各维度问题的广度和深度，为制定区域粮食体系转型方案提供支撑。

目前，SDG 2 各项指标的监测评估主要通过统计调查的方式实现（FAO, 2020a），时效性难以保障。新冠肺炎疫情进一步给数据获取的及时性带来了挑战（FAO *et al.*, 2021）。发展及时信息获取渠道是形成及时反馈快速行动的重要前提。与此同时，为了获取对数据联系和关系的洞察力，提高政策制定者和广大公众的决策能力，地理空间信息和统计信息的融合被认为是数据创新的一个重要领域（UN, 2021a）。特别是对于社会、经济、环境各可持续发展维度高度综合的零饥饿目标，多源数据融合是形成认知发现，进而提出决策支撑的重要手段。

本章节将聚焦 SDG 2.4，针对与粮食可持续生产密切相关的两个基础性要素——复种指数和作物种类，分别展示地球大数据在及时信息获取和多源数据融合方面的潜力；同时，为响应 FAO 提出的粮食生产体系转型途径，构建了数据驱动的高效生态农业模式，并通过实体试验农场建设，为农业生产向气候智慧型和生产环保型转变，实现保护和恢复自然环境提供范例。





主要贡献

围绕反映粮食可持续生产的具体目标 SDG 2.4，提出了基于对地观测数据的复种指数提取方法、遥感与统计等多源数据融合的作物空间分布制图方法、基于农业生态理论的数据驱动型高效生态农业模式，分别从政府

治理和农户管理两个层面提供粮食可持续生产的决策支撑（表 2-1），丰富地球大数据支持全球零饥饿目标实现的数据、技术和决策库。

表 2-1 案例名称及其主要贡献

| 指标 | 指标层级 | 案例 | 贡献 |
|--------------------------|---------|--------------------|---|
| 2.4.1 从事生产性和可持续农业的农业地区比例 | Tier II | 中国近 20 年耕地复种指数时空变化 | 方法模型： 高精度耕地复种指数遥感监测模型 决策支持： 为管理耕地复种系统实现粮食可持续生产提供决策支持 |
| | | 中国主要作物分布及其时空变化 | 数据产品： 2000 年、2015 年中国 14 种主要作物空间分布数据集 方法模型： 融合遥感时序数据、统计调查数据、作物农时历的作物空间分布制图模型 |
| | | 黄河下游中低产田高效生态农业模式实践 | 方法模型： 基于农业生态系统理论、信息技术及现代农业技术的高效生态农业模式 决策支持： 通过集成传感器网络技术和大数据管理平台，为高效生态农业生产模式的构建提供决策支撑 |



案例分析

中国近20年耕地复种指数时空变化

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

- 基于多源遥感数据融合及云平台技术，生产了 2001~2020 年年度更新的中国复种指数数据集，通过地面实测数据验证，总体精度约为 93%。
- 近 20 年，中国平均复种指数小幅下降了约 6%，反映出耕地保护、鼓励休耕和轮作等提升耕地可持续利用相关农业政策的影响；不同区域复种指数变化差异显著，长江中下游地区、西南地区和华南地区的复种提升潜力较大。

案例背景

耕地作为提供人类赖以生存和发展所需食物的基础，其可持续利用对于实现零饥饿目标具有重要作用。中国是拥有超过 14 亿人口的农业大国，但人均耕地资源水平低，同时受到工业化和城镇化深入发展对粮食生产系统带来的压力（Zuo *et al.*, 2018）。复种指数是衡量耕地资源集约化利用程度的重要指标，追踪复种指数的变化，能够评估过去粮食生产体系发展状况，为提出未来粮食

系统发展政策提供重要支撑。

随着遥感技术的发展，高时空分辨率数据的普及对耕地信息提取的精度有较大促进。本研究以复种历史悠久的中国为研究对象，构建基于多源遥感数据融合及云平台技术的复种指数提取方法，开展 2001~2020 年间全国尺度耕地复种指数年度监测及分析。

所用数据

◎ 2001~2020 年间的中分辨率成像光谱仪（Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS）的归一化植被指数（Normalized Difference Vegetation Index, NDVI）数据，2001~2020 年覆盖中国的 Sentinel-2 和美国陆地卫星（包括 Landsat-5、Landsat-7 和 Landsat-8）多光谱数据；

◎ 其他数据：中国 30 m 分辨率土地覆被数据（China Cover 30 m）中的耕地（2000 年、2010 年和 2015 年）（吴炳方等，2017）；中国农业生态区数据（孙颌，1994），共 9 个农业生态区；地面实测复种指数样本。

方法介绍

融合海量多源遥感数据以及由全球定位系统、视频与地理信息系统构成的农情采样系统（GPS、Video and GIS, GVG）数据，基于云计算平台，通过归一化处理，构建 NDVI 时间序列数据集；通过平滑和空缺填补，形成时空连续的 NDVI 数据集。利用作物播种 - 生长 - 成熟收获的全生育期信号判定耕作节律（Liu *et al.*, 2020），

实现 2001~2020 年年度更新的耕地复种指数制图。同时，基于在全国范围获取的大量地面实测样本对结果进行验证。

以全国和 9 个农业生态分区为统计单元，分别统计研究期内年度复种指数，计算其变化率和变化趋势，并开展复种指数时空变化分析。

结果与分析

图 2-1 展示了 2001 年、2007 年、2013 年和 2020 年中国的复种指数分布。总体上，全国以单季作物种植模式为主，受气候条件制约多分布在北方地区。双季作物种植区主要分布在华北平原，该地区灌溉条件发达，弥补了冬季少雨天气的不利影响；长江中下游地区、南方部分地区和台湾地区雨热充沛，能够满足双季作物的生长需求，双季作物种植模式较为常见；三季种植模式基本均处于海南、两广等地区。地面实测数据验证结果显示，复种指数提取总体精度约为 93%，其中，单季种植模式提取精度最高。

2001 年以来，中国复种指数总体呈下降趋势，近 20 年全国复种指数约下降 6%（图 2-2），反映出耕地保护、鼓励休耕和轮作等提升耕地可持续利用相关农业政策的

影响。全国九大农业生态区复种指数变化趋势差异较大（图 2-3）。作为重要的粮食主产区之一，黄淮海区的复种指数在 2001 年至 2020 年间增加了 8%，内蒙古及长城沿线区复种指数也呈现增加趋势，且增加趋势达到显著性水平，甘肃、新疆和青藏高原地区复种指数呈现波动增加趋势。长江中下游地区复种指数下降趋势达到显著性水平，过去 20 年间复种指数下降了 6%，是各农业生态分区中唯一呈现复种指数显著下降的区域，劳动力转移是导致该地区普遍存在的双季稻改种单季稻的种植模式转变的直接原因；华南和西南地区的复种指数呈现波动下降趋势。东北和黄土高原地区复种指数总体保持稳定，无显著变化趋势。总体上，长江中下游、西南和华南地区的复种指数仍有较大的提升潜力。

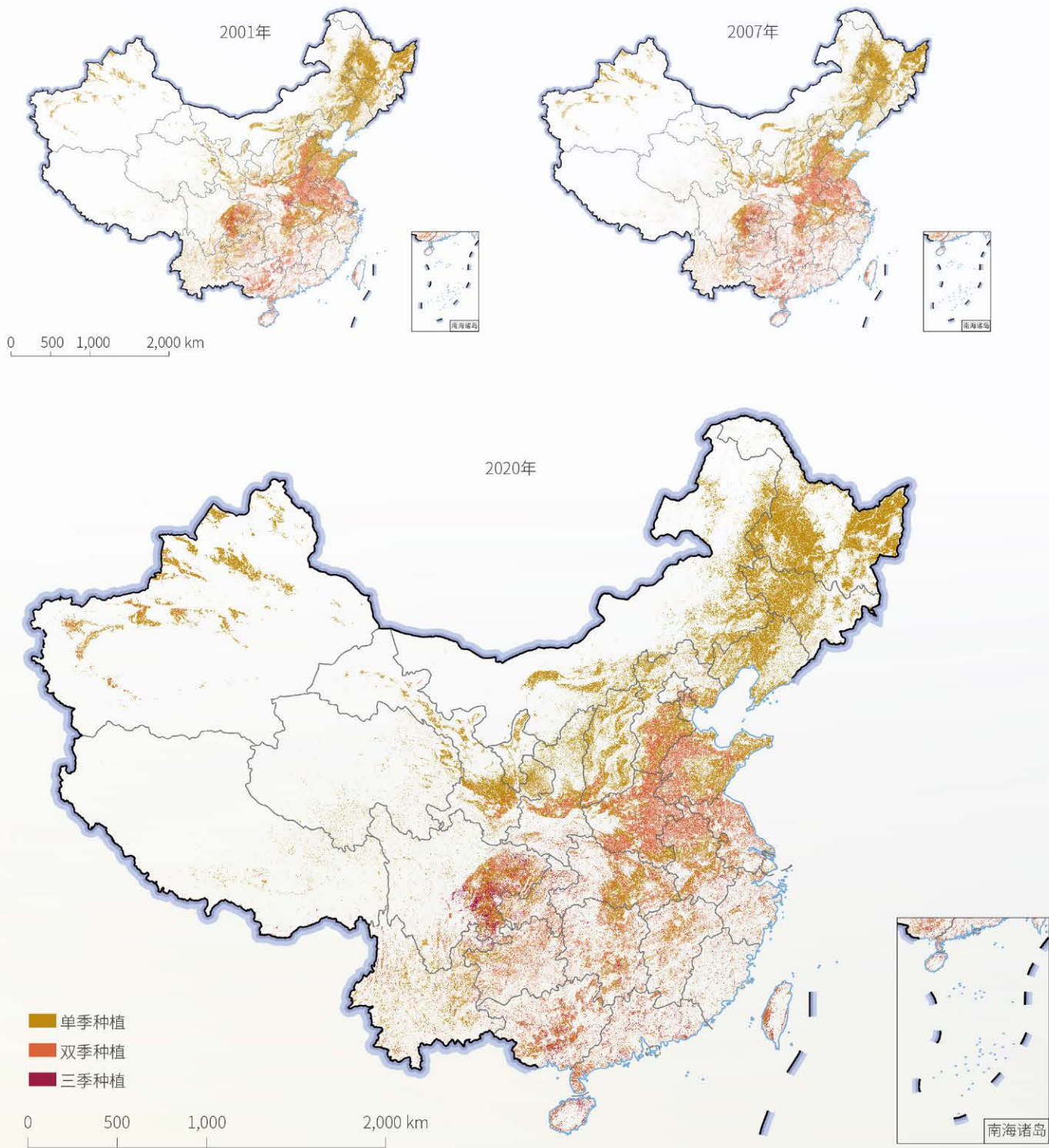
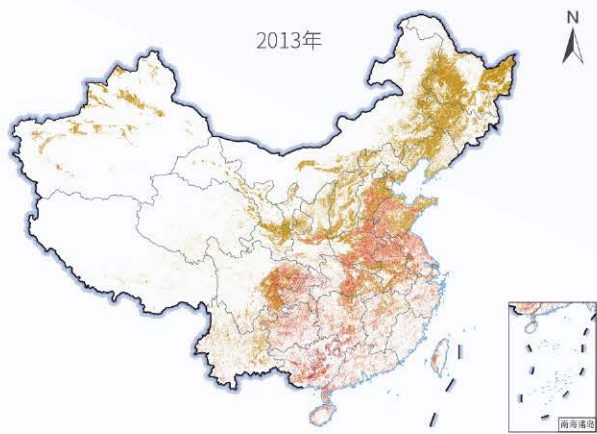


图 2-1.

● 中国2001年、2007年、2013年、2020年复种指数空间分布





讨论与展望

耕地复种指数制图能够为定量分析耕地利用强度和可持续利用状况提供科学数据支撑。案例开展的年度复种指数监测显示，中国复种指数总体呈略微下降趋势。然而，遥感监测显示近 20 年全国粮食总产量增加了约 29%，且绝大多数年份粮食产量同比均实现增加，这与育种技术、管理措施（施肥、灌溉等）对单产的提升作用密切相关。

未来，将考虑引入合成孔径雷达（Synthetic Aperture Radar, SAR）数据，解决南方多云雨地区光学数据质量差导致复种指数提取结果不确定性高的难题，提升中国复种指数数据产品的可靠性。



图 2-2.

● 全国、黄淮海和长江中下游区复种指数变化过程



图 2-3.

● 中国 9 个农业生态区复种指数变化趋势



中国主要作物分布及其时空变化

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

- 通过融合基于时序遥感数据的种植模式和分区作物农时历及种植面积统计信息，实现了中国 2000 年和 2015 年 14 种主要作物 1 km 分辨率空间分布制图，其反映的作物分布空间异质性较常用的平均分配制图方法提高约 30%。
- 2000 到 2015 年间，作物分布重心主要向东北（玉米、花生、大豆等，占总面积的 51%）、西北（棉花、谷子等，占作物播种面积的 24%）和西南（高粱、甜菜等，占作物播种面积的 25%）方向转移，主要受耕地分布变化、复种模式变化，以及种植结构变化的影响。

案例背景

耕地上种植的作物是人类赖以生存的食物来源，它提供了 90% 以上的人类生命活动所需热量以及约 80% 的蛋白质（Kastner *et al.*, 2012）。作物空间分布及种植结构的变化通常会使得营养供给发生变化。同时，由于不同作物具有不同的生物特征，其管理方式也不尽相同，种植过程中所产生的环境效益也差异较大。不同作物种类的空间制图能够为全球粮食安全、环境变化和气候变

化的分析提供基本信息。

目前，尽管对地观测技术的发展使得作物制图能力不断提升，但大多数研究都集中在少数几种作物上。大尺度多类型作物制图仍以遥感与统计数据融合为主，且遥感信息的融合仍有待加强，以更好地反映作物分布的空间差异。

所用数据

◎ 遥感数据：2000 年和 2015 年中国 1:10 万土地利用遥感监测数据库、中分辨率成像光谱仪（MODIS）的增强植被指数（Enhanced Vegetation Index, EVI）时序

数据；

◎ 统计调查：2000 年和 2015 年农业统计数据、作物农时历调查数据、农业气象数据。

方法介绍

基于 MODIS EVI 时间序列数据，采用时间序列谐波分析法进行去云去噪处理，进而构建像元尺度的作物生长过程曲线。通过波峰数及发生时间提取，获得耕地种植模式信息，包括一年一熟、一年两熟（有冬季作物、无冬季作物）、一年三熟（有冬季作物、无冬季作物）等。

在分析归纳作物农时历调查数据的基础上，对全国种植模式进行区划；同时，获取行政单元作物播种面积数据，依据种植模式区划，将各行政单元不同季相作物进行分类归并，求得各种种植模式不同季相作物播种面积信息。依据遥感提取的栅格尺度作物种植模式及其对应

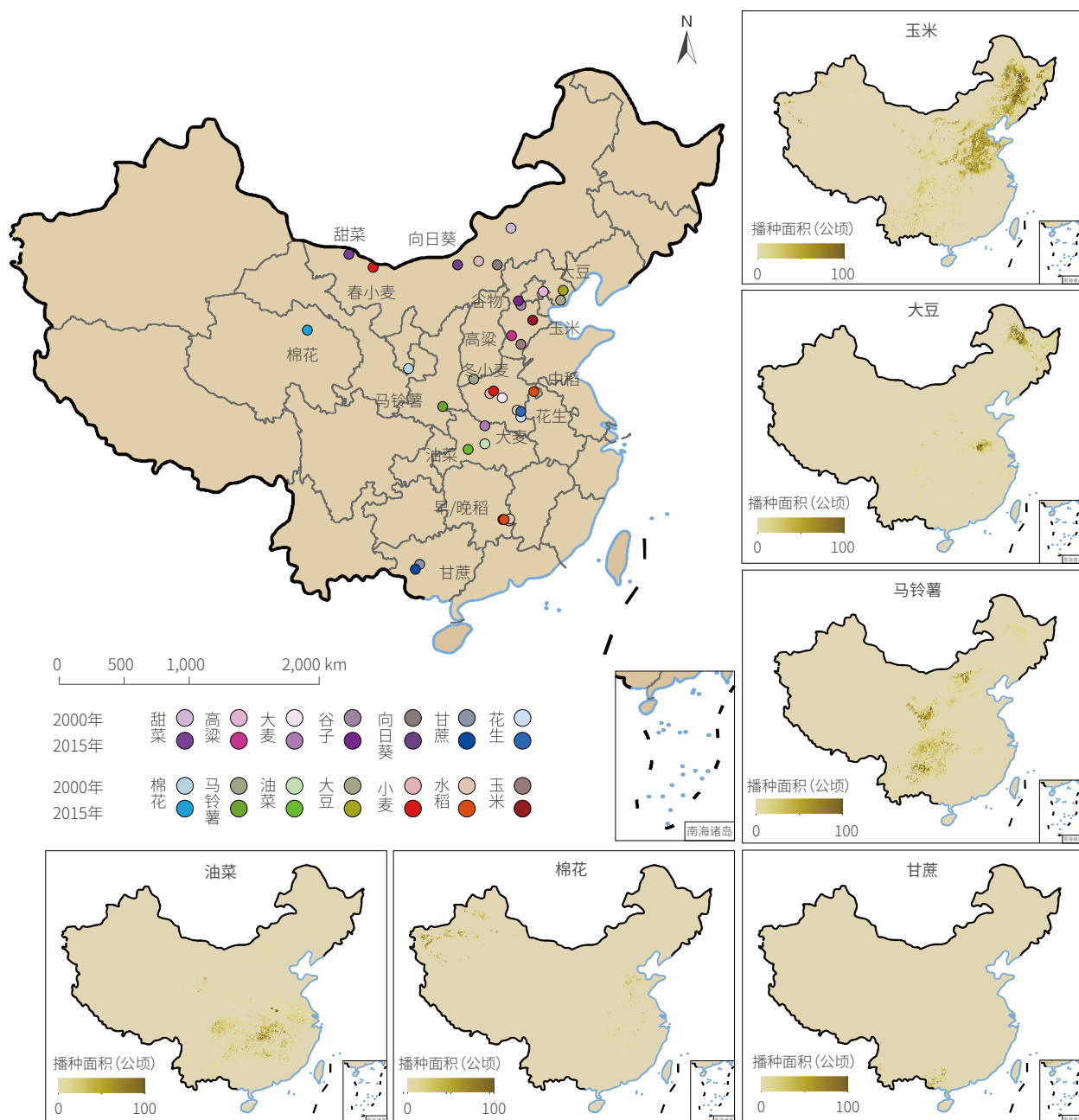
的耕地面积分布以及不同种植模式上各季作物的面积信息，计算每个栅格上各类作物的面积，进而开展 2000 年和 2015 年中国 14 种主要作物的空间分布制图工作，

并对近 15 年以来中国耕地上的作物空间分布及重心变化进行分析。

结果与分析

采用多样性指数衡量作物分布图所展示空间信息的丰富度，将本研究制图结果与常用的平均分配制图方法进行对比。分析发现，在随机选取的 8 个县中，本方法

作物播种面积空间多样性指数在 6 至 7 之间，而平均分配制图方法的多样性指数在 5 以下。同时，采用线性拟合的方法，将最终制图结果中水稻空间分布与中国 1:10



↑ 图 2-4. 2000~2015 年中国 14 种主要作物分布重心变化及代表性作物空间分布情况

万土地利用图中的水田进行对比验证发现，栅格尺度两者的拟合系数为 0.67，说明本方法得到的结果能够较准确地反映作物分布的空间差异。

由于作物具有气候适宜性，不同的作物通常分布在不同的地区（图 2-4）。粮食作物中播种面积最大的玉米，主要分布在华北平原和东北地区，全国约 32% 的耕地种植玉米；豆类作物种植面积最大的是大豆，主要分布在东北地区和华北平原的南部，约占 5% 的耕地；马铃薯在薯类作物中播种面积最大，主要分布在胡焕庸线沿线地区，约 3% 的耕地面积上种植有马铃薯；油料作物中油菜籽播种面积最大，主要分布在中南地区，种植在约 5% 的耕地上；糖料作物主要有甘蔗和甜菜，分别分布在中国南方和北方，其中，甘蔗播种面积较大，且空间分布集中在广西。

讨论与展望

作物空间分布制图提供了关于作物分布和种植结构等信息，能够有效支撑粮食安全及其稳定性评价，促进 SDG 2 零饥饿目标实现进程监测。案例将 MODIS EVI 时序数据反映的耕地种植模式与区域作物农时历相结合，为作物播种面积统计数据的降尺度提供了更为细致的空

间信息，形成了一种适用于各类作物的空间分布制图方法。未来将进一步挖掘对地观测数据所反映的作物生长信息，如生长期长度、生育期植被指数峰值等，以更好地提升作物空间制图地准确性，并在全球作物系统制图开展应用，为评估粮食安全提供基础。

黄河下游中低产田高效生态农业模式实践

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

- 基于农业生态系统理论、信息技术及现代农业技术，于黄河下游中低产田区建立了高效生态农业模式与实体试验农场，显著提升了农场的经济效益和资源环境可持续性，为农业生产模式转型提供示范样板。
- 通过农业生产模式转型，试验区土壤有机质提高 23.08%，化肥使用减少 10.00% 以上，农药施用减少 70.00% 以上，灌溉水量节约 33.33%；对比传统生产模式，农业生产经济效益提升了 61.99%，基于能值评估的可持续性提升了 172.50%。

案例背景

20 世纪 50 年代以来，全球粮食生产取得了瞩目成就——粮食总产量翻了两倍以上，营养不足人口比例由 1969 年的 36% 下降到 2018 年的 11%（UN, 2019）。同时，高度依赖化肥、农药、灌溉水、机械以提高单位面积产量的农业生产方式也面临新问题：全球粮食生产过程中，农业生产用水量占总用水量的 70% 以上（FAO, 2020b），氮肥利用率不到 50%（FAO, 2018），农田作物多样性丧失了约 75%，粮食体系在全球温室气体排放量中占比超过三分之一（Crippa *et al.*, 2021），农业生产

模式亟需变革。

针对可持续农业关注的社会、经济、环境综合效应，本研究在黄河下游中低产田区建立了基于现代农业技术集成的高效生态农业模式（Efficient Ecological Agricultural Paradigm, EEAP）与百亩（1 亩 = 0.067 公顷）规模实体示范农场，以期提升农业生产的经济效益与资源环境的可持续性，为保障长远粮食安全，实现零饥饿目标，提出典型地区可持续农业综合解决方案。

所用数据

◎ 基于传感器网络、信息化平台获取的 2018 年山东禹城北丘试验农场的气象数据、作物长势、土壤环境、养殖环境监测数据、投入产出数据（化肥、机械、饲料、劳动力、产量、经济效益等）及大田试验数据（土

壤有机质、肥料利用率及水分利用率等）；

◎ 2017 年山东济南、德州、潍坊 271 个农户投入产出调研数据，包括种子、农药、化肥、机械、劳动力、产量等数据。

方法介绍

基于农业生态系统与食品 - 能源 - 水关联理论，面向提高经济效益、增强资源高效循环利用、降低环境负

载等多个可持续发展维度，构建了作物 - 畜禽 - 微生物的高效循环农业系统模式，并在黄河下游中低产田建立了

百亩生态农场 (图 2-5a), 开展可持续农业生产模式转型实践。

模式由作物子系统、高值子系统、发酵子系统组成, 试验农场面积共计 230 亩 (图 2-5b):

(1) 作物子系统, 具备粮食生产功能并提供可用于动物养殖的饲料, 有机肥施用技术能够保证土壤肥力的持续性;

(2) 高值子系统, 具备提供营养丰富且高经济附加值的经济作物及畜产品生产功能, 同时为粮食作物及经济作物提供有机肥;

(3) 发酵子系统, 具备提高粪便有机肥生产效能和饲料利用率的微生物处理功能。

整个系统集成传感器网络技术和大数据管理平台技术, 将各子系统串联, 开展数据采集, 实现结构定量优化,

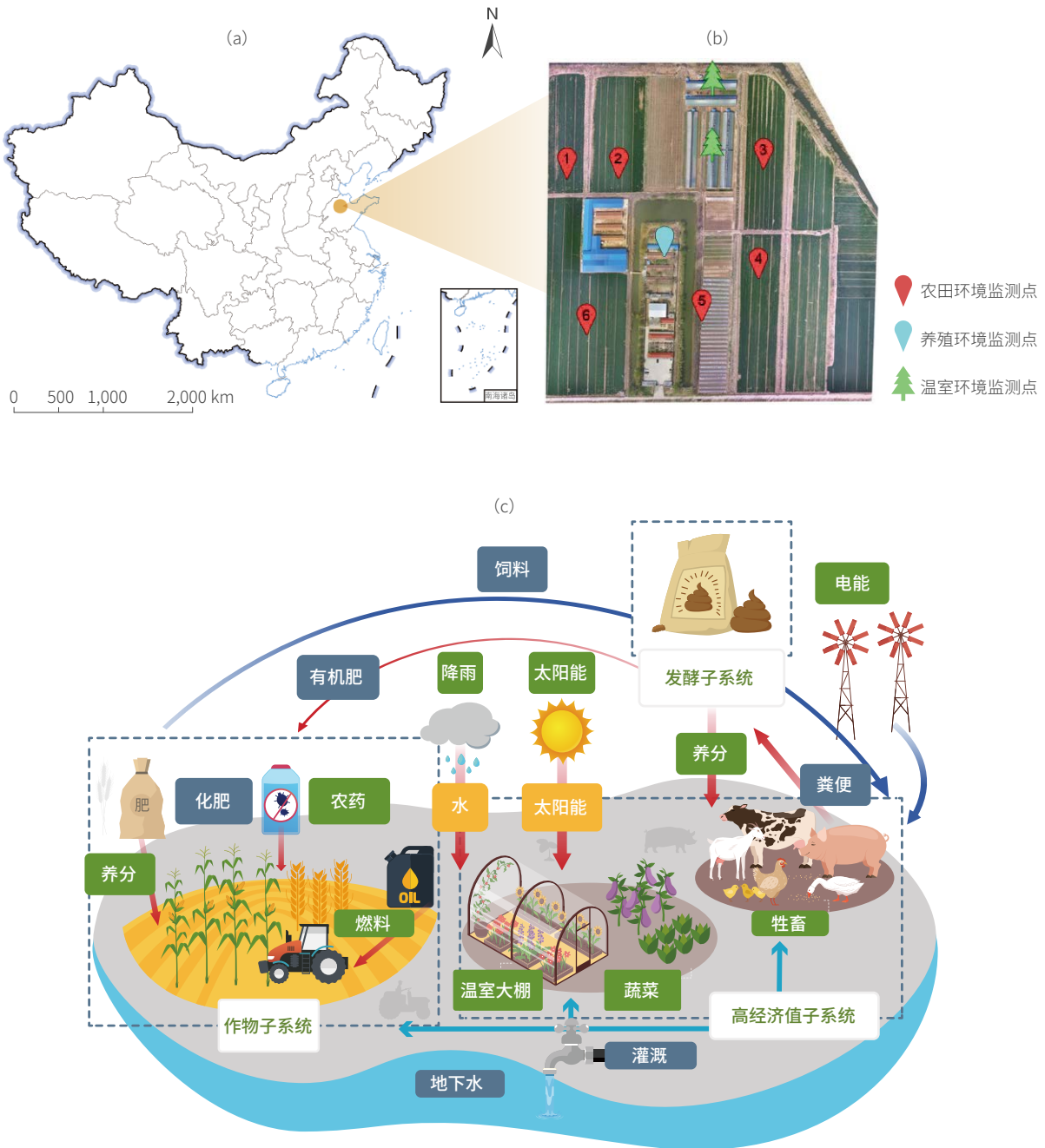


图 2-5. 高效生态百亩示范农场 (a) 地理位置 (b) 农场无人机影像图及数据采集点分布以及 (c) 物质能量流动图

结合多种现代生态农艺技术，最终形成一套面向可持续发展、可复制推广的新型高效循环农业生产模式。此外，基于传感器网络、信息化平台采集数据的方式为该农业生产模式后期运行、管理、评估提供有力支撑。

为评估农场试验效果，基于能值的方法体系（Odum, 1996），结合不同投入资源的可更新性及农业系统产出，建立了评价农业生产系统的综合指标体系，包括

土地收益率（Land Profit Output, LPO）、环境负载率（Environmental Loading Ratio, ELR）、能值可持续发展指数（Emergy Sustainability Index, ESI），全面评价农业生产系统整体的经济效益、环境负载以及可持续性。同时，对比分析高效生态农业模式与传统模式（Traditional Paradigm, TP）的各项指标，衡量高效生态农业模式的可持续性提升效果。

结果与分析

经过两年的试验运行，高效生态模式使得大田作物土壤有机质由原来的 13.00 g/kg^{-1} ，提升至 16.00 g/kg^{-1} 以上，土壤有机质提高 23.08%；化肥用量节省 10.00% 以上，肥料利用率提高 8.00% 以上；农药施用减少 70.00% 以上；农田生物多样性增加，有益昆虫数量大幅度提高；小麦生育期灌溉量从 $5400.00 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ 下降到低于 $3600.00 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ，灌溉水量节约 33.33%（图 2-6a）。

与传统模式对比，高效生态模式的土地收益率为 $2.67 \text{ 万元} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ，而传统模式的土地收益率为 $1.65 \text{ 万元} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ，高效生态模式的土地收益率增加了 61.99%（图 2-6b）。高效生态模式的环境负载率为 1.04，而传统模式的环境负载率为 3.96，高效生态模式生产对环境的压力下降了 73.74%（图 2-6c）。同时，高效生态模式的能值可持续发展指数为 1.09，而传统模式的能值可持续发展指数仅为 0.40，高效生态模式的可持续性提高了 172.50%。

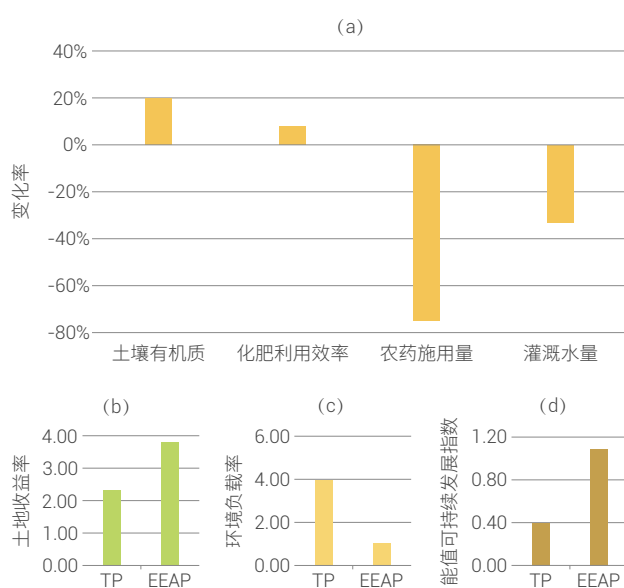


图 2-6. 试验农场采用高效生态模式前后 (a) 土壤有机质、化肥利用效率、农药施用量、灌溉水量的变化；高效生态农业模式 (EEAP) 与传统模式 (TP) 在 (b) 土地收益率、(c) 环境负载率和 (d) 能值可持续发展指数的比较分析

讨论与展望

本研究综合运用农业生态系统理论方法及现代农业生产技术，建立了面向适合家庭规模经营、资源环境可持续发展的百亩试验示范农场，提出了提升农业生产经济效益、生态效益以及社会效益的新型高效生态农业模式，为实现可持续农业提供综合解决方案。通过农业生态系统中各子系统优化和相应技术的筛选集成，该案例提出

高效生态农业模式可推广至亟须解决资源环境矛盾和贫困问题的其他国家或地区。目前，已经形成百亩、千亩、万亩的示范样板，在全国主要区域（黑龙江齐齐哈尔、吉林松原、河南滑县、江苏镇江、广西横县等）得到应用推广。

2 零饥饿



本章小结

粮食可持续生产是实现零饥饿目标的基础，同时是应对气候变化、土地退化、生态退化等全球挑战的有效手段。粮食生产作为自然与人类交互作用最为剧烈的一种活动，其可持续保障需要通过将科技创新充分融入政府治理与个人和集体行动来实现。报告聚焦 SDG 2.4 中的粮食可持续生产，基于地球大数据技术，发展了国家尺度耕地复种和作物分布空间制图方法，实现了这两个耕地利用关键要素时空格局变化分析，可为国家可持续农业治理提供决策支撑；同时，报告提出了数据驱动的高效生态农业模式，并建立实体试验农场，为农户与不同规模经营主体开展可持续农业生产提供技术支撑与示范。具体结论如下：

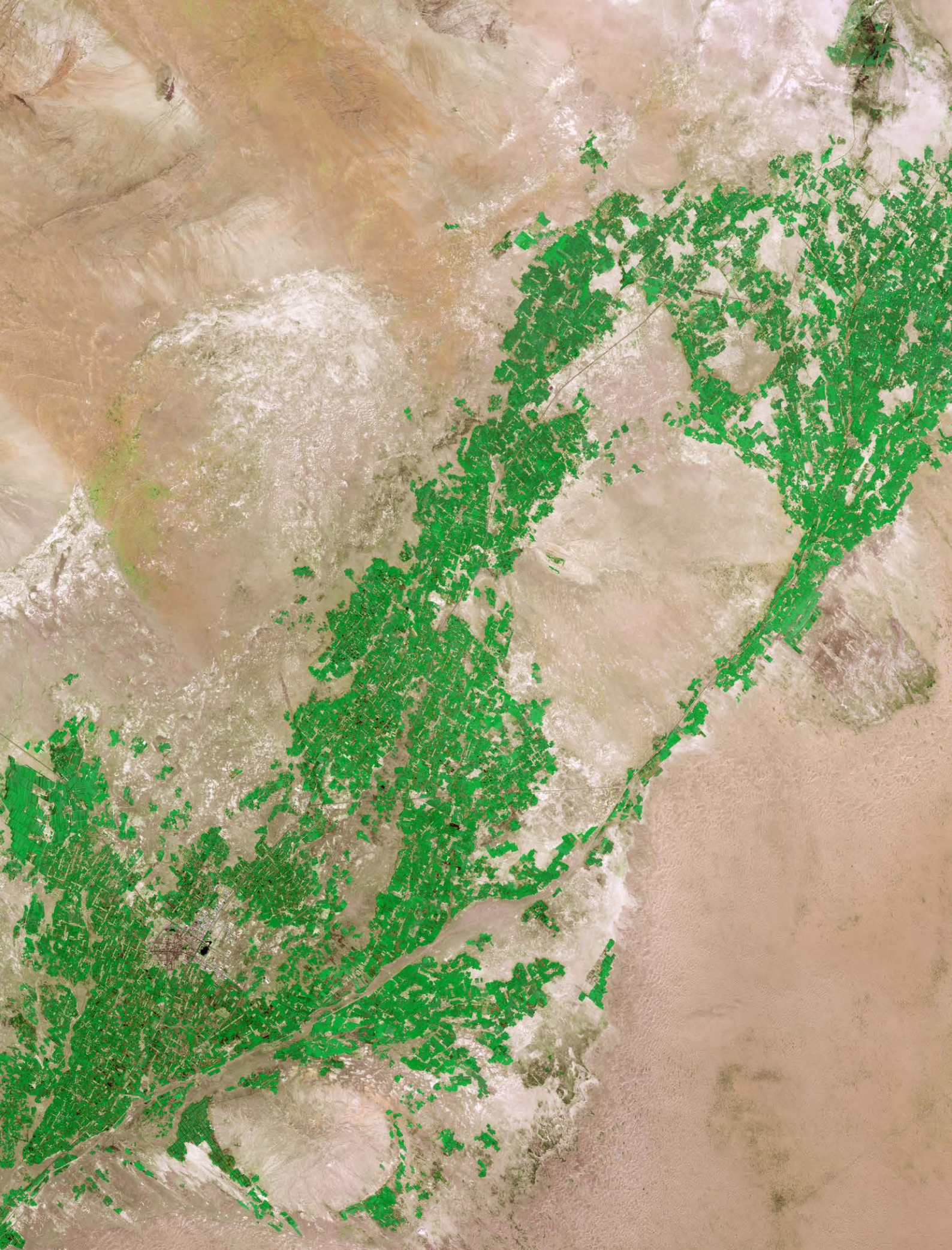
（1）面向及时快速信息获取能力，针对粮食增产的第三元途径——复种生产，通过多源对地观测数据融合与云计算平台，实现了 2001 年至 2020 年年度更新的中国耕地复种指数提取，发现近 20 年来，中国复种指数略

微下降 6%，并提出未来复种指数提升的重点关注区；

（2）面向多源数据融合的信息提取能力，针对多维营养供给基础——多元作物系统，通过时序遥感数据种植模式提取和分区作物农时历及种植面积统计信息，实现了中国 2000 年和 2015 年 14 种主要作物空间分布制图，得到了作物分布重心主要向东北、西北和西南三个方向移动的结论；

（3）面向粮食体系转型，基于农业生态系统理论、信息技术及现代农业技术，构建了高效生态农业模式，并通过实体试验农场的建设，揭示出这一农业模式在提升经济效益、降低资源消耗，减轻环境影响方面的贡献，为发展可持续农业模式提供了范例。

报告通过案例研究，展现了地球大数据针对粮食生产系统的及时信息获取和多源数据融合分析方面的能力与潜力，并为粮食生产向可持续发展的转型提供了可借鉴的模式。



民勤绿洲遥感影像图（卫星数据源：高分六号宽幅 成像时间：2019年8月18日）





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 | 49 |



背景介绍

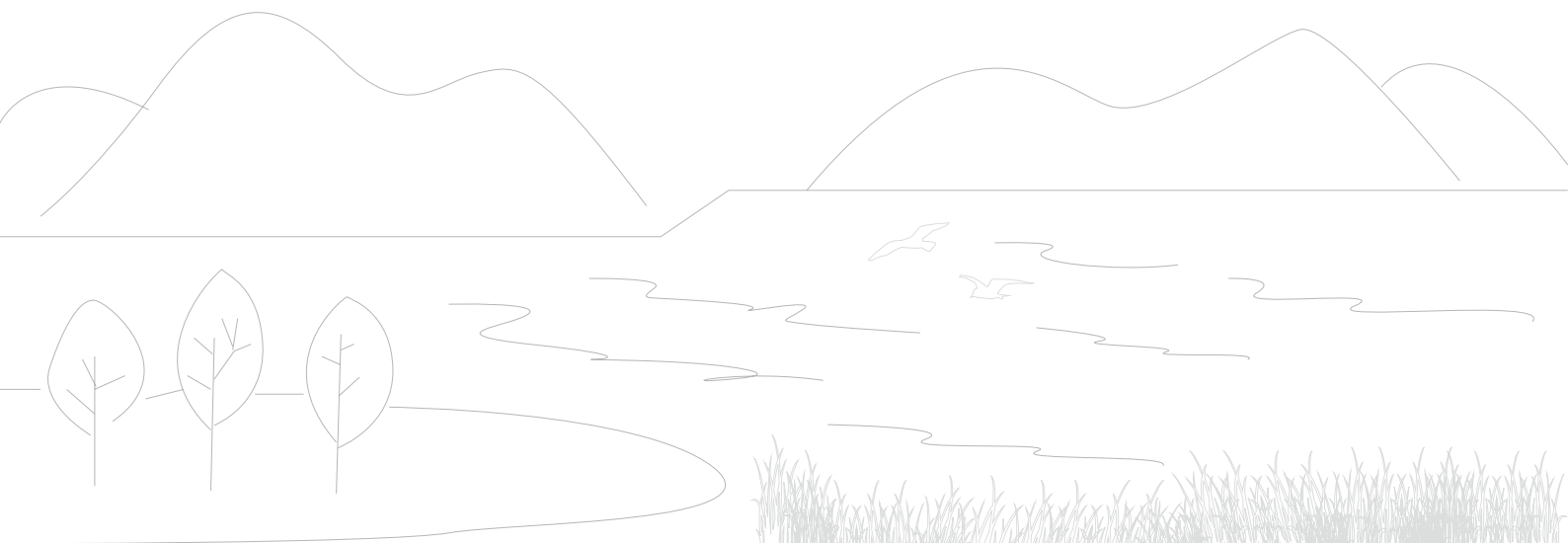
SDG 6 目标设定为“为所有人提供水和环境卫生并对其进行可持续管理”。根据联合国水机制发布的最新评估报告，在新型冠状病毒肺炎暴发之前，世界就已经偏离了 SDG 6 的正确轨道（UN-Water, 2021）。当前，全世界仍有数十亿人生活在没有安全管理的饮用水和卫生设施的环境中。许多饮用水源正在枯竭，水污染在加剧，高耗水工业、农业和能源行业还在持续增长，以满足不断扩大的人口数量的需求。

为解决清洁饮水和卫生设施目标实现过程中存在的问题，并重新带领世界走上实现可持续水资源管理目标的道路，联合国提出了包括融资、数据和信息、能力发展、创新、治理在内的加速行动计划（UN-Water, 2020a）。其中，数据和信息是指通过数据生产、验证、标准化和信息交换，包括利用连贯一致的数据、创新的方法和工具来优化涉水监测和评估。

近年来快速发展的地球大数据技术大大地提升了 SDG 6 的监测与评估能力。这些技术手段通过远程感知、定期重访、快速信息提取实现了相关指标的高时空分辨率监测，在节省资金、节约时间的同时，提供了更为准确和全面的评估结果。然而即便如此，截至目前，联合

国成员国平均拥有的 SDG 6 各指标的数据仅为三分之二，有 38 个成员国拥有的数据甚至不到全部指标的一半（UN-Water, 2021），迫切需要通过发展技术和体制能力及基础设施，进一步提高国家层面监测 SDG 6 指标的能力。

过去 2 年地球大数据支撑 SDG 6 目标监测与评估的案例研究实践，推动中国在监测和评估 SDG 6 目标进展方面取得了长足的进步，完成了面向全国范围开展 SDG 6.3 改善水质和 SDG 6.6 保护和恢复与水有关的生态系统状况评估的技术积累和应用示范。本章在延续 2019 年、2020 年模型方法、区域和全国评估示范的基础上，围绕 SDG 6.3 改善水质、SDG 6.4 提高用水效率、SDG 6.5 水资源综合管理和 SDG 6.6 保护和恢复与水有关的生态系统 4 个子目标，评估了中国实施水质、水量和水生态一体化管理的成效，并开展了部分指标的全球示范应用。本章节中各案例研究成果是对联合国 SDG 数据库系统中关于中国数据集的有益补充。运用大数据技术方法客观和准确地评估中国 SDG 6 目标实现进程对其他发展中国家也具有重要的示范意义。





主要贡献

本章 5 个案例的主要贡献重点体现在数据产品发展和决策支持两个方面，数据产品贡献包括全国湖泊水体透明度数据集、全球大型湖泊水体透明度数据集、全国自然和人工水体分布数据集、全国沼泽湿地分布数据集，以及长时序全球农作物水分利用效率数据集；在决策支

持方面，开展的中国水资源综合管理评估结果将直接支撑优化和改进我国现有的水资源管理制度，而关于湖泊水体透明度、自然和人工水体分布、沼泽湿地动态变化等评估结论将支撑不同行政区水环境治理和水生态保护相关工作的开展（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 | 湖泊水体透明度动态变化监测与评价 | <p>数据产品：中国湖泊水体透明度遥感监测数据集（1985~2020 年，每 3 年，30 m）；全球大型湖泊透明度遥感监测数据集（2010 年、2015 年、2020 年，500 m）</p> <p>决策支持：为湖泊水生态恢复与保护工作的开展提供基础数据和科学评估结果参考</p> |
| 6.4.1 按时间列出的用水效率变化 | Tier I | 全球农作物水分利用效率变化评估 | <p>方法模型：全球尺度基于多源遥感数据并结合作物生长过程的作物水分利用效率评估方法</p> <p>数据产品：全球作物水分利用效率空间分布数据集（2001~2019 年，每年，1 km）</p> |
| 6.5.1 水资源综合管理的程度 | Tier I | 中国水资源综合管理评估 | <p>决策支持：支撑开展水利治理体系和治理能力优化和提升工作</p> |
| 6.6.1 与水有关的生态系统范围随时间的变化 | Tier I | 2000~2020 年中国自然和人工水体变化 | <p>数据产品：中国自然和人工水体分布数据集（2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2020 年，30 m）</p> <p>决策支持：为开展地表水资源调查评估提供基础数据和科学评估结果参考</p> |
| | | 2010~2020 年中国沼泽湿地时空动态 | <p>数据产品：中国沼泽湿地空间分布数据集（2010 年、2015 年、2020 年，30 m）</p> <p>决策支持：为湿地保护与恢复提供基础数据和科学结果参考</p> |



案例分析

湖泊水体透明度动态变化监测与评价

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

- 发展并验证了基于卫星遥感的中国及全球湖泊水体透明度反演模型，计算提取了中国湖泊水体清澈程度良好比例数据。
- 构建了 1985~2020 年中国湖泊和 2010 年、2015 年和 2020 年全球大型湖泊水体透明度空间分布数据集。
- 中国湖泊水体透明度在 2001~2020 年间总体呈显著上升趋势，全球大型湖泊水体透明度在 2010~2020 年总体呈上升趋势。

案例背景

在联合国 2015 年提出的清洁饮水与卫生设施目标指标体系中，SDG 6.3.2 含义为每个国家的环境水质良好的地表水体占地表水体总数的比例。但是，传统的野外站点监测手段不能满足大范围地表水体水质监测的需求，卫星遥感数据已成为重要且低成本的大范围地表水质监测数据源。卫星遥感能够监测的湖泊水质参数中比较重要的是水体透明度，它是衡量水体清澈程度的重要指标，反映了综合的水质状况。

本研究依托地球大数据技术，以水体透明度作为湖泊水质监测的指标，基于卫星遥感分析中国 1985~2020 年面积大于 1 km² 的湖泊水体透明度时空变化趋势，并将中国尺度的监测方法扩展至全球，分析了 2010 年、2015 年和 2020 年面积大于 25 km² 的全球大型湖泊透明度时空变化趋势，为全球开展 SDG 6.3.2 指标评估提供全新的中国及全球湖泊水体透明度遥感监测数据集。

所用数据

- ◎ 卫星遥感数据：1985~2020 年中国范围 30 m 分辨率 Landsat TM/ETM+/OLI；2010 年、2015 年和 2020 年全球范围 500 m 分辨率 Terra MODIS；
- ◎ 水体实测数据：中国地表水体实测透明度数据集；国家地球系统科学数据中心的实测透明度数据集；欧洲湖泊调查（European Multi Lake Survey, EMLS）共享实测数据集以及美国 AquaSat 共享实测数据集；
- ◎ 基础地理信息：全球海岸带矢量数据；全球 30 m 地表水体数据集（Global Surface Water, GSW）。

方法介绍

以 Landsat 和 MODIS 地表反射率产品为数据源，首先，构建了基于 Landsat 和 MODIS 的蓝、绿、红三个波段光谱响应函数归一化校正的色度角和水体颜色指数计算模型，进而构建了基于水体颜色指数和色度角的地表水体透明度反演模型（Wang *et al.*, 2020）；收集全球典型地表水体实测数据集对透明度反演模型进行验证与标定。然后，基于 Landsat 生产中国面积大于 1 km² 的湖泊

水体 1985~2020 年透明度数据集；基于 MODIS 生产全球面积大于 25 km² 的大型湖泊水体 2010 年、2015 年和 2020 年透明度数据集。最后，基于这些透明度时间序列数据集分析中国及全球湖泊水体透明度时空变化趋势，并把透明度大于 0.5 m 的水体定义为清澈水体（Stephens *et al.*, 2015）。

结果与分析

中国湖泊水体平均透明度和清澈水体面积比例的时序变化趋势如图 3-1 所示。中国湖泊水体平均透明度时序变化曲线在 2001 年前后存在明显的拐点，2001 年前平均透明度呈现显著下降趋势，而 2001 年后平均透明度呈现显著上升趋势。清澈水体面积比例在 1985~2020 年总体呈现显著上升趋势。

中国五大湖区水体平均透明度的时空变化趋势如图 3-2 所示。从数量上来看，中国各湖区的大部分湖泊相较于 1985 年均呈现出变清澈的趋势，各湖区内透明度呈现增加趋势的湖泊数量占比均高于 77.0%，其中，中国东部平原湖区最高（84.3%），蒙新高原湖区最低（77.0%）。

全球大型湖泊 2020 年夏季平均透明度分布如图 3-3 所示。2015 年相较于 2010 年，亚洲中部、欧洲北部、非洲东南部、北美洲北部以及南美洲中部地区水体透明度上升较为明显。2020 年相较于 2015 年，全球大型湖泊水体透明度总体呈上升趋势，上升明显的区域主要分布在亚洲东部和西部、欧洲北部、非洲中部和东部、北美洲中部和南美洲东南部地区。2010~2020 年全球大型湖泊水体透明度总体呈波动的上升趋势，全球 1257 个大型湖泊中的 51.1% 的水体透明度上升，其中非洲水体透明度上升最为明显。

讨论与展望

本研究利用基于卫星遥感的湖泊水体透明度反演模型，构建了全球两个尺度的湖泊透明度数据集，分析刻画了中国及全球湖泊水体透明度空间分布格局和年际变化趋势，为中国及全球 SDG 6.3 改善水质目标监测评估提供了基础数据和分析结论。

虽然本研究示例了中国及全球湖泊水体透明度遥感

监测评估能力，但透明度指标仅能反映湖泊水体的浑浊状态，还不能完整描述水质整体状况。未来将进一步探索监测更多水质参数，进一步完善面向 SDG 6.3.2 指标的地表水体水质监测，为各级环境监测和管理部门提供多尺度水质状况信息和决策支撑。

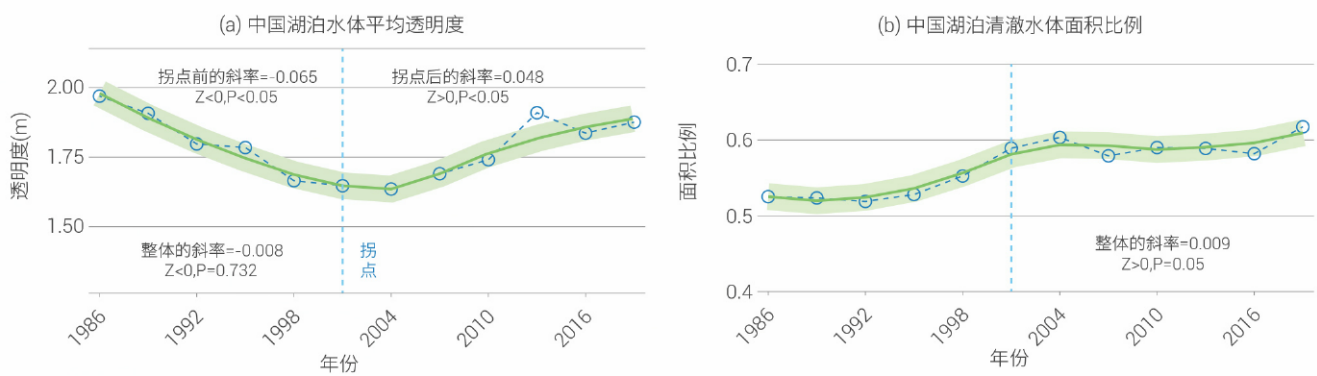
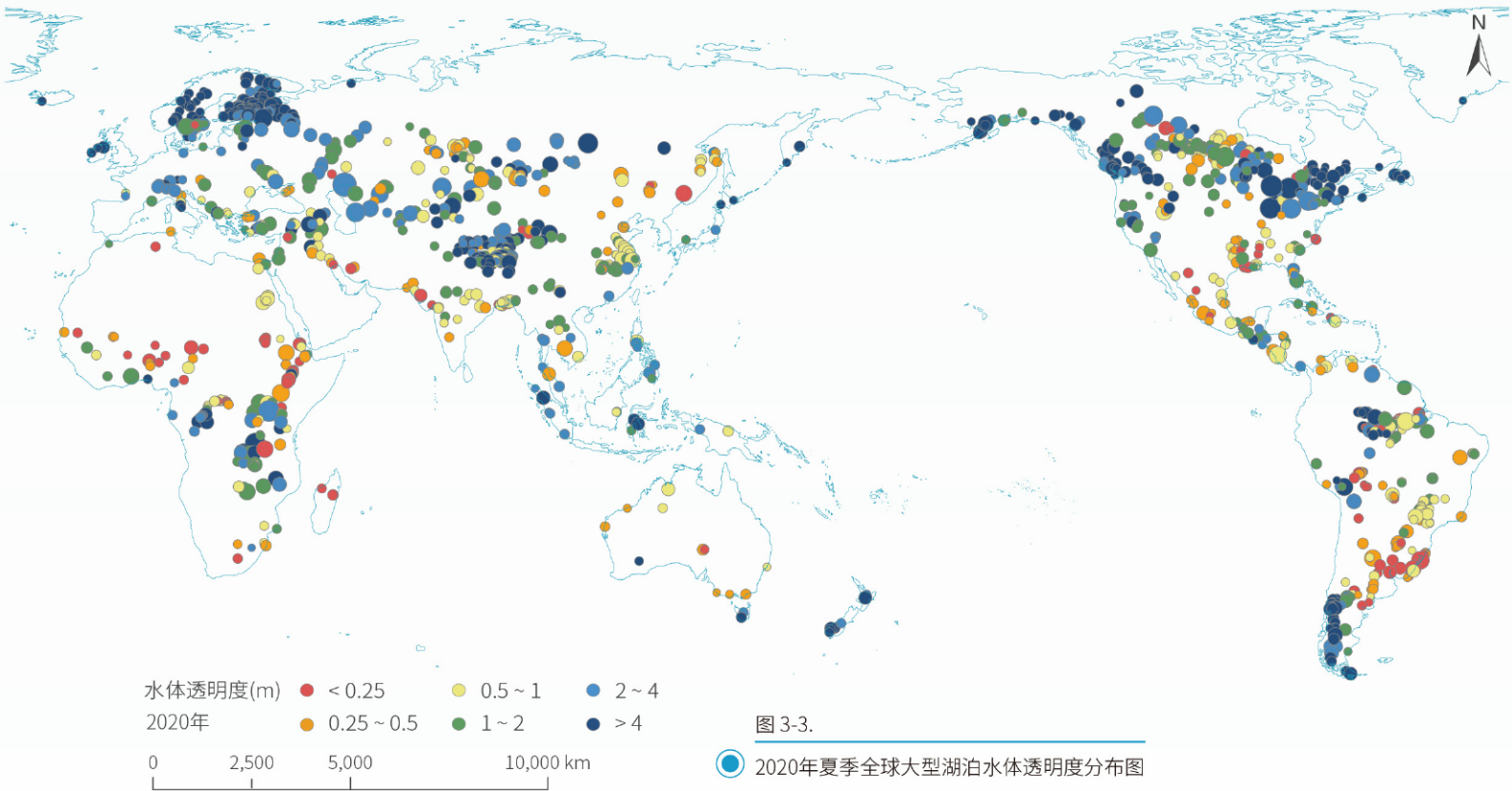
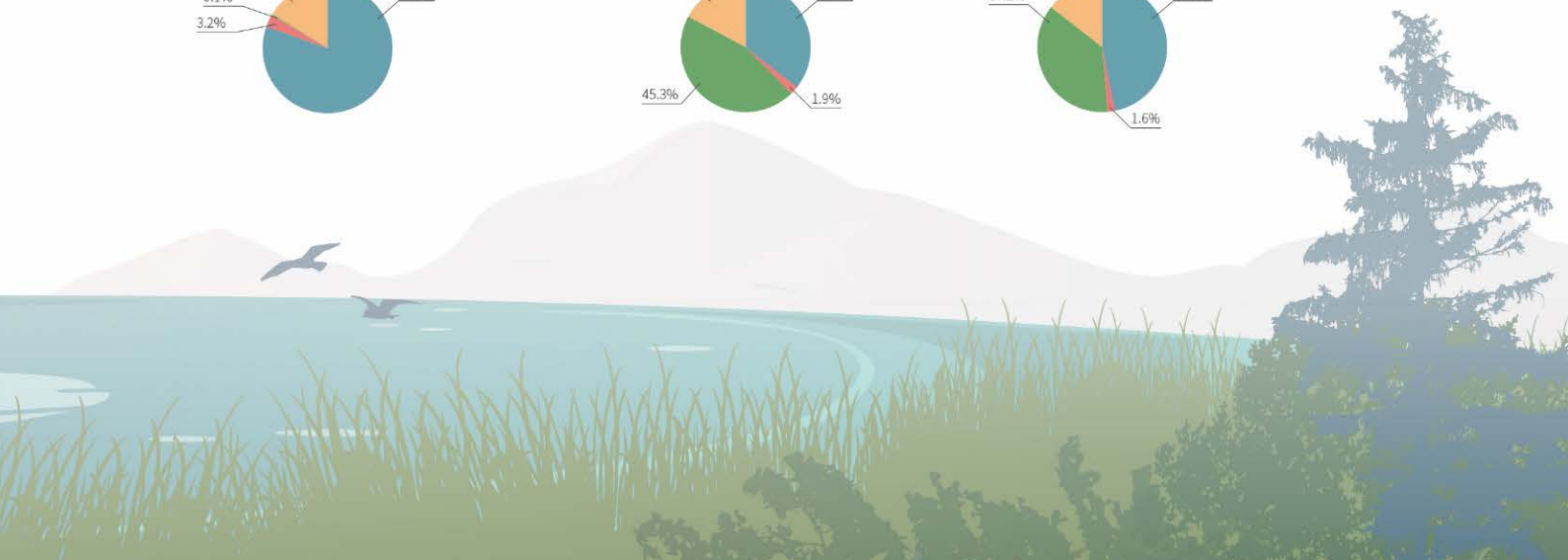
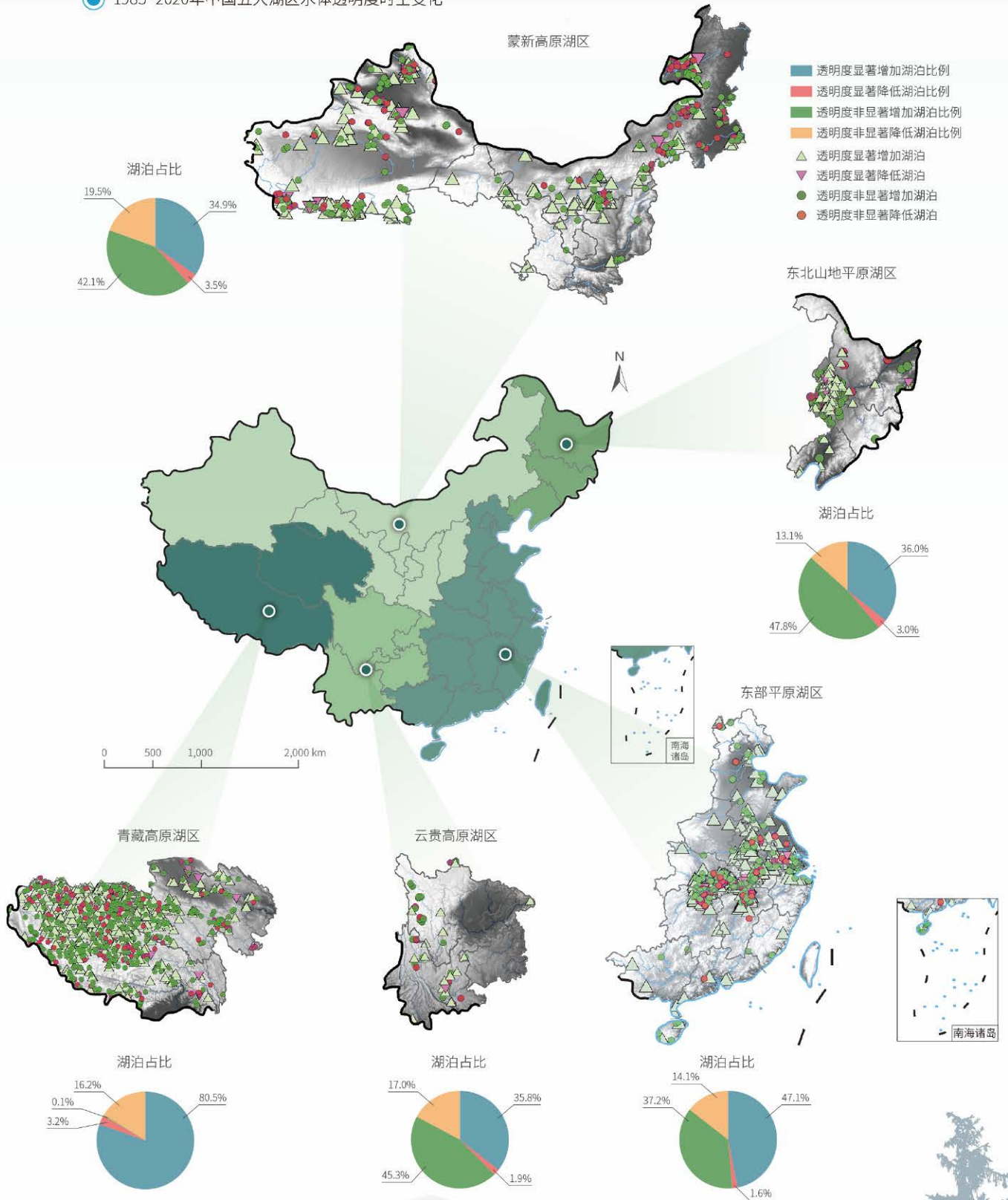


图 3-1.

● 1985~2020年中国湖泊水体平均透明度和清澈水体面积比例的趋势变化

图 3-2.

1985~2020年中国五大湖区水体透明度时空变化



全球农作物水分利用效率变化评估

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

- 创新发展了全球尺度基于多源遥感数据并结合作物生长过程的作物水分利用效率评估方法，构建了 2001~2019 年全球农业区农作物水分利用效率数据集，为全球一致、空间可比的全球农业区 SDG 6.4.1 指标的监测评估提供了方法模型和数据。
- 近 20 年来全球农业区的作物水分利用效率呈增加趋势。这个变化主要由技术进步、经济社会发展及气候变化等因素导致的作物生物量增加所引起。

案例背景

SDG 6.4 的二级指标 SDG 6.4.1 提出“按时间列出的用水效率变化”，旨在衡量各个国家水资源利用率的变化，助力解决可持续发展目标具体目标 6.4 的经济活动部分所面临的问题。该指标涵盖农业、工业、服务业等行业的用水效率，其中，农业用水量大，耗水量高（消耗于蒸散发），因此，提高农业用水效率是实现水资源可持续开发利用的一项重要措施。

常用农业用水效率评价指标之一是作物水分利用效率（Water Use Efficiency, WUE），是指单位水量所生产

的生物量，能够从产出方面反映水的利用效率。基于多源遥感等地球大数据结合模型获取全球农业区的作物水分利用效率时间序列，可以为可持续发展目标农业用水效率及其时间序列变化评估提供空间数据支持，其时空覆盖范围、时效性及更新频率优于基于统计数据的评估方法。本研究为弥补当前评估农业用水效率数据不足问题，研究替代指标用于评价全球不同区域农作物用水效率随时间的变化。

所用数据

◎ 遥感数据：2001~2019 年间不同时空分辨率的 MODIS 及全球陆表特征参量产品（Global Land Surface Satellite, GLASS）的地表反照率、NDVI、叶面积指数（Leaf Area Index, LAI）、植被覆盖度、雪盖和土地覆盖/利用分类数据，中国科学院空天信息创新研究院研制的全球动态水体面积，全球降水测量数据（Global Precipitation Measurement, GPM），欧洲航天局气候变化倡议（European Space Agency-Climate Change Initiative, ESA-CCI）的土壤水分和土地覆盖/利用（Land Use and Land Cover, LULC）分类数据，哥白尼全球土地服务计划（Copernicus

Global Land Service, CGLS）的光合有效辐射吸收比例数据（Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation, FAPAR），美国航空航天局和国防部国家测绘局联合测量（Shuttle Radar Topography Mission, SRTM）的 DEM 数据（2000 年）；

◎ 大气驱动及其他空间数据：2001~2019 年 ERA5 大气驱动数据，土壤属性数据；

◎ 全球地面通量塔农田站潜热通量及二氧化碳通量或总初级生产力（Gross Primary Productivity, GPP）观测数据，用于验证蒸散发及 GPP 的估算结果。

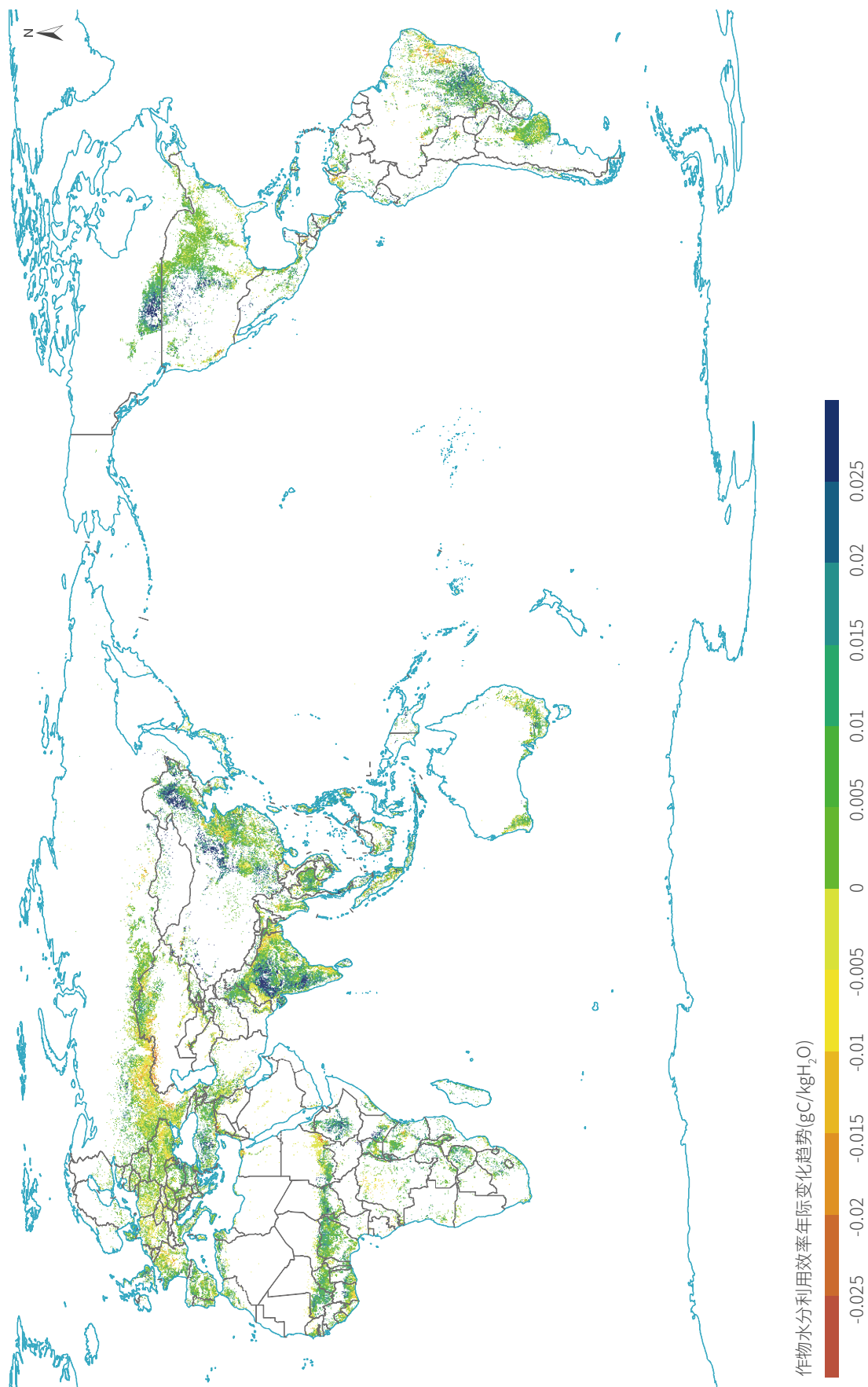


图 3-4. 2001~2019 年全球作物水分利用效率变化趋势空间分布

方法介绍

作物水分利用效率 WUE 可表达为作物净初级生产力 (Net Primary Productivity, NPP) 与蒸散耗水量 (Evapotranspiration, ET) 之间的比值。利用各类数据结合模型估算作物水分利用效率的方法包括：

(1) 蒸散耗水量采用 ETMonitor 模型 (Hu and Jia, 2015; Zheng *et al.*, 2019) 及多源遥感数据和大气再分析数据 ERA5 为驱动进行计算, 综合考虑影响蒸散发的能量平衡、水平衡和植被生理等主要物理过程。

(2) 作物净初级生产力 $NPP = \text{作物总初级生产力 GPP} - R$ (即维持呼吸和生长呼吸), 其中 GPP 采用改进的光能利用率模型进行估算, 在已有模型 (Field *et al.*, 1995; Zwart *et al.*, 2010) 基础上做了两方面的改进: ① 引进土壤水分胁迫因子以提高土壤干旱条件下对 GPP 的

估算精度; ② 利用全球通量塔农田站观测获取的 GPP 优化光能利用率模型中的最大光能利用率及温度胁迫和水气压差胁迫因子的参数。年尺度生长呼吸与 GPP 成比例, 逐日维持呼吸通过与叶面积指数相关的函数计算得到并累计到年尺度值。

(3) 利用通量塔站观测得到的蒸散发 ET 及 GPP 验证估算结果, 发现估算的 ET 精度优于现有同类遥感产品, 改进后的光能利用率模型显著提高了作物总初级生产力 GPP 的估算精度。

(4) 利用以上方法得到的 NPP 及 ET 估算作物水分利用效率, 最终得到精度较高的 2001~2019 年全球年尺度 1 km 分辨率作物水分利用效率的时间序列。

结果与分析

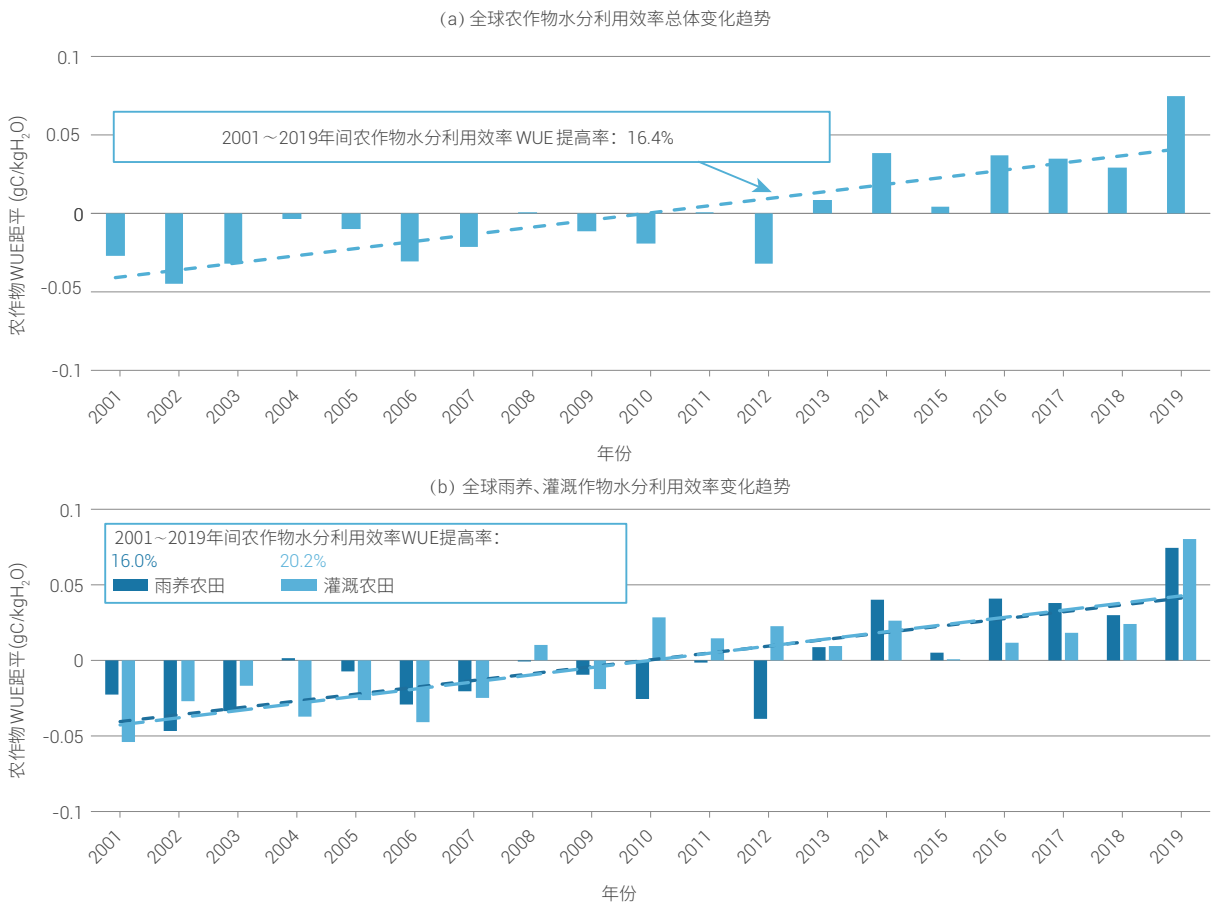


图 3-5. 2001~2019 年全球作物水分利用效率 WUE 年际变化趋势统计分析

2001~2019 年全球作物水分利用效率随时间变化趋势存在一定空间差异，其中亚洲、美洲、大洋洲作物水分利用效率整体呈现一致的上升趋势，欧洲和非洲虽然以提升为主、个别国家和地区表现出下降趋势；中国及加拿大作物水分利用效率呈最显著的增加趋势（图 3-4）。近 20 年来全球农作物水分利用效率平均提升了 16.4%，其中雨养和灌溉作物水分利用效率分别提高了约 16.0% 和 20.2%，灌溉农田的水分利用效率的提升幅度明显高于雨养农田（图 3-5b）；近些年全球农田水分利用效率提升幅度加大，而且灌溉农田水分利用效率的提升拐点早于雨养农田（表现为图 3-5b 中前者正距平早于后者）。

讨论与展望

本研究发展了基于多源遥感数据并结合作物生长过程的作物水分利用效率评估方法，以全球一致、空间可比的遥感蒸散发和净初级生产力 NPP 数据产品为基础，提取并分析了 2001~2019 年全球作物水分利用效率及其年际变化，对于准确掌握全球农作物水分利用效率历史过程及现状水平具有重要意义。

需要指出的是，作物净初级生产力高并不意味着粮食产量高。受农业气象灾害的影响，存在基于作物净初

这是技术进步、经济社会发展以及一定程度的气候变化等因素导致的作物生物量增加和耗水量减小的共同作用。

在作物水分利用效率整体呈增加趋势的过程中，2015 年出现明显的下降状态，可能是受 2015 年发生全球性的超强厄尔尼诺事件（起止年月为 2014 年 10 月~2016 年 4 月）影响所致。该次事件具有“生命史长、累计强度大、峰值强度高”这三个重要特点，是 20 世纪以来最强的厄尔尼诺事件之一。超强厄尔尼诺事件导致的区域性干旱事件引起作物生物量显著降低（李加洪和施建成，2016）。由于作物水分利用效率年际之间的动态变化与其生物量一致，因而也呈现出显著下降趋势。

级生产力计算的作物水分利用效率与基于粮食产量计算的作物水分生产力时空动态变化不一致的情况。由作物净初级生产力转化为粮食产量的影响因素复杂，尤其是作物不同生长发育阶段对农业气象灾害的敏感性也不同。当前面临农业气象灾害的形势仍较为严峻，未来应进一步提高农田管理水平，提升由作物净初级生产力转化为粮食产量的转化率（收获指数），以争取在 2030 年实现更高水平的粮食安全与水资源安全。

中国水资源综合管理评估

对应目标：6.5 到 2030 年，在各级进行水资源综合管理，包括酌情开展跨境合作。

成果亮点

- 基于联合国推荐的调查问卷法，综合利用大数据和空间分析技术，改进水资源综合管理评估方法，根据中国国家水资源监控能力建设统计分析数据和水资源公报数据，实现了 2015~2017 年和 2018~2020 年的中国水资源综合管理水平的评估分析。
- 中国着力提升水资源综合管理水平并取得积极进展，在 2020 年联合国水资源综合管理实施程度评价中综合评分由 2017 年 75 分提高至 79 分，达到全球中上水平。

案例背景

自 20 世纪 90 年代，水资源综合管理（Integrated Water Resources Management, IWRM）作为实现水资源可持续开发利用保护有效且重要的方法被世界广泛接受，并被纳入联合国可持续发展目标（全球水伙伴技术顾问委员会，2016）。SDG 6.5.1（水资源综合管理的程度）指标反映的是管理政策、法律法规、举措工具及效益等，其数据来源为各个成员国水资源管理部门组织的问卷调查统计和上报结果。在 2020 年的评估中全球 193 个成员国有 185 个国家上报了水资源综合管理执行情况评估数据（UNEP, 2020a）。

中国近年来借鉴国际先进理念和经验，深入开展水资源综合管理，逐步形成了较为健全的水资源管理制度

体系和具有中国特色的水资源行政管理机制，通过加快水利科技发展和加大财政投入力度，提升了国家水资源监控能力，取得了良好的成效。水安全保障水平得到提高，水资源利用效率明显提升，并在全社会营造了节水惜水的良好氛围。

本研究按照联合国环境规划署（United Nations Environment Programme, UNEP）《SDG 6 的综合监测指南——指标 6.5.1 分步骤监测法》推荐的调查问卷法（UNEP, 2020b），综合利用大数据和空间分析技术，改进水资源综合管理评估方法，对中国 2015~2017 年和 2018~2020 年的水资源综合管理水平进行了评估分析，得到了关于中国水资源综合管理能力水平的认识。

所用数据

- ◎ 2015~2017 年度和 2018~2020 年度中国水资源综合管理评估调查问卷；
- ◎ 2015~2020 年中国省区市省界断面监测水量数据、水质数据、取用水数据、饮用水数据、水功能区数据等（来自《中国统计年鉴》）、国家水资源监控能力建

设和用水统计直报系统数据；

- ◎ 2015~2020 年中国各省区市供水数据、用水数据、降水数据、入海数据、水质数据（2015~2018）、水库湖泊蓄水数据等（来自《中国水资源公报》）。

方法介绍

采用联合国环境规划署推荐的问卷调查方法（UNEP, 2020a），综合利用大数据及空间分析技术，实现了对中国水资源综合管理程度的半定量评估，具体步骤如下：

（1）参照水资源综合管理评估指标体系，围绕扶持环境、机构和参与、管理工具、财政等四大类八小类33项子指标内容编制调查问卷，根据行业、区域、专业、层次、年龄性别等标准选择代表性受调查对象，汇总调查结果开展对比分析，组织被调查对象召开现场讨论会，分析调查结果形成原因，并进一步统一评分标准尺度、修正调整评分误差。

（2）综合运用中国水资源公报数据、用水统计直

报系统和国家水资源监控能力建设统计分析数据，通过时间变化趋势和空间分布差异对比分析，对定性给出的水资源管理工具子类的专家打分结果进行国家、省级行政区或流域尺度分解，实现多空间尺度的半定量水资源管理工具的打分。

（3）综合问卷调查和管理工具空间分析复核的结果，参照 UNEP 分级标准，将水资源综合管理程度分成非常高、高、中高、中低、低、非常低6个等级（UNEP, 2020b），并对分级结果与参考基准期（2015~2017）评估结果进行对比，得出中国水资源综合管理执行程度进展。

结果与分析

（1）2015~2020年中国水资源综合管理能力提升情况

2015~2020年间，中国水资源综合管理能力提升显著。上报省界断面水文测站数量由2015年的22个增加

至540个；监测取用水户数量从2015年的6,569个增加至2020年的18,383个，增长率为179.8%，2020年取用水在线监测全国用水量3,483亿立方米，占全国实际用水总量59%左右。

表 3-2 2020 年与 2017 年中国水资源综合管理评估分项评分对比表

| SDG 6.5.1 一、二级指标内容 | 2015~2017 年 | 2018~2020 年 |
|---------------------------------|-------------|-------------|
| 1 扶持环境 | 75.0 | 82.0 |
| 1.1 国家层面支持水资源综合管理的政策、法律和规划的状况 | 80.0 | 83.7 |
| 1.2 其他层级支持 IWRM 的政策、法律和计划的状况如何 | 70.0 | 81.3 |
| 2 机构和参与 | 75.0 | 76.0 |
| 2.1 在国家层级执行 IWRM 的机构状况 | 76.0 | 74.0 |
| 2.2 在其他级别执行 IWRM 的机构状况 | 73.3 | 77.3 |
| 3 管理工具 | 76.0 | 79.0 |
| 3.1 在国家层级支持 IWRM 实施的管理工具的状况 | 78.0 | 81.2 |
| 3.2 在其他各级支持和 / 或地下水执行的管理工具的状况如何 | 72.5 | 75.8 |
| 4 财政 | 72.0 | 80.0 |
| 4.1 国家层级水资源开发和管理的融资状况如何 | 80.0 | 82.0 |
| 4.2 其他层级的水资源开发和管理的融资状况如何 | 66.7 | 79.5 |
| SDG 6.5.1 综合得分 | 75.0 | 79.0 |

（2）2018~2020 年中国水资源综合管理程度

2015 年至今，中国积极推进水资源综合管理，通过不断优化水资源管理制度体系和行政管理机制并加大技术和资金投入，使“扶持环境”和“机构和参与”两项评分由 2017 年的 75 分和 75 分提高到 82 分和 76 分，在“管理工具”和“财政”两方面评分上由 2017 年的 76 分和 72 分提高到 79 分和 80 分，在联合国涉水发展目标评估中综合评分由 2017 年 75 分提高至 2020

年的 79 分（表 3-2）。

评估结果表明，近年来中国不断完善覆盖全域的水资源管理系统，推进水资源管理数字化和智能化，实现对水量、水位、流量等多要素的在线监测，为用水总量、生态流量等红线指标进行预报、预警，提前规避风险、制定预案，为推进水资源集约安全利用提供智慧化决策支持奠定了坚实基础，切实提升了水资源综合管理水平。

讨论与展望

本研究通过引入大数据和空间分析技术，完善了水资源综合管理评估方法中“管理工具”亚指标的评价方法，弥补了调查问卷法中受访者易受主观认识和感受的影响造成衡量标准存在差异的不足，使评估结论更为客观、准确统一。

从评估结果看，中国的水资源综合管理能力目前已达到全球中上水平，但与部分发达国家仍有一定差距，

特别是还需要多措施并举，吸引更广泛的群体深入参与到水资源综合管理当中。中国可在谋划实施水利工作“十四五”发展规划和 2035 远景目标过程中，将提升水资源综合管理水平纳入其中，借鉴国际社会的评估体系和成功经验，完善和提升新的发展标准，促进中国实现水利治理体系和治理能力现代化。

2000~2020年中国自然和人工水体变化

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

- 以自主研发的中国 2000~2020 年 30 m 分辨率月尺度地表水分布数据集为基础，参考人工标注的全国 45,591 个人工水体样本，通过地表水二次分类构建了中国 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2020 年 5 期自然和人工水体分布数据集。
- 2000~2020 年间中国自然和人工水体总面积呈增加趋势；全国 34 个省级行政单元中，自然和人工水体面积增加的地区占比分别为 44% 和 65%，自然和人工水体面积减少的地区占比分别为 56% 和 35%。

案例背景

近年来快速发展的地球大数据分析提取技术极大地推动了 SDG 6.6.1 指标的计量和评估能力。欧盟委员会联合研究中心（European Commission's Joint Research Centre, JRC）发展的全球地表水数据集（GSW）（Pekel *et al.*, 2016）成为了联合国统计司（United Nations Statistics Division, UNSD）国别尺度水体面积变化（包括河流、湖泊、水库、坑塘等）评估的重要参考数据集（UN-Water, 2018）。然而在这套数据集产品中，因使用的人工水体样本数据较少，三角洲及湖泊等自然水体与水库和坑塘等人工水体未能有效区分，无法全面反映自

然和人工水体面积占比的变化（UN-Water, 2020b），从而限制了国别尺度关于地表水资源管理程度与能力，以及人工水体分布及面积变化对地表水生态系统健康状况影响的客观评价与认识。

本研究参考 SDG 6.6.1 关于自然和人工水体定义及变化评估方法，基于自主研究发展的中国 30 m 空间分辨率地表水面数据集，开展了中国 2000~2020 年自然和人工水体分类及数据集构建研究工作，并以 2000~2005 年为基准，评估了 2015~2020 年间中国自然和人工水体空间分布和面积变化情况。

所用数据

- ◎ 基于 Landsat TM/ETM+/OLI 影像自主发展构建的中国 2000~2020 年 30 m 分辨率月尺度地表水数据集；
- ◎ 参考 2019 年和 2020 年 GF-1/6、Sentinel-2 和 Landsat TM/ETM+/OLI 等多源多空间分辨率卫星影像目视解译标注的全国 45,591 个人工水体样本数据；
- ◎ 中国水利水电科学研究院提供的 4,662 个大中型水库大坝位置数据。

方法介绍

首先以自主发展的中国 2000~2020 年 30 m 空间分辨率逐月地表水数据集为基础，通过月最大值合成，得到

全国 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年、2020 年 5 期地表水分布数据集，其计算公式如下：

$$ASW = \text{MAX} \{msw_1, msw_2, \dots, msw_i\} (i = 1, 2, \dots, 12)$$

式中，ASW 为年度地表水面数据， msw_i 为第 i 个月的月度水面数据。

其次，以目视解译提取的 45,591 个人工水体样本数据为输入，分别与各年度地表水分布数据做空间叠合分析，利用人工水体样本点选择出人工水体分布图斑，实现人工和自然水体的初分类。在此基础上，采用人工交互手段，对与自然河道水体相连的河道型人工水体（梯级电站和水库）做分割处理，得到最终的人工和自然水体数据集。

参考 SDG 6.6.1 指标计算方法，以 2000 年和 2005

年两期自然和人工水体数据的均值作为基准期数据，并以此为参考，评估 2015~2020 年间自然和人工水体变化，具体计算公式如下：

$$P = (\gamma - \beta) / \beta$$

式中， P 为不同区域内自然或人工水体面积变化百分比， β 为 2000 年和 2005 年不同区域内自然或人工水体面积均值， γ 为 2015 年和 2020 年自然或人工水体面积均值。

结果与分析

1. 自然和人工水体数据精度验证

在全国范围选取 6 个 $5^\circ \times 5^\circ$ 验证区（分别位于中国的东北、北部、西部、西北、南部、东部），对 2019 年 12 个月地表水面遥感提取结果进行了精度验证，共计采集样本点 144,000 个（每个验证区每月随机采集 2,000 个验证样本点，水体样本和非水体样本各 1,000 个）。6 个验证区在 12 个月份中的水体提取平均生产者精度（Producer's Accuracy, PA）和用户精度（User's Accuracy, UA）分别为 0.950 和 0.998，平均整体精度（Overall Accuracy, OA）和 Kappa 系数分别为 0.975 和 0.949，说明研究中使用的地表水体分布数据集精度非常高，可满足自然和人工水体分类要求。

以全国 4,662 个水库大坝位置数据为基础，生成相应水库大坝缓冲区（以大坝位置点为中心向外扩展 200 m），对该缓冲区数据与 2020 年全国人工水体数据集取交集，得到与水库大坝缓冲区相匹配的人工水体图斑为 4,200 个，占全部水库大坝样本点的 90.1%，表明本研究中提取的人工水体分布数据可准确地反应全国范围内人工水体的真实分布情况。

2. 全国自然和人工水体变化

2000~2020 年，全国自然水体面积起伏变化较大，整体呈增加趋势；人工水体面积持续增加，仅 2015 年受东北大旱影响相比 2010 年略有减小（图 3-6）。从空间

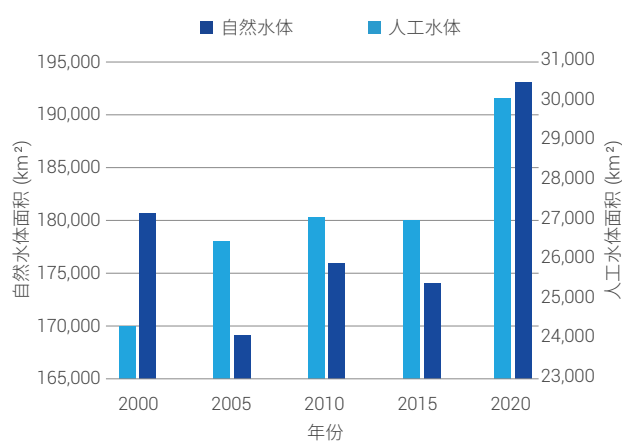


图 3-6. 2000~2020 年全国自然水体与人工水体面积变化

分布来看，自然水体主要分布在青藏高原、东部平原和东北平原三大湖区，人工水体则主要分布在长江中下游和沿海省份（图 3-7）。

从各省级行政单元来看，相比 2000~2005 年基准期数据，全国 34 个省级行政区中，贵州、安徽、四川等 15 个地区自然水体面积增加，澳门、北京、天津等 19 个地区自然水体面积减少，分别占总行政区数量的 44% 和 56%；云南、贵州、湖北等 22 个地区人工水体面积增加，河北、上海、安徽等 12 个行政区人工水体面积减少，两者分别占总行政区数量的 65% 和 35%（图 3-7）。



图 3-7. 2020 年中国自然和人工水体空间分布以及 2015~2020 年各省级行政区自然与人工水体相对于 2000~2005 年的变化趋势

讨论与展望

本研究基于 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年和 2020 年 5 期自然和人工水体数据集，统计分析了近 20 年中国自然和人工水体的时空变化。总体而言，自然和人工水体面积均呈增加趋势，且人工水体面积增加趋势更为显著。

本研究成果为中国保护和恢复与水有关的生态系统目标（SDG 6.6）监测与评估提供了科学数据集和分析结论，对支撑中国水资源综合管理决策具有重要参考价值。未来将采用类似的技术方法，开展中国周边区域国家及全球尺度自然和人工水体分布数据集构建及变化评估。

2010~2020年中国沼泽湿地时空动态

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

- 基于面向对象和多层决策树的沼泽湿地遥感分类技术，构建了 2010 年、2015 年和 2020 年中国沼泽湿地空间分布数据集。
- 定量评估了中国湿地保护与恢复政策成效，分析表明：2010~2020 年期间，中国沼泽湿地面积净减少 4.8%，与 2010~2015 年期间相比，2015~2020 年期间沼泽湿地损失的速率明显减小。

案例背景

沼泽湿地是最主要的湿地类型，对应于 SDG 6.6.1 指标中有植被覆盖的湿地，其分布约占全球天然湿地总面积的 83.5%，在维持生物多样性、减缓全球变暖、涵养水源等方面具有重要的作用。自 20 世纪 50 年代以来，受到气候变化和人类活动的双重胁迫，中国沼泽湿地面积大幅减少，空间分布范围明显萎缩。分析沼泽湿地范围随时间的变化是国家 SDG 6.6 实施进展评估的重要基础，可为中国《国际湿地公约》具体履约行动提供关键数据支撑。

本研究基于卫星遥感、野外调查和行业统计地球大数据，研发集成面向对象方法与多层决策树的国家尺度沼泽湿地遥感分类技术，构建中国沼泽湿地空间分布数据集；揭示了 2010 年、2015 年和 2020 年中国沼泽湿地空间分布格局，解析其在 2010~2020 年期间空间分布和面积的变化。本研究的成果可为 SDG 6.6 提供可靠的研究方法，数据产品可直接支持 SDG 6.6 的评估，并作为 SDG 13、SDG 14、SDG 15 评估的重要参考，为中国制定湿地生态系统保护和修复策略提供科学和数据基础。

所用数据

- ◎ 2010 年、2015 年和 2020 年美国陆地卫星（Landsat TM/ETM+/OLI）影像和部分中国资源卫星（ZY-3）影像；
- ◎ 中国数字高程模型、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；
- ◎ 野外调查样点数据、行业部门统计和监测数据。

方法介绍

因其处于水陆过渡区域及其区别于其他陆地生态系统的植被和土壤，沼泽湿地在遥感图像上表现为特殊的光谱和纹理特征。本研究采用集成面向对象方法与多层决策树的湿地遥感分类技术，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沼泽湿地类型，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，利用多层次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)。本研究针对不同气候区、不同沼泽湿地类型选择不同季节的影像作为分类数据源。具体为：①内陆沼泽湿地分类时，选取当地丰水期（一般为7~9月）无云影像；②滨海沼泽湿地分类时，选取非雨季、低潮时

期（东南沿海一般为11月~次年2月、北部沿海选择7~9月）无云影像。

最终获得2010年、2015年和2020年中国沼泽湿地空间分布数据集，经5,000余个野外调查样点验证，总体分类精度在92%以上。

结果与分析

1. 中国沼泽湿地面积及空间分布格局

2010~2020年中国沼泽湿地面积及空间分布如图3-8所示。2010年、2015年和2020年中国沼泽湿地面积分别为 $1.71 \times 10^5 \text{ km}^2$ 、 $1.64 \times 10^5 \text{ km}^2$ 和 1.63×10^5

km^2 ，主要分布在黑龙江、内蒙古东部、青海、西藏、新疆，这五个省区的沼泽湿地面积之和占全国沼泽湿地总面积的80%以上。

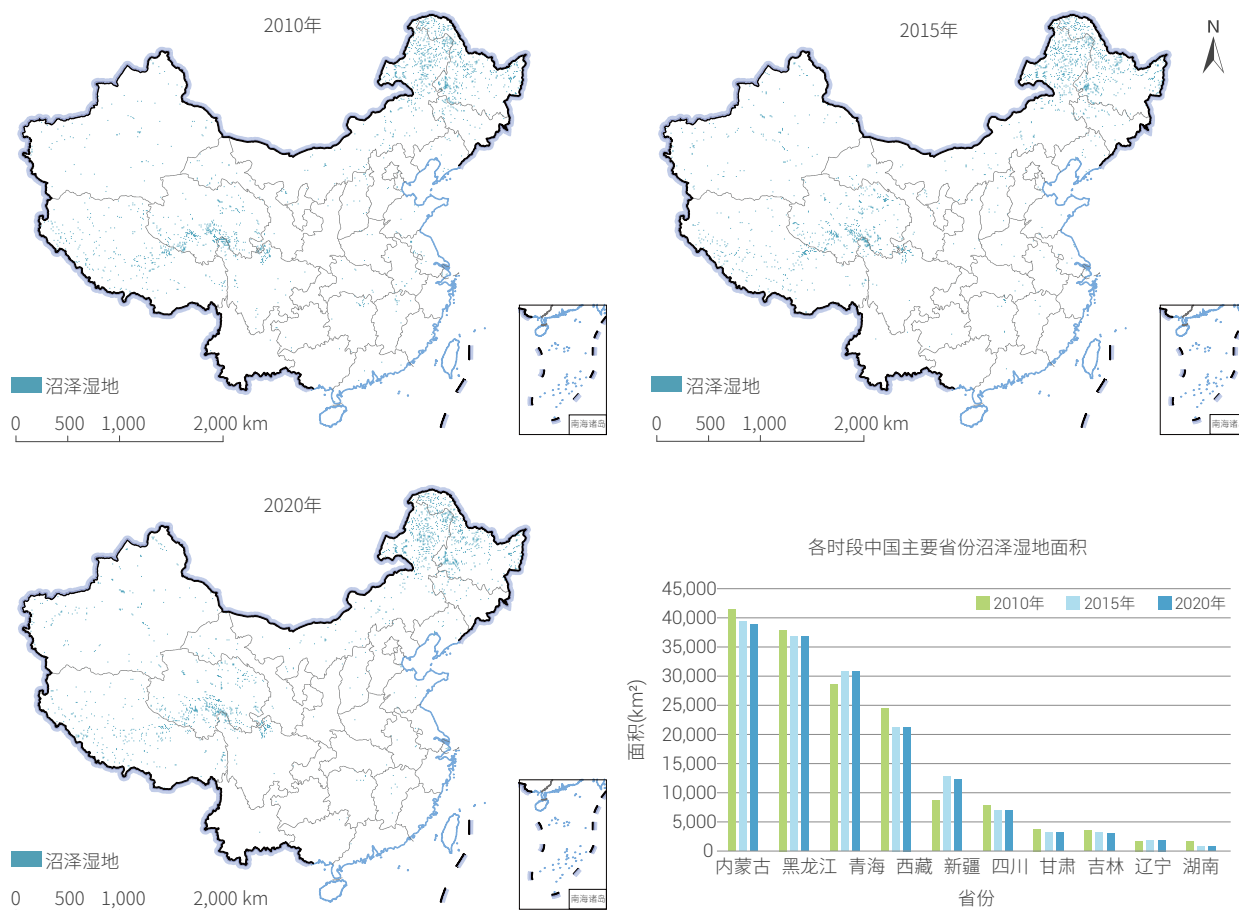


图 3-8. 2010 年、2015 年和 2020 年中国沼泽湿地空间分布及主要省份的变化

2. 2010~2020 年中国沼泽湿地面积时空特征

2010~2020 年中国沼泽湿地面积及其空间分布变化如图 3-9 所示。2010~2020 年中国沼泽湿地面积呈减少趋势，其中，2010~2015 年中国沼泽湿地面积净减少了 0.70 万 km²，减少率为 4.1%；2015~2020 年中国沼泽湿地面积净减少了 0.13 万 km²，减少率为 0.8%。与 2010~2015 年期间相比，2015~2020 年期间中国沼泽湿地损失明显减缓。

2010~2015 年期间我国沼泽湿地变化空间异质性明显。从各省区面积变化结果来看（图 3-8），西藏等省区沼泽湿地面积呈净减少趋势，西藏沼泽湿地减少面积最多，净减少约 0.3 万 km²。新疆等省区沼泽湿地面积

呈净增加趋势，新疆沼泽湿地净增加约 0.4 万 km²。

2015~2020 年期间，内蒙古等省区沼泽湿地面积呈净减少趋势，其中减少最多的是内蒙古，净减少约 0.05 万 km²。浙江等省区沼泽湿地面积呈净增加趋势，浙江省沼泽湿地面积净增加最多，净增加超过 50 km²。

从 1992 年加入《湿地公约》，到 2021 年《湿地保护法（草案）》首次提交全国人大常委会审议，中国积极探索湿地保护与恢复策略，截至 2020 年 9 月共有国际重要湿地 64 处，湿地保护率达 50% 以上，通过退耕、退塘还湿及自然恢复等措施相结合，有效增加湿地面积。本研究显示，与 2010~2015 年期间相比，2015~2020 年期间中国沼泽湿地净减少的趋势明显得到遏制。

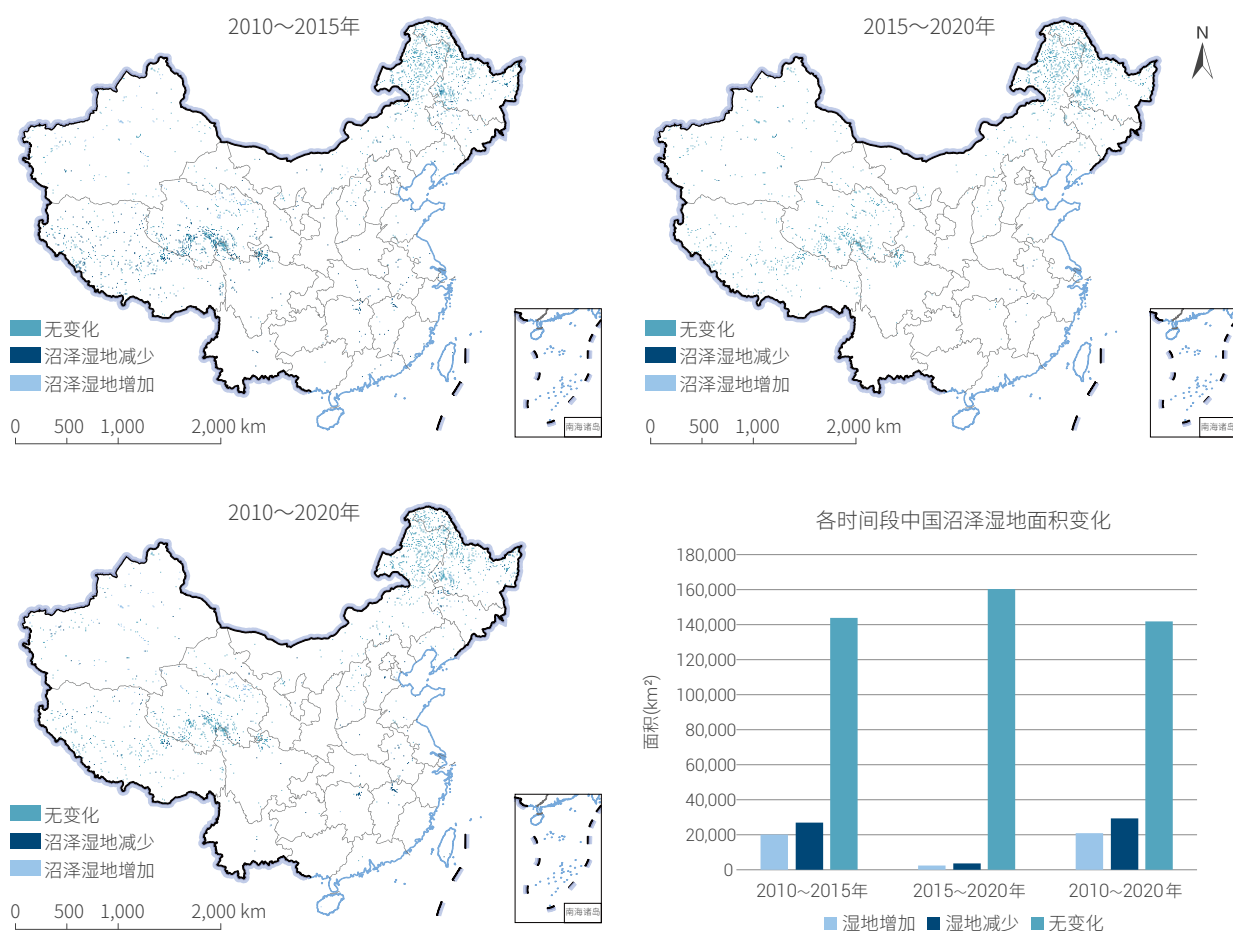


图 3-9. 2010~2015~2020 年中国沼泽湿地面积及空间分布的变化

讨论与展望

在技术方法和数据方面，本研究研发了基于地球大数据的、集成面向对象方法与多层决策树的国家尺度沼泽湿地分类技术，实现了2010年、2015年和2020年中国沼泽湿地空间分布的高精度提取。本研究的数据可为国家尺度SDG 6.6的评估提供科学数据，并可作为SDG 13.1、14.2、14.5、15.2、15.5和15.9等评估的数据基础。

在决策支持方面，本研究发现，2010~2020年期间，中国沼泽湿地总面积仍呈净减少趋势；然而，2015年以来，中国沼泽湿地面积损失的速率大幅减缓，这表明我国湿地保护与恢复工作成效较为明显。本研究结果不仅可以支持SDG 6的科学评估，还可作为中国湿地生态系统保育与科学管理的决策依据。



本章小结

本章收录了基于地球大数据技术开展的中国和全球两个尺度上SDG 6.3、6.4、6.5和6.6目标监测评估的研究案例成果，包括发展公布了中国湖泊水体透明度数据集、中国自然和人工水体分布数据集和中国沼泽湿地空间分布数据，给出了中国水资源综合管理执行情况、中国及全球水生态和水环境状况、全球农作物水分利用效率变化情况，主要结论如下：

- (1) 2010~2020年，中国面积大于1 km²湖泊和全球面积大于25 km²的湖泊水体总体变得更清澈透明；
- (2) 得益于技术进步和经济社会发展，2001~2019年全球农业区的作物水分利用效率呈增加趋势；
- (3) 中国着力提升水资源综合管理水平并取得积极成效，截至2020年，中国水资源综合管理能力已达到全球中上水平；

(4) 2000~2020年间中国自然和人工水体分布面积增加，2010~2020年中国沼泽湿地损失明显减缓，中国湿地保护与恢复政策成效明显。

本章中5个案例例证了基于地球大数据技术开展全国及全球尺度SDG 6.3.2（环境水质良好的水体比例）、SDG 6.4.1（按时间列出的用水效率变化）、SDG 6.5.1（水资源综合管理的程度）和SDG 6.6.1（与水有关的生态系统范围随时间的变化）等指标监测与评估的潜力，未来将综合利用卫星遥感、模型模拟、统计数据和问卷调查等数据和手段，开展全球、中国和省级尺度上SDG 6更多指标监测与评估，继续为中国及全球清洁饮水与卫生设施目标实践提供技术和信息支持。





SDG 11 可持续城市 和社区

| | |
|------------|----|
| 背景介绍 | 52 |
| 主要贡献 | 53 |
| 案例分析 | 54 |
| 本章小结 | 72 |





背景介绍

过去几十年，全球一直处在快速的城市化进程中。虽然城市区域占全球陆地覆盖面积比例小于1%，但其贡献了全球75%的国内生产总值（Gross Domestic Product, GDP），消耗了60~80%的能源以及产生75%的全球垃圾和碳排放（Elmqvist *et al.*, 2019; Jiang *et al.*, 2021）。快速的城市化导致全世界40亿的城市人口面临着日益严重的空气污染、基础设施匮乏和服务以及无序的城市扩张等问题（UN, 2020a）。尤其是2020年初突发的新型冠状病毒肺炎，暴露出许多城市由于缺乏充足和负担得起的住房、公共卫生系统以及城市基础设施不足等而导致的脆弱性（UN, 2021c）。超过90%的新冠肺炎病例出现在城市地区，新冠肺炎疫情更加剧了世界上人口稠密的非正规住区和贫民窟的10亿居民的困境（UN, 2020a）。

为了实现城市的可持续发展，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”（UN, 2015a），该目标对于实现所有可持续发展目标至关重要（Acuto *et al.*, 2018）。截止到2021年3月29日，15个SDG 11指标中10个指标在监测与评估中面临数据缺失问题（IAEG-SDGs, 2021）。为了应

对城市化带来的挑战以及SDG 11指标监测与评估存在的问题，150个国家提出了国家城市计划，其中近一半处于实施阶段。确保这些计划得到良好执行，则有助于城市以更加可持续和包容的方式发展。中国成功遏制新冠肺炎快速传播表明，中国城市社区在调整适应新规范方面具有非凡的弹性和适应性（程瑞等，2021）。只有推进数据驱动的包容和可持续的城市发展才能确保城市从疫情中恢复，才能更好地应对未来城市灾害和城市公共卫生事件的发生。

过去2年的地球大数据支撑SDG 11指标监测与评估案例研究实践，展现了中国在SDG 11目标落实中的数据产品、方法模型、决策支持三个方面的成果与贡献（Guo *et al.*, 2021）。本章节在延续2019年、2020年模型方法、区域和中国评估示范的基础上，利用地球大数据方法监测与评估公共交通（SDG 11.2.1）、城市灾害（SDG 11.5.1/11.5.2）、开放公共空间（SDG 11.7.1），并开展中国市级尺度的SDG 11多指标综合评估。本章节中各案例研究成果是对联合国可持续发展目标数据库系统中关于中国数据集的有益补充，对于客观评估中国SDG 11落实具有重要的示范意义。





主要贡献

为应对部分城市面临的住房短缺、交通拥堵、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，为中国及全球提供 SDG 11 监测及评估经验。报告主要围绕八个指标开

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 |
|---|--------------------|--------------------------------|---|
| 11.2.1 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 | <p>数据产品：按年龄、性别分列的 2015 年、2018 年、2020 年 1 km 分辨率中国可便利使用公共交通人口分布数据集</p> <p>方法模型：按年龄、性别分列的中国公里格网人口数据提取方法</p> |
| 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 I/ Tier II | 2010~2020 年中国地市级自然灾害总体损失年际变化 | <p>数据产品：2010~2020 年逐年地市级每十万人受灾人口、每十万人死亡失踪率、直接经济损失占地区生产总值监测指标数据集</p> |
| 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 | | | <p>方法模型：SDG 11.5 标准化数据集，扩展了 SDG 11.5 指标的时空监测粒度</p> |
| 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 | 中国城市绿地空间变化 | <p>数据产品：2000 年、2010 年和 2020 年 3 期中国城市建成用地矢量边界、30 m 空间分辨率城市绿地空间组分数据产品</p> <p>方法模型：城市绿地空间组分提取方法</p> |
| 11.1.1、11.2.1、11.3.1、11.7.1 | Tier I/ Tier II | 中国主要城市景观的社区尺度变化与可持续发展指标 | <p>数据产品：2015 年、2020 年中国主要城市社区尺度景观数据和景观样本数据</p> <p>方法模型：城市景观的场景建模与提取方法；城市景观样本启发式学习方法</p> |
| SDG 11 综合评估 | Tier I/ Tier II | 2015~2020 年中国城市 SDG 11 多指标综合评价 | <p>数据产品：中国 SDG 11.2.1, 11.3.1, 11.5.1, 11.5.2, 11.6.1, 11.6.2, 11.7.1 多指标综合评价数据集</p> <p>决策支持：为中国地级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</p> |



案例分析

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

- 生产 2015 年、2018 年、2020 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。
- 2020 年中国可便利使用公共交通人口整体比例为 90.15%。整体指标与 2018 年相比上升 9.59%，全国约 96.90% 的城市出现不同程度增长，约 3% 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，是推动城市各产业的发展、文化繁荣、城乡联系的重要桥梁和纽带。公平获得公共交通对促进城市可持续发展有着重要意义，不成熟、不均衡的城市公共交通系统将直接影响居民的日常出行，如降低其前往其他公共设施的可达性、或迫使其转向非公共交通工具，从而使得城市难以以公正、可持续和经济稳健的方式发展。为此，联合国 2017 年签署的《新城市议程》倡议各国各城市建设可持续、高效率的交通基础设施和服务，特别关注所有人（尤其是非正规住区居民）的交通需求。

作为响应，中国近年来确立了公共交通优先发展战

略，城市公共交通系统建设取得显著成效。截至 2020 年底，共有 43 个城市开通运营城市轨道交通线路，运营里程达 7354.7 公里。与此同时，地面公交网络也在逐步完善，特别是向农村等偏远地区延伸。然而，传统的分析手段难以动态评估公共交通网络建设的快速发展，也难以对其是否满足城市居民的普遍需求做出定量分析，因而需要借助地球大数据方法来进行处理。为此，本研究提出通过生产高分辨率格网化人口数据、结合公共交通网络数据，分性别、年龄段对城市居民可便利使用公共交通情况进行定量评估。

所用数据

- ◎ 2015 年、2018 年、2020 年中国公共交通网络（公交、地铁等）矢量数据；
- ◎ 2015 年、2018 年、2020 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 年和 2020 年全国人口普查数据；
- ◎ 2015 年、2018 年、2020 年可见光红外成像辐射计仪白天/夜晚波段（Visible Infrared Imaging Radiometer Suite Day/Night Band, VIIRS-DNB）夜光遥感、腾讯手机定位、数字高程模型（Digital Elevation Model, DEM）等辅助数据。

方法介绍

基于 2015 年、2018 年、2020 年全国人口抽样调查数据，获取各区县常住人口数；基于 2010 年全国人口普查数据提取各区县性别比例及各年龄段人口比例。首先，利用随机森林空间降尺度模型对行政单元常住人口进行重分配，生成 1 km 格网人口分布；然后，以相同格网对各区县性别及年龄段人口比例属性进行栅格化，得到一组包含性别、年龄段人口比例的图层，将其分别与格网化人口分布相乘，得到分性别、分年龄段人口分布。

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）数据，对每一个站点创建 500 m 范围缓冲区，叠加上述人口格网化数据，计算得到缓冲区覆盖的分性别、分年龄段人口，并以此作为可便利使用该公共交通站点的人口数。

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，分别叠加上述分性别、分年龄段的整体人口分布及可便利使用公共交通的人口分布图层，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利使用公共交通的人口比例。

结果与分析

2020 年中国可便利使用公共交通的人口分布如图 4-1 所示。2020 年，全国城市建成区可便利使用公共交通的人口比例平均 90.15%，较 2015 年（64.28%）上升 25.87%，较 2018 年（80.56%）上升 9.59%，其中较 2018 年的增幅由 96.90% 的城市贡献，另有 11 个城市（约 3%）整体比例出现不超过 2% 的下降（图 4-1）。其中，长三角、珠三角等沿海经济发达地区及川渝城市群 SDG 11.2.1 指标大多为 95% 以上，其余中东部城市指标大多在 75% 以上，而云南、四川西部、新疆、内蒙古、黑龙江、吉林等西南、西北、东北地区指标相对较低，青藏高原地区指标最小。

分性别来看，SDG 11.2.1 指标性别间差异在各年龄段均不明显，大多在 1% 以内（图 4-2）。在 0~14 岁和

15~64 岁群体中，东部、北部地区多数城市女性比例略高于男性（ $<0.5\%$ ）；在 65 岁以上的群体中，全国大部分地区女性比例略低于男性（ $<0.5\%$ ），而西北及东北地区部分城市则恰好相反，女性比例比男性比例高 1% 以上。

分年龄段来看，2020 年，全国仅有 35.5% 的城市 0~14 岁 SDG 11.2.1 指标低于 15~64 岁指标，大多集中分布在西部省区如青海、西藏、新疆等（ $-5\% \sim 0\%$ ），在云南东南、广西西南交界处及东北等个别城市，0~14 岁指标显著低于 15~64 岁（ $<-5\%$ ）。65 岁以上指标的分布与 0~14 岁指标相似，全国有 82.6% 的城市 65 岁以上指标高于 15~64 岁指标（图 4-3）。与 2018 年 15~64 岁指标在多数省份偏高的现象相比，这一结果表明 2020 年儿童和老年人可便利使用公共交通情况有了普遍改善。

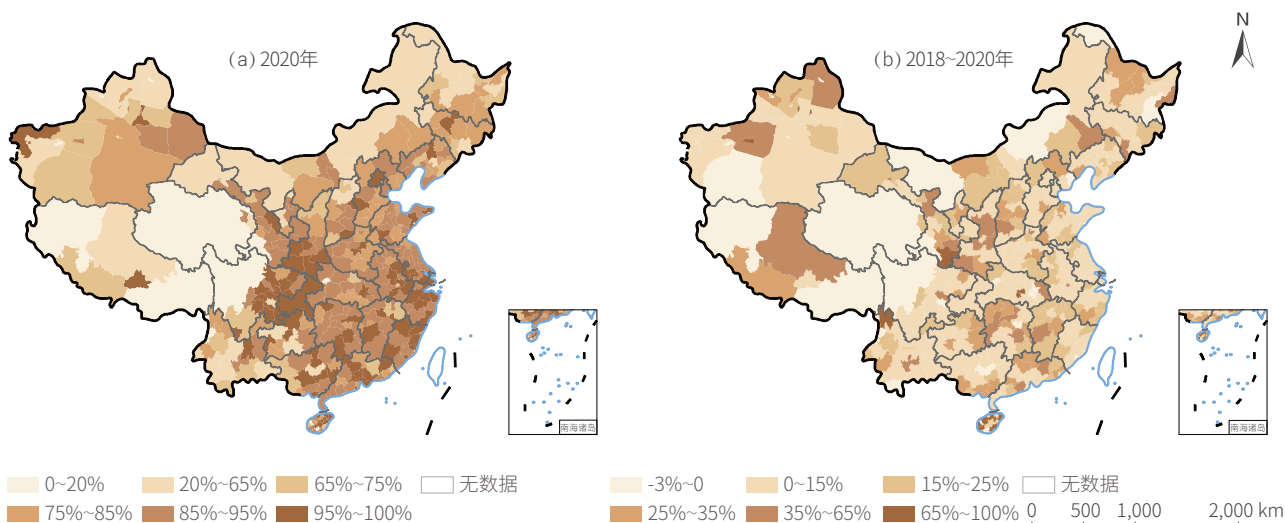


图 4-1. 中国可便利使用公共交通的人口比例及变化
(a) 2020 年人口比例；(b) 2018~2020 年人口比例变化

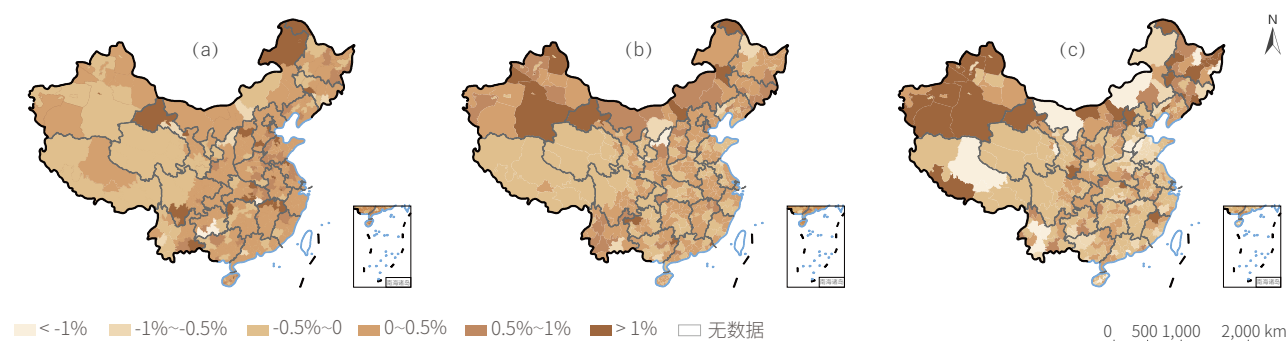


图 4-2. 2020 年可便利使用公共交通人口比例男性与女性差异
(a) 0~14 岁; (b) 15~64 岁; (c) 65 岁以上

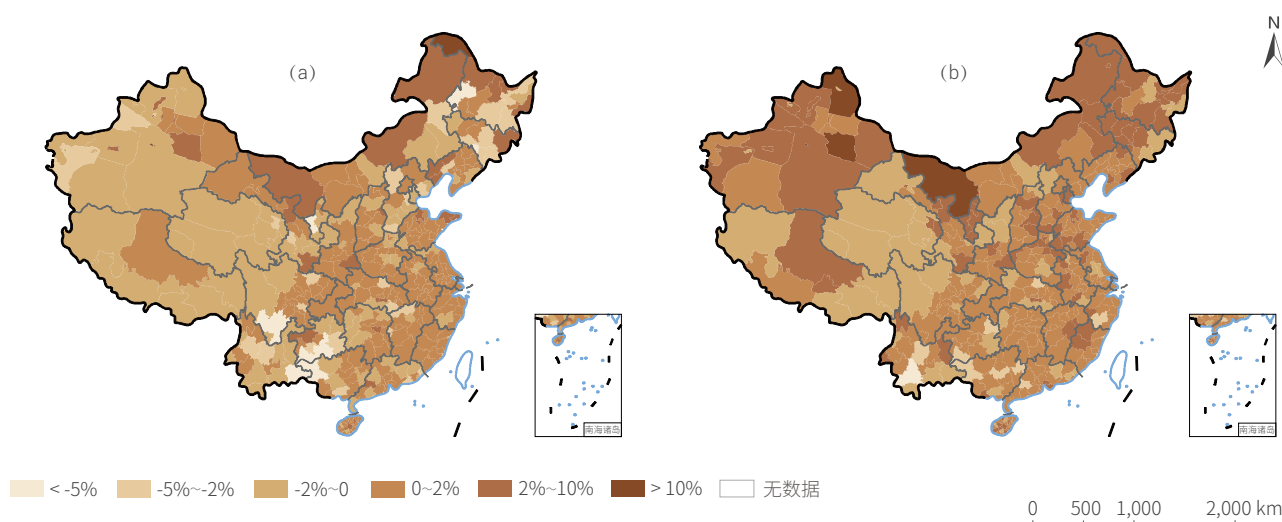


图 4-3. 2020 年可便利使用公共交通人口比例年龄段间差异
(a) 0~14 岁与 15~64 岁差异; (b) 65 岁以上与 15~64 岁差异

讨论与展望

本研究综合运用公共交通矢量导航数据、高分辨率人口格网化数据、土地利用数据等多源地球大数据构建指标, 实现了 2015 年、2018 年、2020 年中国可便利使用公共交通的人口分布在格网尺度上的估算以及分性别、分年龄段评估, 并在地市级行政单元尺度上完成了 SDG 11.2.1 指标多维数据对比。

与 2015 年、2018 年的 SDG 11.2.1 指标计算相比,

案例更新了公共交通站点的矢量数据及人口分布数据。当前, 案例实现了 2015 年、2018 年、2020 年三期的动态评估, 可以为城镇化进程和公共基础设施建设提供参考。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 指标的本国评价与国际对比提供了新方法。

2010~2020年中国地市级自然灾害总体损失年际变化

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

- 中国自然灾害影响总体呈现减轻趋势，综合防灾减灾能力和城市抵御自然灾害的设防能力得到明显提升。2020 年中国每十万人受灾人口、每十万人死亡失踪人口、直接经济损失占 GDP 比重较 2000~2019 年均值分别下降 60.7%、78.2%、60.9%。

案例背景

SDG 11.5 具体目标——包括两项指标：SDG 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；SDG 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。这两项指标是反映自然灾害对人口、经济、社会影响的重要量化描述信息，也是联合国仙台减灾框架七项全球具体目标中仅有的量化考核指标（UN, 2015b; UN, 2020b）。

但目前 SDG 11.5 相关指标动态监测方面，空间和时间粒度有限，对深入开展 SDG 区域综合评估特别是城市评估，粒度和信息支持都不足。此次案例研究立足于中国地市级自然灾害损失和人口经济年度数据，将监测指标的时间粒度延伸至 2010 年以来逐年，空间粒度细化至地市级行政单元，可显著提升监测指标的时空分辨率，为中国地市级防灾减灾规划和政策制定提供细粒度的数据参考。

所用数据

◎ 2010 年以来地市级自然灾害受灾人口、死亡人口、直接经济损失年度统计数据；

◎ 2010 年以来地市级年末总人口、地区生产总值（Gross Regional Product, GRP）年度统计数据。

方法介绍

本案例采用统计和空间数据协同方法对灾害风险变化开展多维度监测，其中，采用统计数据进行监测指标计算，采用空间专题图件进行区域分布分析。案例研究的 SDG 11.5 各项指标按以下公式计算：

$$\text{每十万人受灾人口} = \frac{\text{受灾人口(人)}}{\text{年末总人口(万人)}} \times 10$$

$$\text{每十万人死亡失踪人口} = \frac{\text{死亡失踪人口(人)}}{\text{年末总人口(万人)}} \times 10$$

$$\text{直接经济损失占国内生产总值比重} = \frac{\text{直接经济损失(亿元)}}{\text{国内生产总值(亿元)}} \times 100\%$$

$$\text{直接经济损失占地区生产总值比重} = \frac{\text{直接经济损失(亿元)}}{\text{地区生产总值(亿元)}} \times 100\%$$

结果与分析

1. 中国自然灾害影响动态监测
从全国总体趋势分析，2000 年以来中国 SDG 11.5.1

/ SDG 11.5.2 两项监测指标均呈现明显下降趋势(图 4-4)。2020 年每十万人受灾人口为 9845 人次，位列

2000年以来第三低值（仅高于2018和2019年），较2000~2019年均值（25026人次，2008年未计入）下降60.7%；2020年每十万人死亡失踪人口为0.037，位列2000年以来最低值，较2000~2019年均值（0.17，2008年未计入）下降78.2%；2020年直接经济损失占GDP比重为0.36%，位列2000年以来第四低值（仅高于2017、2018和2019年），较2000~2019年均值（0.92%，2008年未计入）下降60.9%。

2. 中国地市级自然灾害影响监测分析

中国地市级SDG 11.5.1每十万人受灾人口监测指标时空演化结果如图4-5所示。2010年以来，随着中国不断加大自然灾害防治投入，防灾减灾救灾能力得到大幅提升；加之经济社会快速发展，城镇化快速推进，灾害预防能力也不断增强。在两方面原因共同作用下，地市级每十万人受灾人口降幅明显，尤其是燕太山区、秦巴山区、乌蒙山区、六盘山区等灾害高风险区，指标总体呈现明显减轻趋势。另一方面，川滇黔、陕甘、长江中游地区仍是中国季风气候和地震断裂带分布下的灾害较高风险区。

中国地市级SDG 11.5.1每十万人死亡失踪人口监测指标时空演化结果如图4-5所示。“十三五”期间受灾地市中超过六成该指标较“十二五”期间下降，以国家综合防灾减灾规划（2016~2020年）设定目标（0.13）为基准，“十三五”期间高于规划目标的地市数量较“十二五”下降18.8%。随着经济快速发展和全面脱贫，自然灾害防治能力、监测预警能力、抢险救援能力、房屋设施设防水平提升明显，因灾死亡人口呈现较为明显的逐年下降趋势。目前，因灾致死风险较高的区域集中在西南、西北山区，以山洪地质灾害为主。

中国地市级SDG 11.5.2直接经济损失占GRP比重监测指标时空演化结果如图4-5所示。“十三五”期间受灾地市中超过七成该指标较“十二五”期间下降，以国家综合防灾减灾规划（2016~2020年）设定目标（1.3%）为基准，“十三五”期间高于规划目标的地市数量较“十二五”下降41.1%。这主要得益于城市防灾抗灾能力的提升和经济快速发展带来的基础底数大幅增长。但应当关注，极端灾害事件对局地易造成重大损失，也是全球气候变化背景下出现的新风险。

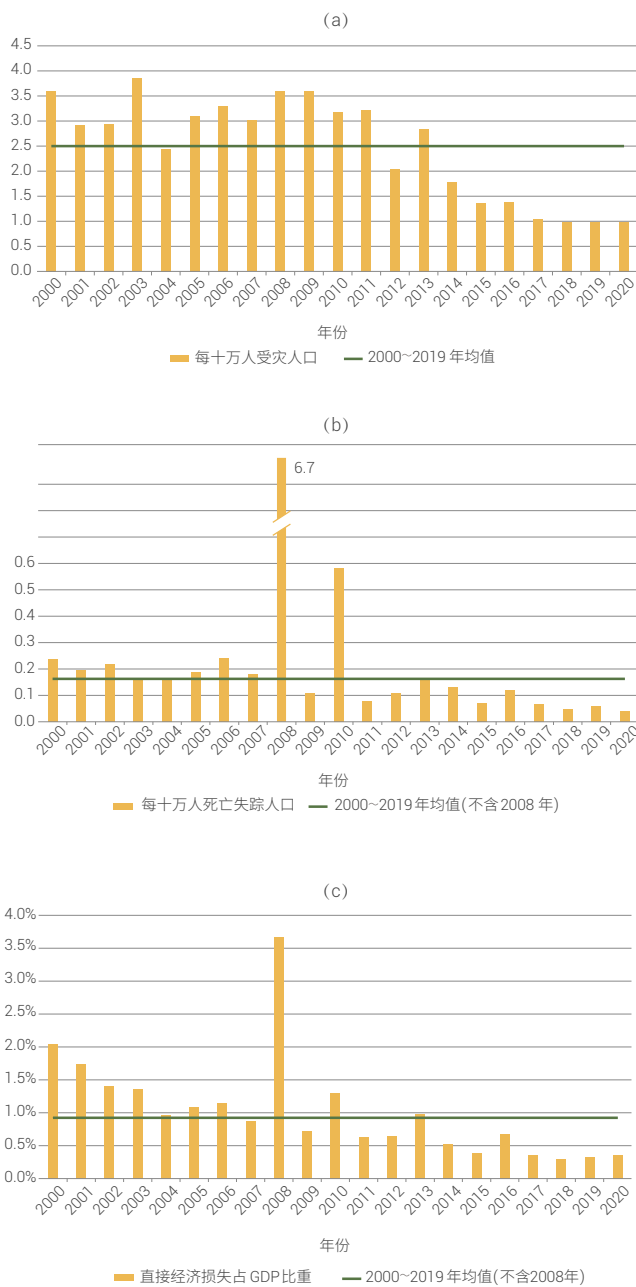
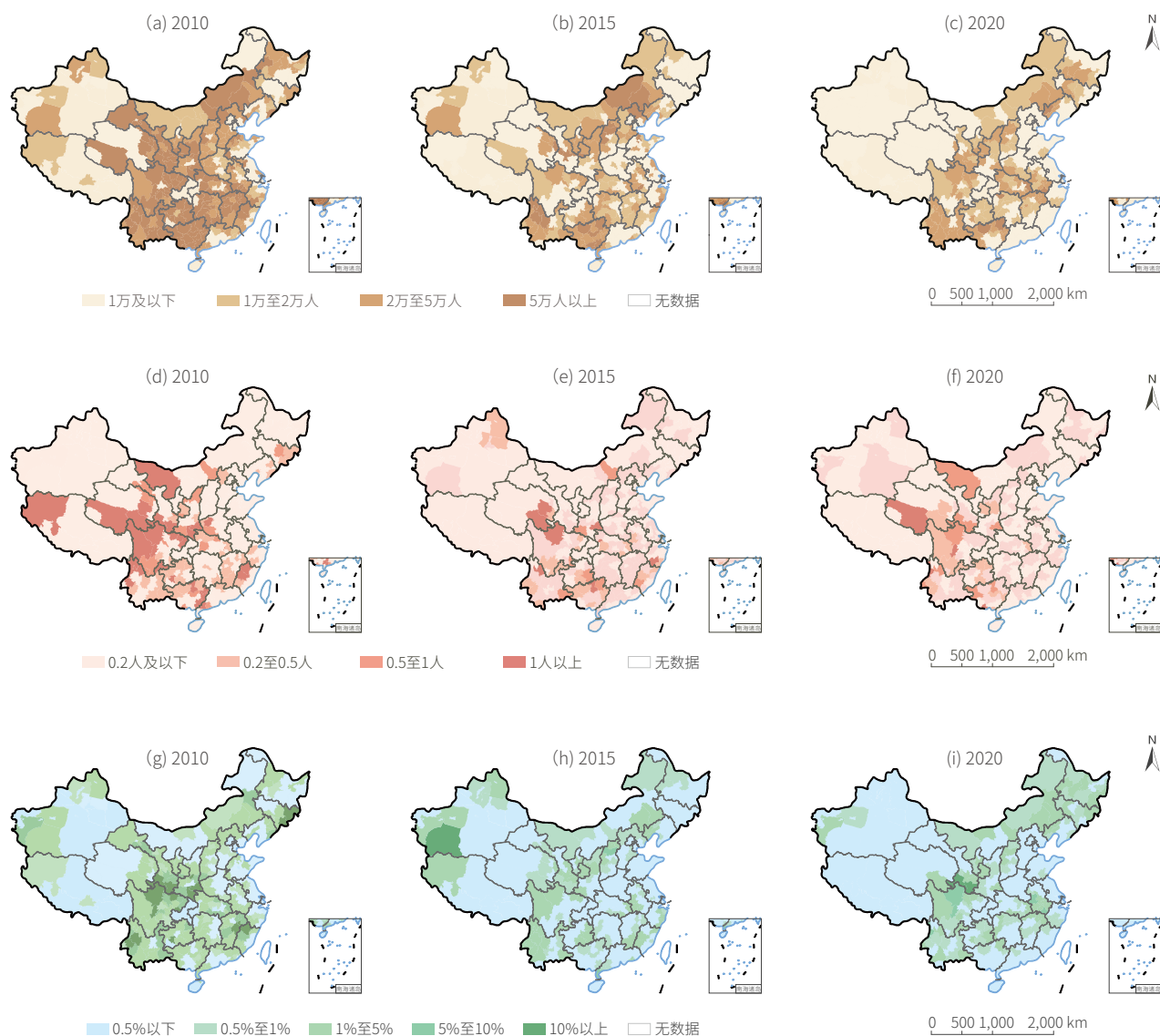


图 4-4. 2000~2020 年中国 SDG 11.5 监测指标总体变化趋势图

(a) 每十万人受灾人口；(b) 每十万人死亡失踪人口；
(c) 直接经济损失占 GDP 比重



↑ 图 4-5. 2010~2020 年（每 5 年期）中国地市级 SDG 11.5 监测指标时空演化
 (a)~(c) 每十万人受灾人口；(d)~(f) 每十万人死亡失踪人口；(g)~(i) 直接经济损失占 GRP 比重

讨论与展望

2010 年以来，中国综合防灾减灾能力和城市抵御自然灾害的设防能力得到显著提升。但西南、西北部分经济和生态脆弱地区仍面临较高的灾害风险，极端灾害事件对人口经济高度密集的城镇地区仍构成较大威胁。随

着中国城镇化进程不断加快，乡村振兴战略全面实施，城乡地区逐渐融合形成区域性整体，自然灾害风险在新城乡区域的耦合性和链生性是新时期应关注的重点。

中国城市绿地空间变化

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

- 自主生产 2000 年、2010 年和 2020 年 3 期中国 30 m 空间分辨率城市建成用地绿地空间组分数据产品。
- 自 2000 年以来，中国 93 个典型城市建成用地的绿地空间呈上升趋势。城市建成用地绿地空间面积由 2000 年的 $0.35 \times 10^4 \text{ km}^2$ 增加到 2020 年的 $1.19 \times 10^4 \text{ km}^2$ ；2010 年以后，城市建成用地的绿地空间显著上升，城市生态绿化成效显著。

案例背景

开展城市开放公共空间的监测与变化分析，有助于推动城市空间品质提升，促进城市的可持续发展。城市绿地空间是城市开放公共空间的重要组成部分。及时、准确地监测城市绿地空间的动态对城市宜居环境建设和可持续发展至关重要。但是 SDG 11.7.1 急需解决传统统计数据口径不一致、获取时间长，且无法表征城市

绿地的地理空间信息等一系列瓶颈问题。因而需要借助地球大数据方法来准确刻画中国城市绿地空间的时空演变，及时把握中国城市绿化生态建设状况，为中国 SDG 11.7.1 的监测及落实提供精准的地理空间信息和科学决策依据。

所用数据

- ◎ 自主生产的 2000 年、2010 年和 2020 年 3 期中国城市建成用地矢量边界数据产品；
- ◎ 自主生产的 2000 年、2010 年和 2020 年 3 期中国 30 m 空间分辨率城市绿地空间组分数据产品；
- ◎ 自主生产的 2020 年中国建成用地公园矢量边界数据；
- ◎ 来自《中国城市建设统计年鉴》的（城区人口）数据（2019 年）。

方法介绍

城市建成用地是指利用卫星遥感技术获取的不透水面比例高于 35% 的集中连片且和中心城区密切联系的建设用地。不透水面是指遥感上可识别的城市下垫面中不具有透水性的沥青、混凝土、砖及石头等物质覆盖的建筑屋顶、道路、广场和停机坪等。城市建成用地的绿地

空间是指利用卫星遥感技术获取的分布于城市建成用地内的公园、林地和草坪等覆盖类型。

1. 数据生产方法

中国城市建成用地范围及绿地空间组分数据产品生产的数据源主要包括 HJ-1A/B、GF-1/2 和 ZY-3 等国产

卫星影像, 以及 Landsat TM/ETM+/OLI 系列卫星影像数据。其中, 国产卫星影像辅以高分辨率影像生产不同地理分区的组分训练样本和验证样本数据。基于随机森林算法和 Landsat TM/ETM+/OLI 系列卫星影像及辅助数据获取城乡人居地指数, 采用密度分割法且经过人工交互解译修正后, 获取城市建成用地矢量边界; 应用植被覆盖度指数和城市建成用地矢量边界生产城市绿地空间组分原始数据, 经校正和精度评价后, 生成 2000 年、2010 年和 2020 年中国 30 m 城市建成用地绿地空间组分数据产品。城市绿地空间组分数据产品的分辨率为 30 m, 并采用统一的坐标系统和存储格式。基准面为 D_WGS_1984, 投影坐标系为 Albers 投影, 数据存储格式为 Geotiff。

2. 数据分析方法

(1) 城市建成用地的绿地空间比例

城市建成用地的绿地空间比例指城市建成用地绿地空间面积所占城市建成用地土地面积的比例, 公式如下:

$$UGS_p = \frac{UGS}{B} \times 100\%$$

式中, UGS_p 为城市建成用地的绿地空间比例 (%), UGS 为城市建成用地的绿地空间的面积 (km^2), B 为城市建成用地的土地面积 (km^2)。

(2) 城市建成用地绿地空间增长速度

城市建成用地绿地空间增长速度指特定时段内年均城市建成用地绿地空间增长面积, 公式如下:

$$UGS_{t_1-t_2} = \frac{UGS_{t_2} - UGS_{t_1}}{t_2 - t_1}$$

式中, $UGS_{t_1-t_2}$ 为 t_1 到 t_2 时段城市建成用地绿地空间增长速度 ($\text{km}^2/\text{年}$), UGS_{t_1} 和 UGS_{t_2} 分别为 t_1 年和 t_2 年城市建成用地绿地空间的面积 (km^2)。

本研究选取城区人口大于 100 万的典型城市 (93 个), 在此基础上划分为超大城市 (6 个)、特大城市 (10 个) 以及大城市 (77 个), 并对不同规模的城市绿地空间状况进行分析。

结果与分析

1. 城市建成用地的绿地空间变化

21 世纪以来, 中国 93 个典型城市建成用地的绿地空间面积呈上升趋势 (图 4-6)。城市建成用地绿地空间总面积从 2000 年的 $0.35 \times 10^4 \text{ km}^2$ 增加到 2010 年的 $0.59 \times 10^4 \text{ km}^2$, 然后以更快的速度增加到 2020 年的 $1.19 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。2010 年后, 随着生态文明建设的逐步深入实施, 中国推行的一系列旨在提高城市绿化水平的措施成效显著, 城市绿地空间面积大幅提升, 城市人居环境得到改善。

近 20 年, 城市绿化与生态城市建设得以重视, 城市绿地空间配置占比不断提高 (图 4-6)。中国 93 个典型城市建成用地绿地空间的平均比例显著提升, 由 2000 年的 22.54% 上升到 2020 年的 29.71%。其中, 特大城市建成用地的绿地空间占比提升最为明显, 由 2000 年的 22.29% 上升到 2020 年的 30.56%; 其次为大城市, 建成用地绿地空间占比较 2000 年提升 7.16 个百分点, 为 29.59%; 超大城市建成用地绿地空间比例由 2000 年的 22.97% 上升到 2020 年的 29.28%。

2. 城市建成用地的公园绿地空间状况

2020 年, 中国典型城市建成用地的公园绿地空间面积为 $0.13 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占城市建成用地总面积的 3.20% (图 4-7)。其中, 城市建成用地公园绿地空间面积排在前 10 位的城市包括北京、上海、广州、深圳、东莞、南京、佛山、苏州、杭州和沈阳。北京建成用地公园绿地空间面积最大, 为 158.71 km^2 , 建成用地内的绿化水平最高; 上海次之, 建成用地公园绿地空间面积为 103.57 km^2 。

超大城市在城市开发建设过程中更加注重建筑和绿地的有效镶嵌, 如北京奥林匹克森林公园、上海世博园和深圳华侨城湿地公园等一系列的城市公园绿地建设, 大幅增加了城市公园绿地面积, 显著提高了城市公园绿化水平。

上述情况从侧面说明中国城市生态绿化建设正稳步向前, 城市公园绿地空间配置处在较好的水平。不同规模城市在城市建设发展过程中积极通过建设城市绿地、加快城市园林绿化等举措提升城市生态环境质量。

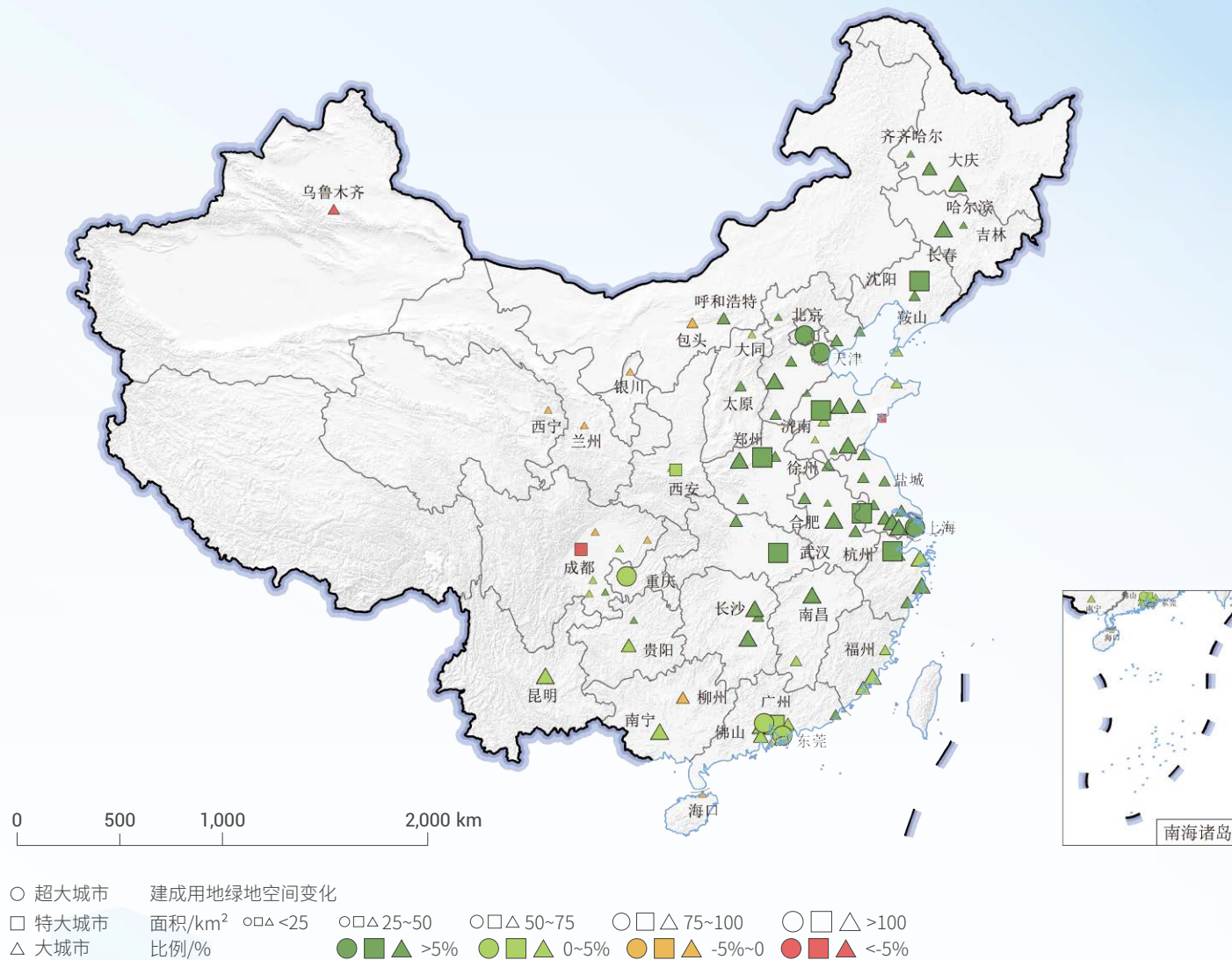
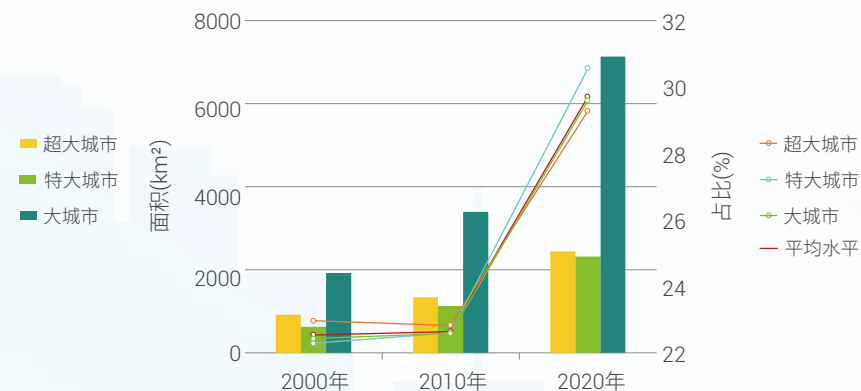


图 4-6.

2000~2020年中国城市建成用地绿地空间面积及比例变化 (港澳台地区数据未统计)



讨论与展望

本研究应用大数据、机器学习和人工交互解译等方法，自主研发了2000年、2010年和2020年三期中国城市建成用地绿地空间组分比例的高精度系列制图产品，可为中国城市公共开放空间（SDG 11.7.1）的评估提供重要的科学数据。案例能够快速、准确地对城市建成用

地的绿地空间面积和比例进行量测，有效地支撑开放公共空间（SDG 11.7.1）指标的科学评估。案例采用的数据和方法为世界各国开展SDG 11的评价与国际对比提供了新的视角。



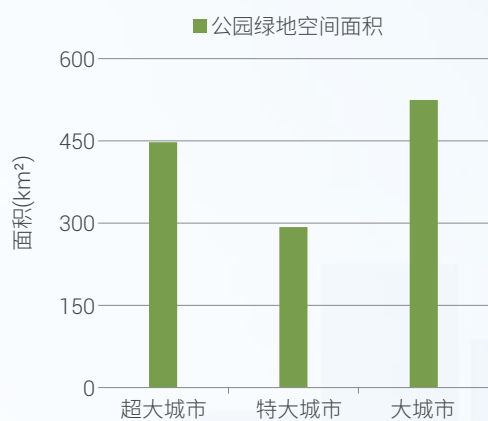
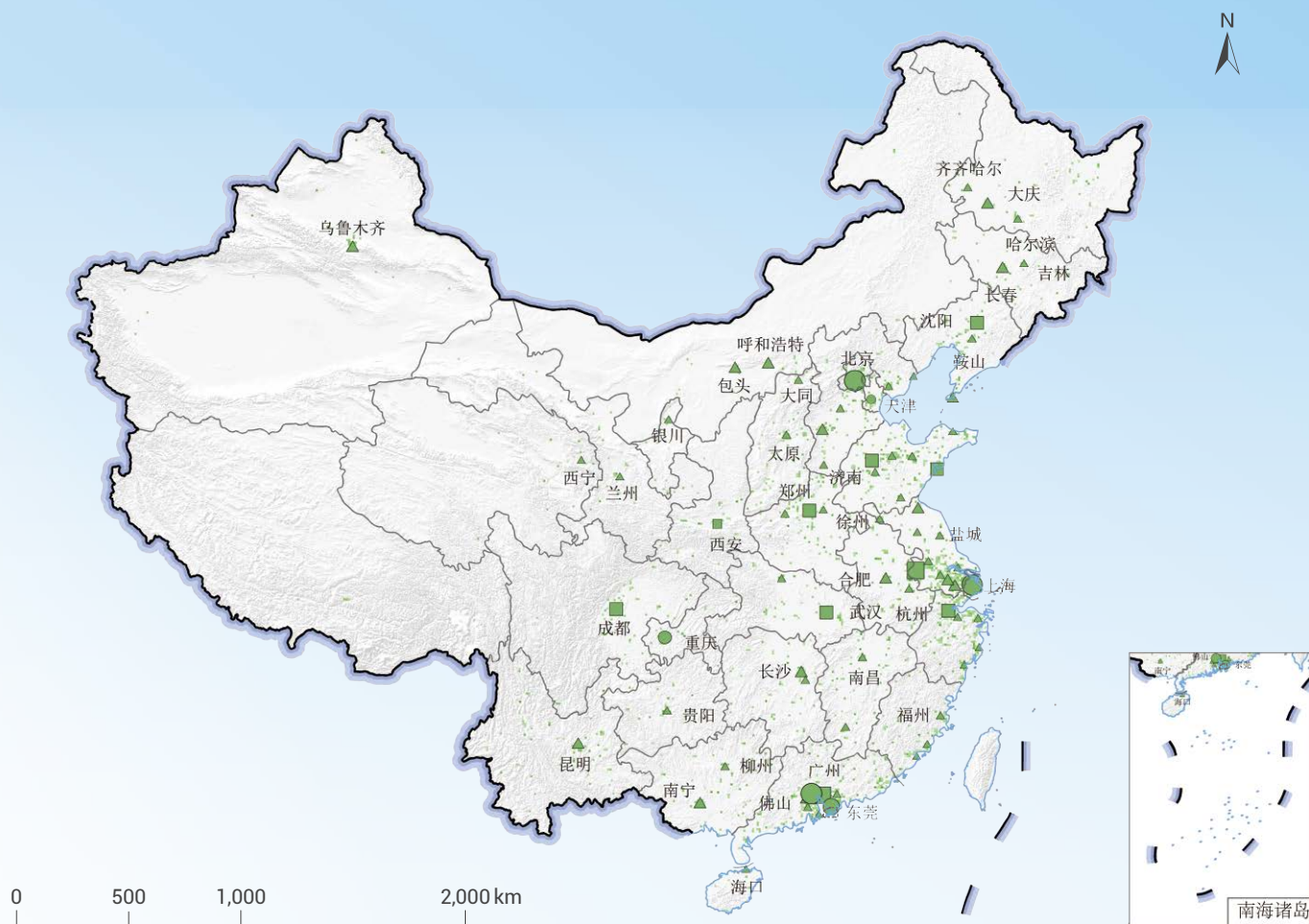


图 4-7.

2020年中国城市建成用地公园绿地空间状况
 (港澳台地区数据未统计)

中国主要城市景观的社区尺度变化与可持续发展指标

- 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。
- 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。
- 11.7 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

- 提出一套社区尺度城市景观建模与制图方法。
- 生产 2015、2020 年首套中国社区尺度、全类型、一致化的城市景观数据产品，覆盖中国 31 个主要城市（省会直辖市）、12 类典型城市景观。
- 发现 2015~2020 年中国主要城市的棚户区改造稳步推进（棚户区减少 4.5%，一二类居住区增加 0.2% 和 0.7%）、公共交通显著扩张（交通用地增加 11.5%）、公共开放空间持续改善（公共开放空间增加 2.7%）、城市土地利用效率大幅提升（未利用地减少 74.5%）。

案例背景

城市景观是人文 - 自然 - 社会等多种要素共同作用形成地理综合体，是构成城市的基本单元，因此也成为评估城市可持续发展目标（SDG 11.1、11.2、11.3、11.7）的本底数据。

但是，现有城市景观研究存在类别单一、尺度粗略等问题。其一，现有 SDG 11 评估侧重于单一景观提取（如棚户区或公共开放空间）和单指标计算，导致不同景观之间存在提取标准不一致、空间位置重叠等现象，进而提取的不同指标之间存在矛盾；其二，现有城市景观数

据以城市行政区划尺度为主，缺乏社区尺度（社区尺度指城市内部以功能区为基本单元的空间分析尺度，也是评估可持续社区的基准尺度）。综上所述，目前缺乏有效的城市景观数据，阻碍了 SDG 11 监测与评估工作。本案例致力于构建社区尺度城市景观建模与提取方法，为评估 SDG 11 提供全类型、一致化、社区尺度的景观本底数据，并基于景观数据评估中国主要城市可持续发展目标。

所用数据

- ◎ 中国主要城市高分一号数据（2015 年）、资源三号数据（2020 年），覆盖中国 31 个主要城市（省会直辖市）；
- ◎ 自主研发城市景观样本数据（覆盖 20 万 + 城市景观地块）。

方法介绍

1. 城市景观的场景建模和样本启发式学习方法

构建城市景观的场景建模方法和自动化提取技术，解决现有 GIS 要素表达和遥感影像分析方法无法建模和提取城市景观难题。具体包括：

(1) 城市景观的场景模型：基于“要素属性→要素类别→结构格局→场景→景观”的层次认知结构构建场景模型，为表达景观异质性单元提供数据模型 (Zhang *et al.*, 2017)。

(2) 城市景观样本的启发式学习方法：基于人机对抗的思路和主动学习方法，提出启发式城市景观样本学习策略，实现城市景观样本自学习，构建大规模、平衡性、代表性、区分性强的城市景观样本库 (Zhang *et al.*, 2020b)。

2. 社区尺度城市景观自动提取和数据生产

研制社区尺度城市景观数据产品，弥补现有 SDG 11 指标计算中城市景观数据缺失或尺度粗略的问题，为评估 SDG 11 提供棚户区、公共开放空间等景观本底数据：

(1) 多模态数据融合的景观优化提取方法：基于场景模型建立多模态数据融合和表达方法，自动化识别提取城市景观 (Du *et al.*, 2021)。

(2) 自主生产社区尺度城市景观数据产品：结合采集的城市景观样本和景观优化提取方法，使用多模态地理数据，自动生成社区尺度城市景观数据产品。提取 SDG 11 相关的景观指标体系，如棚户区、公共交通和公共开放空间等占比及其动态变化。

结果与分析

所研制社区尺度城市景观数据涵盖 2015 年、2020 年两个时期，包含中国 31 个主要城市、空间分辨率 2 m、

总体分类精度 85%，结果如图 4-8 所示。根据《城市用地分类与规划建设用地标准》(中华人民共和国住房和

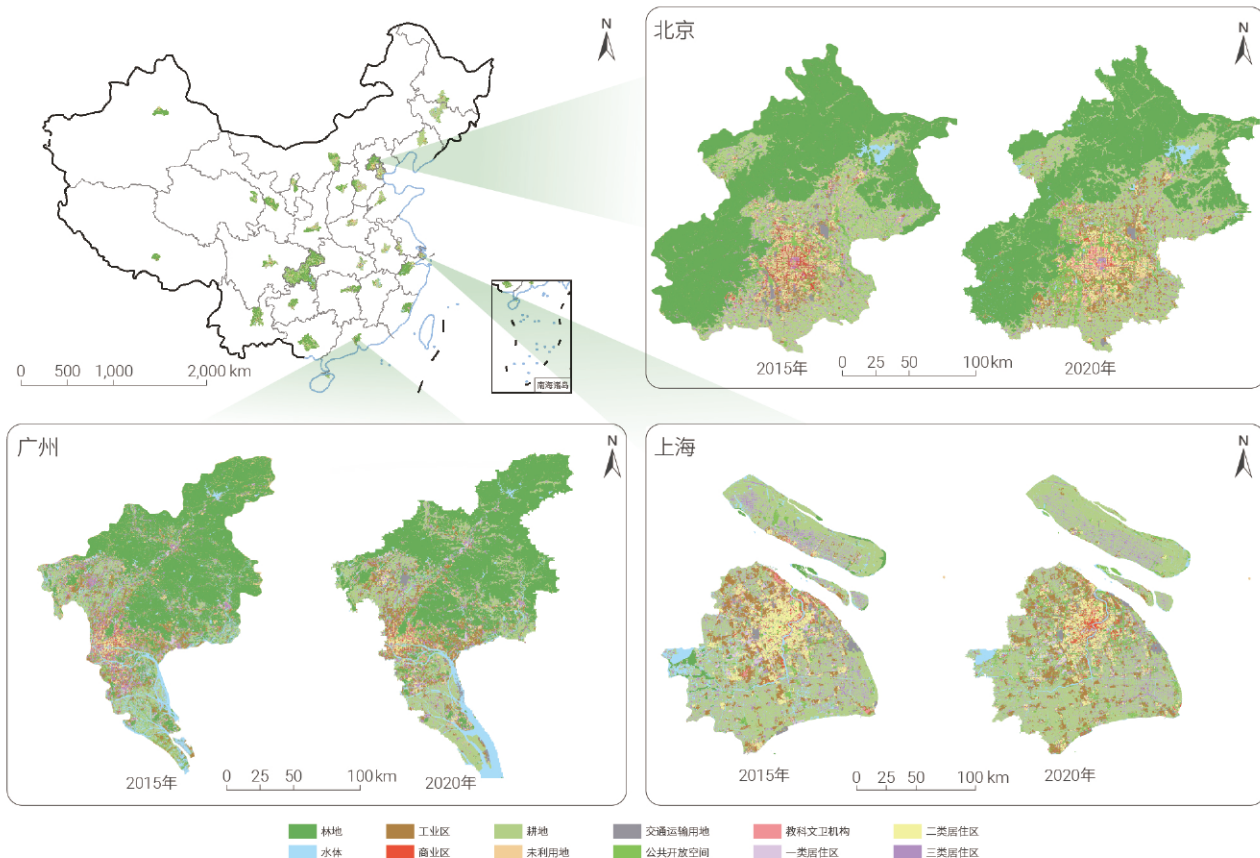


图 4-8. 2015~2020 年中国典型城市景观变化

城乡建设部,2012), 该数据共包含 12 类典型景观类型。

通过所研制的社区尺度城市景观数据产品(图 4-8), 计算获得每个城市各类景观的占地面积比例如图 4-9 所示。这 31 个城市的景观类型与结构差异显著, 如分布在东北平原、华北平原、江汉平原和长江中下游平原的

城市其景观以耕地为主, 而其他地区的城市景观以林地为主。2015~2020 年各城市中景观构成发生了显著的变化, 如图 4-9 示例: ①城市增量建设: 主要城市的边界向外扩张, 其表现为城市边界区域新建大量工业区; ②城市存量改造: 主要城市的中心区域棚户区减少, 而商

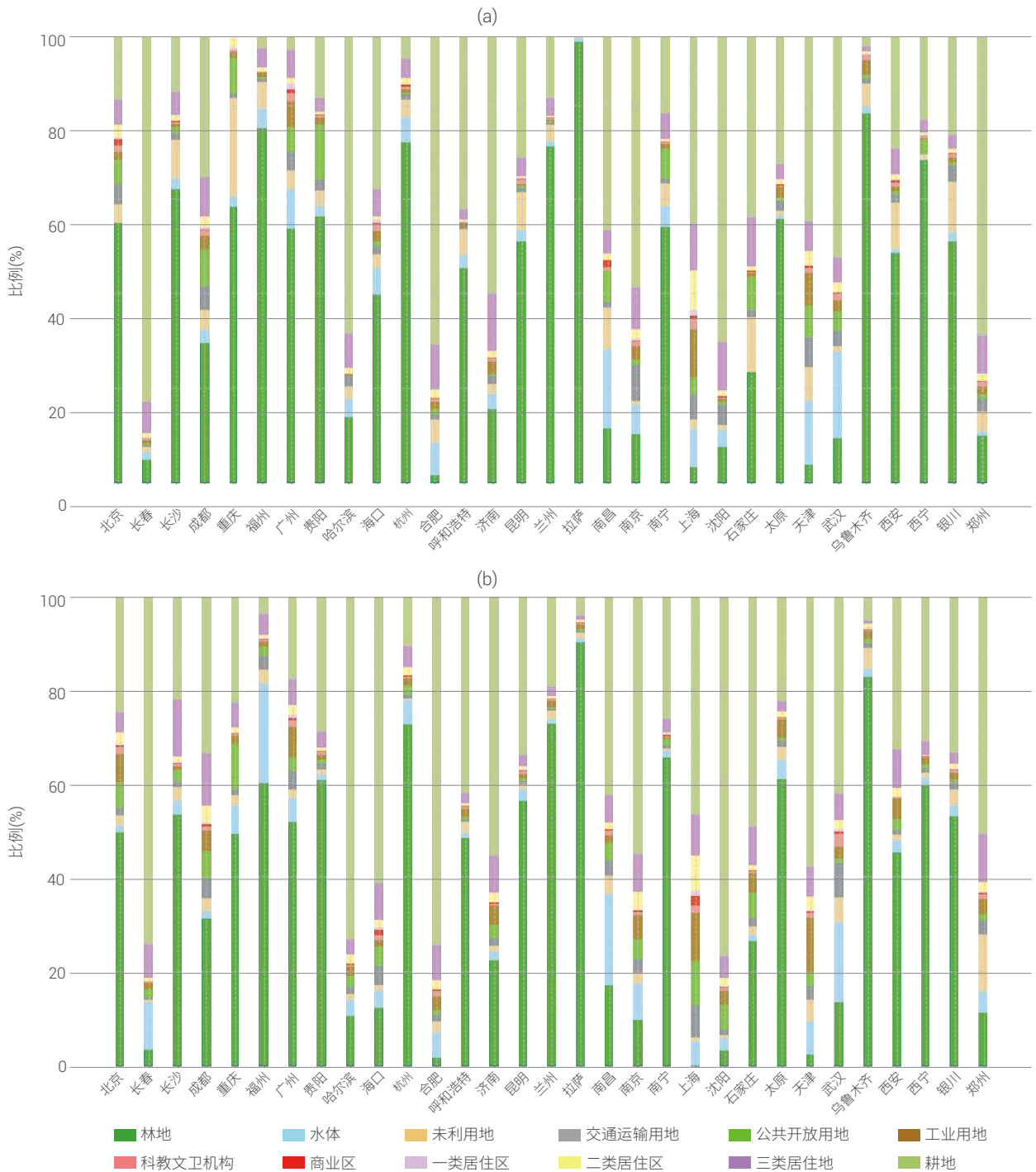


图 4-9. 2015 年和 2020 年中国 31 个主要城市 12 类城市景观占比图
(a) 2015 年; (b) 2020 年

业区增加。总体来看，2015~2020年中国的未利用地减少74.6%，林地减少3.2%，棚户区减少4.5%。而耕地增加15.8%，工业区增加25.1%，商业区增加1.5%，公共

开放用地增加2.7%，交通用地增加11.5%，科教文卫用地增加11.1%，一类居住区增加0.2%，二类居住区增加0.7%。

讨论与展望

案例构建城市景观的场景建模与提取方法，自主研发全类型、一致化、社区尺度的城市景观数据产品，可支撑评估城市可持续发展目标。所生成的社区尺度城市景观数据集覆盖中国31个主要城市、2015及2020两个年份，数据空间分辨率高达2m。

发现2015~2020年间，针对SDG 11.1，中国主要城市的棚户区改造稳步推进（棚户区减少4.5%，一二类

居住区增加0.2%和0.7%）；针对SDG 11.2，公共交通显著扩张（交通用地增加11.5%）；针对SDG 11.3，城市土地利用率大幅提升（未利用地减少74.5%）；针对SDG 11.7，公共开放空间持续改善（公共开放空间增加2.7%）。未来计划针对全国乃至“一带一路”倡议地区，研制城市景观数据集并评估对应地区城市可持续发展目标。

2015~2020年中国城市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，在市域尺度开展 SDG 11 综合评价。
- 相比 2015 年，2020 年各市级行政区可持续性表现较好，东部市级行政区的 SDG 11 综合指数高于西部市级行政区；2020 年有 300 个市级行政区 SDG 11 综合指数增长，29 个市级行政区综合指数减小，SDG 11 综合指数平均值由 0.64 增长到 0.73。

案例背景

联合国 2015 年提出的“2030 年可持续发展议程”中涵盖了 17 项可持续发展目标和 169 项具体目标，其中 SDG 11 以建设包容、安全、有抵御灾害能力和可持续的城市和人类住区为主要目标，包括 7 个技术类子目标和 3 个合作类子目标，共 15 个指标。案例 1 和 2 分别就城市公共交通（SDG 11.2.1）和城市灾害（SDG 11.5.1/11.5.2）进行了分析。虽然每个指标能够较好地反映了其所表达的城市发展中的问题，但是没有相应的指标来评价一个城市总体的可持续发展情况。

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。然而，目前较少有关于中国市域尺度的 SDG 11 综合指数研究。本研究结合报告中案例 1/2 的研究结果数据和相应年份的统计数据，围绕 SDG 11 的 5 个具体目标 7 个指标开展 2015 和 2020 年市级尺度的综合评估。识别出每个市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（2015/2020）；
- ◎ 土地使用率与人口增长率之间的比率数据产品（2010~2015/2015~2020）；
- ◎ 中国地级市灾害数据（2015/2020）；
- ◎ PM_{2.5}年平均产品（2015/2020）；
- ◎ 土地利用数据（2015/2020）；
- ◎ 人口公里网格数据（2015/2020）；
- ◎ 中国城市建设统计年鉴（2015/2019）。

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 Cooperation and Development, OECD）和 JRC（2008）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（Sachs *et al.*, 2019）来计算：

$$I = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N I_k$$

其中， I 表示 SDG 11 综合指数； N 表示 SDG 11 的指标数； I_k 表示指标值。

3. 量化指标的可持续发展进程

为了更好的洞悉中国城市各个指标的发展进程，借鉴联合国 2020 可持续发展目标进度表中的方法（UN，

2020b），我们分别评估了 2015~2020 年每个指标的发展趋势以及每个指标 2020 年现状与 2030 可持续发展目标的距离（下文简称现状）。发展趋势的评估分为两种情况：

（1）没有明确的 2030 年可持续发展目标值的指标

$$TR_a = \left(\frac{x_t}{x_{t_0}} \right)^{\frac{1}{t-t_0}} - 1$$

其中， TR_a 为实际的年增长率， t 为现状年（2019/2020）， t_0 为本底年（2015）， x_t 为现状年的指标值， x_{t_0} 为本底年的指标值。

（2）有明确的 2030 年可持续发展目标值的指标（SDG 11.6.2）

$$TR_t = \frac{TR_a}{TR_t} = \left(\frac{x^*}{x_{t_0}} \right)^{\frac{1}{2030-t_0}} - 1$$

其中， TR 为年实际年增长率与目标所需年增长率的比， TR_t 为以 2030 年的值为目标所需的年增长率， x^* 为 2030 年的指标值。根据以上公式，将发展趋势划分为四个等级，分别为进展较快、进展较慢、无进展和负进展。在与专家协商的基础上，根据数据本身的分布特点，利用统计技术将现状划分为五个等级，分别为基本实现、较近、近、远和较远。

结果与分析

1. 综合指数

图 4-10 显示了市域尺度 SDG 11 综合指数空间分布。总体而言，东部市级行政区 SDG 11 综合指数明显高于西部市级行政区。相比 2015 年，2020 年有 300 个市级

行政区综合指数增长，29 个市级行政区综合指数减小，SDG 11 综合指数平均值由 0.64 增长到 0.73；综合指数小于 0.60 的市级行政区由 90 个减少到 14 个，而综合指数大于 0.75 的市级行政区由 8 个增加到 118 个。

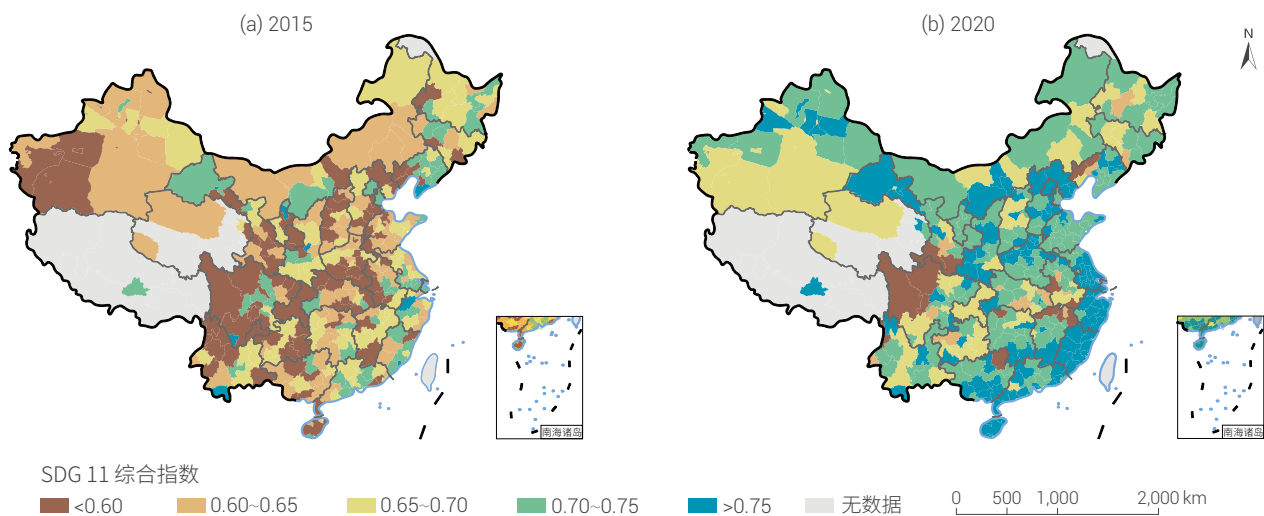


图 4-10. SDG 11 综合指数空间分布

| 区域 | 11.2.1 | 11.3.1 | 11.5.1 | 11.5.2 | 11.6.1 | 11.6.2 | 11.7.1 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 全国 | | | | | | | |
| 华北 | | | | | | | |
| 东北 | | | | | | | |
| 华东 | | | | | | | |
| 华中 | | | | | | | |
| 华南 | | | | | | | |
| 西南 | | | | | | | |
| 西北 | | | | | | | |
| 港澳台地区 | | | | | | | |

图例



图 4-11. 指标可持续发展进程指示板

2. 指标可持续发展进程

图 4-11 展示了每个指标的可持续发展进程。指标总体情况为 SDG 11.2.1、SDG 11.6.1 和 SDG 11.7.1 具有较好的发展趋势和现状，SDG 11.6.2 虽然具有较好的发展趋势，但是现状方面还得继续加强，其余指标表现有一定的区域差异性。从全国角度来看，2015~2020 年所有指标发展趋势均表现为进展较快；除了 SDG 11.3.1 之外，其余指标 2020 年现状与 2030 可持续发展目标的距离比较近，尤其是指标 SDG 11.2.1、SDG 11.6.1 和 SDG 11.7.1。具体从区域上来看，华北、西南和西北地区各指标发展趋势均较快，现状距离 2030 年可持续发展目标表现良好，尤其是 SDG 11.6.1 现状已基本实现 2030

年可持续发展目标；东北地区指标 SDG 11.2.1、SDG 11.5.1、SDG 11.6.1、SDG 11.6.2 和 SDG 11.7.1 发展进展较快，现状亦较近，SDG 11.5.2 发展趋势表现为负进展，现状也基本处于中间状态；华东地区指标 SDG 11.5.1 发展趋势基本保持不变，但是距离 2030 可持续发展目标较近，SDG 11.5.2 表现为负进展，其余指标发展趋势均表现为进展较快；华中地区各指标表现差异较大，SDG 11.2.1、SDG 11.6.1、SDG 11.6.2 和 SDG 11.7.1 进展较快，SDG 11.3.1 保持不变，SDG 11.5.1 和 SDG 11.5.2 为负进展，各指标现状表现良好；华南地区除了 SDG 11.3.1 之外，其余指标具有较好的发展趋势和现状。

讨论与展望

本研究采用 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。通过各指标的发展趋势和现状能够很好地识别每个市级行政区表现好的目标和表现差的目标。因为指标发展趋势的计算是采用 2015 和 2020 年的两期数据（而非连续多年平均值）对比而来，再加之灾害具

有较强的突发性，所以本研究中部分地区城市灾害指标（SDG 11.5.1/11.5.2）的发展趋势表现为负进展只能说明这些地区 2020 年相对于 2015 年受到更严重的灾害损失，并不代表 2015~2020 这 5 年期间的总体表现。另外，由于数据的可获取性，SDG 11.6.1 和 SDG 11.7.1 的现状数据为 2019 年。



本章小结

本章围绕 SDG 11.2 城市交通、SDG 11.5 城市灾害、SDG 11.7 城市公共开放空间等 3 个具体目标 4 个指标，发展地球大数据支撑的指标评价数据集与方法模型，实现了 SDG 11 多指标的动态、空间精细化、定量监测，并开展了中国省市两级尺度多指标的综合评估，为 SDG 11 目标实现提供了有力的支撑。

通过案例的研究，我们得出以下主要结论：

（1）在城市交通方面，利用生产的 2015 年、2018 年、2020 年分性别、年龄段的高精度精细人口公里格网数据，结合对应年份的中国公共交通网络（公交、地铁等）矢量数据，计算得到 2020 年中国可便利使用公共交通人口整体比例为 90.15%，与 2018 年相比上升 9.59%。

（2）在城市灾害方面，以地市级逐年灾情和人口经济数据为基础，将 SDG 11.5 监测指标的空间粒度细化至地市级，结果显示中国自然灾害风险总体呈现减轻趋势，综合防灾减灾能力和城市抵御自然灾害的设防能力

得到较大提升，但是需要重点防范极端天气等事件发生。

（3）在城市公共开放空间方面，自 2000 年以来，中国 93 个典型城市建成区的绿地空间呈上升趋势；尤其是 2010 年以后，城市建成区的绿地空间显著上升，城市生态绿化成效显著。

（4）在 SDG 11 城市综合评估方面，相比 2015 年，2020 年各市级行政区可持续性表现较好，其综合指数平均值由 0.64 增长到 0.73；东部市级行政区的 SDG 11 综合指数高于西部市级行政区。

全球城市化程度与日俱增，给城市的经济、社会和环境协调发展带来了诸多问题与挑战。因此，需要了解塑造可持续城市化的变革过程，而科学技术是支撑城市可持续发展的重要杠杆。尤其是作为科技创新重要实践的地球大数据，可以为 SDG 11 目标实现填补数据空缺、扩展指标体系、支撑政府决策等方面提供支持。



福州市区遥感影像图（卫星数据源：高分一号 成像时间：2018年4月8日）



SDG 13



SDG 13 气候行动

| | |
|------------|----|
| 背景介绍 | 76 |
| 主要贡献 | 77 |
| 案例分析 | 78 |
| 本章小结 | 93 |





背景介绍

联合国可持续发展目标中设立 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），主要聚焦减缓气候变化和适应气候变化影响，提高应对能力。基于地球大数据优势，本章聚焦气候行动三个具体目标：抵御气候相关灾害（SDG 13.1）、应对气候变化举措（SDG 13.2）、气候变化适应和预警（SDG 13.3）。

2016~2020 年间的平均气温达到有记录以来的最高值，比工业化前水平升高了 1.1°C （WMO, 2020）。气候变化已是人类灾害损失的主要驱动因素（UNDRR, 2019）。气候变化和极端性会带来气温、降水分布的不平衡加剧，导致高温热浪、干旱、洪水等灾害频发。气候变化除了通过极端天气导致自然灾害的直接影响，还会对自然生态系统和生物多样性、粮食安全、水安全、能源安全等产生深远影响（IPCC, 2019），有些变化的影响目前并不完全明确，需要加强监测和预警。

温室气体的不断排放和累积是全球升温的最主要因素，因此，减缓气候变化失控最有效的方法就是尽快减少排放并实现碳中和（IPCC, 2018）。2020 年 9 月中

国宣布将采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和。预期中国的碳达峰、碳中和战略，将使本世纪末全球平均气温相较于不采取行动降低 0.2 到 0.3 度，提高实现《巴黎协定》控制全球升温幅度的可能性（CAT, 2020）。

目前，SDG 13 所有指标中，只有 SDG 13.1.1 因灾死亡人数和 13.2.2 年温室气体排放量两个指标处于 Tier I，即有方法有数据，其余六个指标都处于 Tier II，即有方法无数据的状态。有些目标即使有数据，也多以统计数据为主，缺少明确的时空分布变化信息，难以为气候变化应对的科学决策提供有力支撑。

气候变化影响的空间范围广、时间周期长，需要地球大数据发挥自身优势，回溯过去的踪迹，监测当前的状态，并指明气候行动未来的方向和趋势。本年度的报告中，我们重点关注沙尘暴极端天气的变化及其影响，碳排放的规律和自然碳汇的潜力，海洋对气候变化的响应。通过连续的观测，揭示其变化规律和空间格局，为可持续发展提供决策支持。





主要贡献

本章围绕抵御气候相关灾害（SDG 13.1）、应对气候变化举措（SDG 13.2）、气候变化适应和预警（SDG 13.3），在中国和全球尺度开展研究，通过 5 个案例，

为 SDG 13 提供了 5 套数据产品，1 个创新方法，以及 4 项决策支持（表 5-1）。

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 | 近 10 年中国沙尘天气年际变化 | 数据产品： 2010~2020 年沙尘天气的年际范围数据 决策支持： 为沙尘天气防治，沙尘源治理提供了理论依据 |
| 13.2 将应对气候变化的举措纳入国家政策、战略和规划 | 中国温室气体浓度时空变化 | 数据产品： 近 5 年中国 CO ₂ 、NO ₂ 时空变化数据 决策支持： 为中国碳达峰提供判断依据 |
| | 气候变化对中国森林净生态系统生产力的影响 | 数据产品： 1981~2019 年全国森林净初级生产力和净生态系统生产力产品 决策支持： 评估中国森林碳汇潜力，为自然碳汇提供依据 |
| | 土地覆盖变化对全球净生态系统生产力的作用 | 数据产品： 2001~2019 年全球净生态系统生产力评估数据 决策支持： 提供全球净生态系统生产力变化状态及驱动因素，为实现碳中和目标提供支撑 |
| 13.3 加强气候变化减缓、适应、减少影响和早期预警等方面的教育和宣传，加强人员和机构在此方面的能力 | 全球海洋热含量变化 | 数据产品： 1993~2020 年全球海洋热含量遥感数据集 方法模型： 综合海表卫星遥感观测与浮标观测资料，利用人工神经网络方法构建适用于全球尺度、多层位、长时序的海洋热含量遥感反演模型 |



案例分析

近10年中国沙尘天气年际变化

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

- 自主开发了基于多种遥感影像的沙尘提取方法。同时结合北方 13 个省、区、市人员实时上报沙尘天气信息，获取了 2010~2020 年沙尘天气的年际范围。
- 对近十年沙尘天气发生次数及其成因进行时间序列趋势分析，结果显示，随着我国近些年防沙治沙工作的开展，北方主要沙尘源区植被恢复较好，并且在全球气候变化的大背景下，北方地区降水量增长、大风日数降低，沙尘天气次数呈减少趋势。

案例背景

沙尘暴是春季影响我国北方地区的主要灾害性天气之一，沙尘暴灾害往往给工农业生产、交通运输、人民群众生产生活和生命财产安全带来极其严重的危害，有时还造成灾难性后果。为了降低沙尘暴危害，中国实施了多项沙尘源区治理和生态修复工程，并开展常态化和

业务化的沙尘暴监测与灾害评估服务。通过建立包括沙尘暴卫星遥感监测系统、沙尘暴地面监测站、地面信息员组成的“天、地、人”三位一体的沙尘暴监测网络，实现了对沙尘暴灾害的全天候实时立体的监测，加强了抵御沙尘暴灾害的能力。

所用数据

- ◎ 风云三号 A/B 星、美国国家海洋和大气管理局（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA）极轨卫星；风云四号静止卫星、葵花八号静止卫星数据；
- ◎ 2010~2020 年中国气象局共享的降水、气温和大风天气数据；
- ◎ 自主生产 2010~2020 年中国沙尘暴分布范围和频次图；
- ◎ 来自美国 NASA 的归一化植被指数 NDVI 数据。

方法介绍

在 NOAA、风云系列卫星、葵花八号等卫星遥感影像的基础上，通过沙尘暴自动识别系统分析每年影响我国北方地区沙尘天气的发生发展情况，并结合地面信息员系统报送信息，参考中国气象局 GB/T20480-2017《沙尘天气等级》，确定每次沙尘天气影响范围以及每年我

国北方各区沙尘天气影响次数。

在此基础上，利用曼—肯德尔（Mann-Kendall, MK）非参数估计模型（Wang, 2016）以及相对变化率模型对近十年沙尘天气发生次数进行时间序列趋势分析，计算沙尘天气次数变化趋势。并从沙尘天气成因的角度，

构建沙尘天气驱动因子与沙尘天气次数之间的相关性模型，进一步深入分析引起沙尘天气变化的内在因素。

MK 检验样本不需要遵从一定的分布，也不受少数异常值的干扰，适用于非正态分布的数据（Asrar, 1984）。在长时间序列数据集的分析中常使用非参数估计斜率来检测变化趋势的量级（Wu, 2013）。MK 时间序列非参数估计模型计算变量斜率的公式为：

$$\text{slope} = \text{Median}(Q_i) = \text{Median}\left(\frac{x_j - x_i}{j - i}\right)$$

结果与分析

我国沙尘天气次数较多地区主要分布在北方干旱和半干旱区，区域内的多个沙漠、沙地生态状况脆弱，给沙尘天气的发生提供了沙尘源。2010~2020 年春季全国沙尘天气次数分布总体情况如图 5-1 所示，新疆南疆盆地和内蒙古阿拉善高原是沙尘暴的多发区。

根据 MK 模型计算结果，2010~2020 年沙尘天气次数变化率（slope）为 -0.1111，相对变化率（Relative Change Rate, RCR）为 13.58%，结果表明，2010 年以来，我国沙尘天气次数呈现波动下降趋势（图 5-2）。

沙尘天气的形成主要包括不稳定的空气状态、冷空气和下垫面三个方面，具体从大风日数、冷空气次数、植被长势和降水量四个要素得以体现。因此将四个要素

其中： x_i 和 x_j 分别代表第 i 年和第 j ($j > i$) 年累积值。

考虑到不同区域的差异，基于 MK 非参数估计模型引入相对变化率，分析变化率与多年平均值的比值。相对变化率的计算公式为：

$$\text{RCR} = \frac{\text{slope}}{\text{mean}} \times N \times 100\%$$

式中：RCR 代表起始年到结束年的相对变化率，mean 代表多年平均值， N 为时间序列年份长度，slope 代表因子的变化率。

对沙尘天气变化趋势成因进行相关性分析。结果表明，沙尘天气次数与大风日数整体均呈波动下降趋势，且呈正相关关系，相关系数最高（ $R^2=0.5486$ ），这是由于我国北方地区春季地表干旱，固沙能力较差，大风作为沙尘天气形成的动力源，较易引发沙尘天气。沙尘天气次数与植被指数之间的相关性次之（ $R^2=0.3907$ ），且呈负相关关系，随着我国近些年防沙治沙工作的开展，植被指数的增加，沙尘天气次数呈减少趋势，北方地区整体植被呈显著增加趋势，春季地表的植被存储量也相应增加，有效抑制了沙尘天气的发生。沙尘天气次数与同期降水量之间的相关性最差，相关系数最低（ $R^2=0.0045$ ）。

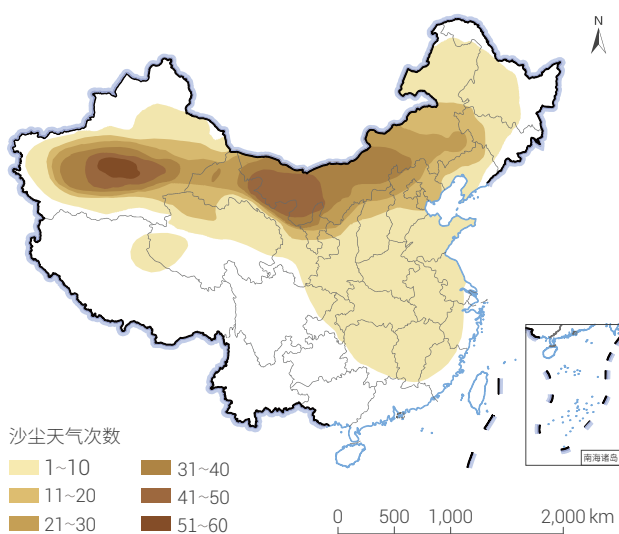


图 5-1. 2010~2020 年春季（3~5 月）我国沙尘天气频次图



图 5-2. 2010~2020 年春季（3~5 月）我国沙尘天气次数趋势图

讨论与展望

本研究利用气象卫星遥感数据结合地面人员实时监测情况，生成了2010~2020年遥感影像数据集、信息员上报信息数据集、2010~2020年沙尘暴监测评估简报集，并分析了2010~2020年来沙尘天气发生趋势，发现2010~2020年我国沙尘天气次数呈下降趋势，且与大风日数和植被长势的相关性较好。近年来随着中国北方地表植被覆盖增加，境外的沙尘成为我国春季沙尘天气的重要来源，今后将给予重点关注。

未来计划采用更先进的沙尘识别算法，并利用国产卫星风云四号遥感数据进行实时监测，以实现国产自主化沙尘遥感监测。同时，科学推进荒漠化治理，改善沙尘源区生态环境，提高植被长势、土地退化沙化程度变化、大风和降水等气象气候因素的监测研究水平，进一步了解和预测沙尘天气发生发展趋势，切实提高沙尘暴灾害应急处置水平，最大程度保障群众生命财产安全。

中国温室气体浓度时空变化

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

- 遥感获得的温室气体浓度，对于排放量的变化分析以及排放源的追踪，具有明显的时空优势。
- 2015 年以来，中国 CO₂ 浓度依然在增加，但增速明显减缓。
- 2020 年温室气体浓度波动较大，2 月份受新冠疫情影响降至谷底，12 月份受到经济恢复以及寒潮影响，达到峰值。

案例背景

实现碳达峰、碳中和战略目标，中国需要付出极其艰巨的努力。中国正在制定行动方案并已开始采取具体措施，确保实现既定目标。高效准确的监测温室气体排放，是碳达峰、碳中和战略顺利实施的必要保障。

相比于传统的基于行业统计碳排放的方法，通过卫

星遥感监测 CO₂ 等温室气体浓度，具有时效性高、空间范围广的特点，可以实现温室气体的快速浓度变化监测，以及排放源的追踪，从而为减排提供高效的数据和方法支持。

所用数据

- ◎ 卫星数据：OCO-2 二氧化碳卫星数据，分辨率 0.5°；哨兵 5P 多光谱反演 NO₂ 产品，分辨率 0.01°；
- ◎ 统计数据：世界银行中国碳排放数据；中国碳排放数

据库（Carbon Emission Account & Datasets, CEADs）省级排放清单。

方法介绍

CO₂ 是目前全球温室气体的主要成分，其比例占到所有温室气体的 65% 左右。NO₂ 主要来自化石能源高温燃烧，往往伴随着 CO₂ 排放。NO₂ 只能在空气中存在几个小时，且卫星观测的数据分辨率更高，对于追踪排放源有很大优势。相比之下，CO₂ 更加稳定，在空气中存在的时间更长，扩散效应明显，反而不容易开展碳源的追踪。为此，本研究将结合 CO₂ 与 NO₂ 数据，探索卫星监测碳排放的效果。

轨道碳观测卫星（Orbiting Carbon Observatory 2, OCO-2）二级产品经过克吕格插值生成 CO₂ 图像数据，

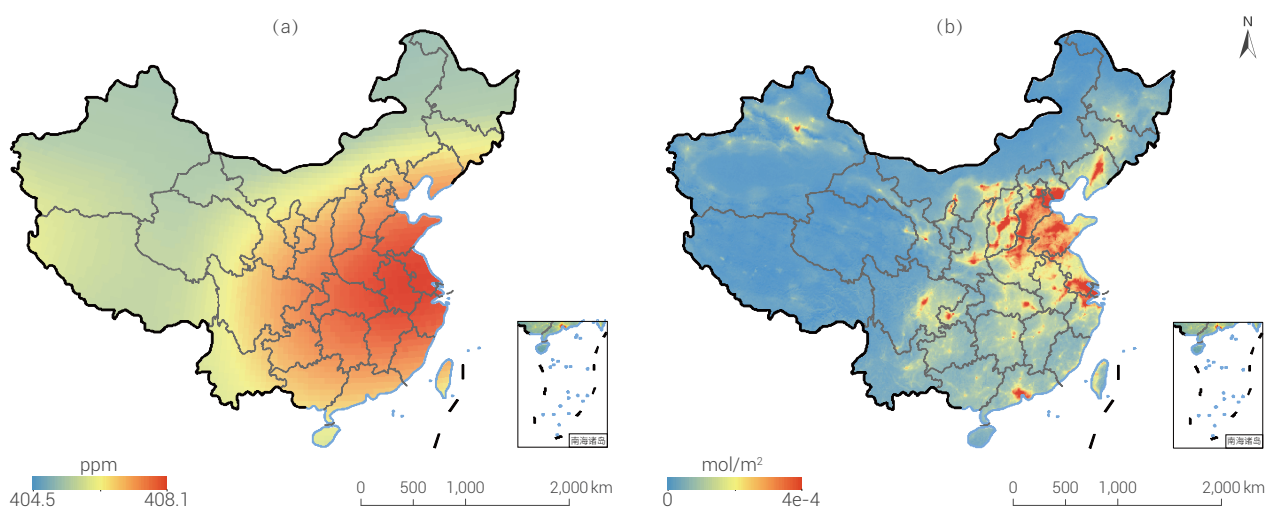
并计算月度均值；哨兵 5P 每个月 500 多景 NO₂ 数据，逐像素取其中间值生成每月浓度中值数据。分析 OCO-2 卫星获取的 CO₂ 浓度以及哨兵 5P 获取的 NO₂ 浓度数据，采用省级区域积分方法，探索温室气体浓度与排放量之间的关系：首先分析 CO₂ 和 NO₂ 全国整体浓度分布，选择中间值作为阈值，区分排放源（高于阈值）和扩散区（低于阈值）；只考虑排放源像素，然后像素值减去阈值，生成各像素排放浓度；最后积分计算各省排放浓度值，与 CEADs 各省碳排放量统计值开展相关分析，可以获得累积浓度与排放量的定量关系。

结果与分析

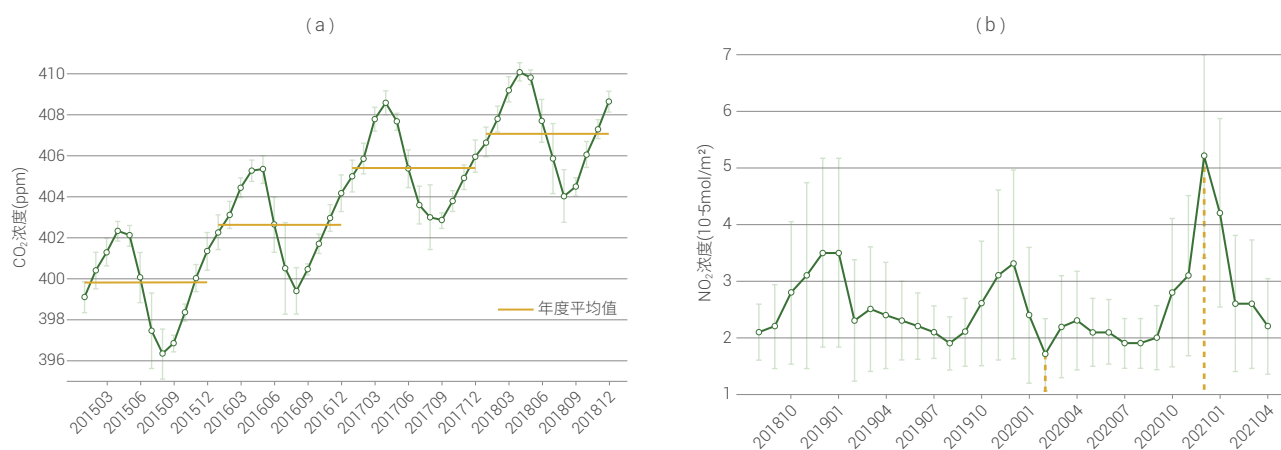
从图 5-3 可以看出，不论是 CO₂ 还是 NO₂ 数据，都显示中国东部地区温室气体浓度更高。与 CO₂ 数据相比，NO₂ 分辨率更高，在空气中存在时间更短，因此在显示排放源方面更加精细，可以凸显出中西部中心城市、东部城市群明显比周边浓度要高。华北地区是温室气体排放最集中的区域。通过定量的各省卫星数据累积浓度与统计排放量的相关分析，发现 NO₂ 的结果也比 CO₂ 相关

性更高（相关系数分别为 0.86 和 0.55），即 NO₂ 能更好地表现出 CO₂ 排放的空间差异。

在时间尺度上（图 5-4），CO₂ 浓度从 2015 年 1 月至 2018 年 12 月呈波浪形上升的趋势，4 月份达到年度最大值，8 月份达到年度最小值。从年度均值来看（红色横线），虽然中国的浓度仍然在升高，但升高的幅度在逐渐减小。NO₂ 浓度在 2018 和 2019 年间，也呈现波



↑ 图 5-3. (a) 2018 年 CO₂ 平均浓度；(b) 2019 年 NO₂ 年度平均浓度



↑ 图 5-4. (a) 2015~2018 年中国 CO₂ 浓度变化趋势；(b) 2018 年 8 月~2021 年 4 月中国 NO₂ 浓度变化趋势

浪形变化趋势，12月份达到年度峰值，8月份落到谷底。月度的波动主要是受经济周期、冬季取暖、植被吸收等因素的影响。2020年间，NO₂的浓度变化经历了较大的起伏。受新冠肺炎影响，在2020年2月份NO₂浓度落到近3年的谷底；2020年下半年，中国经济已经开始了

快速复苏，再加上12月份经历了近年来最强烈的寒潮导致供暖消耗化石能源增加，12月份NO₂浓度达到近3年的峰值。从年度平均来看，2020年比2019年NO₂平均浓度略有降低。

讨论与展望

卫星数据在监测温室气体浓度方面具有优势，时效性更强，空间信息更加丰富。卫星监测的温室气体浓度的空间分布与区域的排放量，具有很高的相关性；温室气体浓度的时间变化，与区域排放量变化高度同步。我国的CO₂浓度，2015年以来增速已经逐步趋缓。温室气

体的排放，受到经济发展、能源结构、冷暖季节等因素多重影响，具有较大的波动性和复杂性。卫星数据可以作为碳达峰时间节点判断的有效依据之一，但真正的排放拐点，也需要综合多种因素进行科学的判断。

气候变化对中国森林净生态系统生产力的影响

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

- 完成了 1981 年以来中国森林净初级生产力和净生态系统生产力的动态评估。
- 中国森林生态系统碳汇潜力巨大。与基准气候时段相比（1981~2010 年），2011~2019 年中国森林年均净初级生产力总体上是增加的；2011~2019 年期间中国森林年平均净生态系统生产力为 199.54 TgC/a，也就是 0.199 PgC/a（1 Tg=10¹² g, 1 Pg=10¹⁵ g）。
- 气候变化对中国森林净生态系统生产力的影响在区域上差异显著，其中云南森林净生态系统生产力最大，其次为广西和广东。

案例背景

气候变暖对全球生态环境的影响越来越受到人们的关注。作为陆地生态系统的主体，森林在调节全球碳平衡及维护全球气候等方面中具有不可替代的作用。森林与气候之间存在着密切的关系，研究表明平均每 7 年大气中 CO₂ 通过光合作用与陆地生物圈交换一次，而其中 70% 是与森林进行的（Zhao *et al.*, 2019），故由气候变化引起的森林分布、林地土壤呼吸、生产力和碳收支等诸方面的变化反过来可对地球气候产生重大的反馈作用。因此，碳中和目标下对中国森林生态系统碳收支进行研

究具有重要意义。

当前森林碳循环的研究，在研究方法和手段上不断改进，在研究尺度上更加注重从生态系统尺度向区域扩展。本研究基于地球大数据和森林生态系统碳收支模型（FORest ecosystem Carbon budget model for CHiNa, FORCCHN），定量评估了 1981 年以来气候变化对中国森林净初级生产力（Net Primary Productivity, NPP）和净生态系统生产力（Net Ecosystem Productivity, NEP）的影响。

所用数据

- ◎ 气象数据：国家气象信息中心 1981~2019 年全国 2100 个气象站点日降水量、日最高、最低、平均气温、日空气相对湿度、日平均风速、日地表太阳辐射以及气象站点的经纬度和海拔高度的经纬度信息；
- ◎ 土壤数据：中国科学院南京土壤研究所 1:1400 万土壤

质地图，主要包括土壤类型的颗粒组成（沙粒含量、粉粒含量、粘粒含量）、土壤田间持水量、萎蔫含水量和容重以及土壤碳储存量和土壤氮储存量；

- ◎ 植被数据：植被特征数据根据 NOAA 卫星 AVHRR 传感器的 NDVI 数据集通过遥感模型计算获得。

方法介绍

本研究采用基于个体生长过程的 FORCCHN 模型来模拟气候变化对中国森林 NEP 的影响，该模型以植物

生理学、森林生态学和土壤环境学的基本原理为基础，能合理解释森林生态系统中幼龄林碳收支的动态机理

(Yan and Zhao, 2007)。FORCCHN 模型的分辨率为 $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ 。目前, 该模型已经应用到全国、全球尺度等的森林碳循环的模拟中 (Zhao *et al.*, 2019, 2020)。模型中个体树木净初级生产力 NPP 及净生态系统生产力 NEP 的主要控制方程为:

$$\text{NPP}_i = \text{GPP}_i - \text{RA}_i$$

$$\text{NEP}_i = \text{NPP}_i - \text{RH}_i$$

式中, NPP_i 、 GPP_i 、 RA_i 分别表示第 i 个树木的净初级生产力、总光合生产力及自氧呼吸, 量纲都是 (gC/d); NEP_i 表示第 i 个树木的净生态系统生产力 (gC/d); RH_i 表示土壤异养呼吸 (gC/d)。

结果与分析

1. 气候变化对中国森林净初级生产力的影响

与基准气候时段相比 (1981~2010 年), 2011~2019 年中国年均森林 NPP 总体上是增加的, 增加最为明显的区域是中国的西南和东南地区, 增加了 3.10%~6.00%。其中, 2011~2015 年西南地区的森林 NPP 及 2016~2019 年东南地区的森林 NPP 增加了 6.10%~9.00%。而东北地区最北部森林 NPP 量明显减少, 部分地区 NPP 下降量超过 6.00%。

从全国各地区的平均状况来看, 中国森林单位面积 NPP 量空间分布的基本特点是东南高西北低, 2011~2019 年单位面积 NPP 量为 $530.25 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。其中, 西南林区单位面积 NPP 量较高、东北林区和东南林区次之, 西北

林区较低 (图 5-5)。

2. 气候变化对中国森林净生态系统生产力的影响

气候变化总体上有助于我国森林植被的固碳, 过去的 39 年里我国森林生态系统总体是碳汇, 其中 2011~2019 年期间中国森林年平均 NEP 为 199.54 TgC/a , 单位面积 NEP 为 $109.25 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。受气候、土壤类型、植被类型等多方面影响, 中国森林生态系统碳收支空间分布差异显著, 总体呈现从西北向东南逐渐增长趋势 (图 5-6)。其中, 2011~2019 年期间, 云南省森林 NEP 最多 (72.79 TgC/a), 其次为广西 (18.49 TgC/a) 和广东 (10.01 TgC/a)。

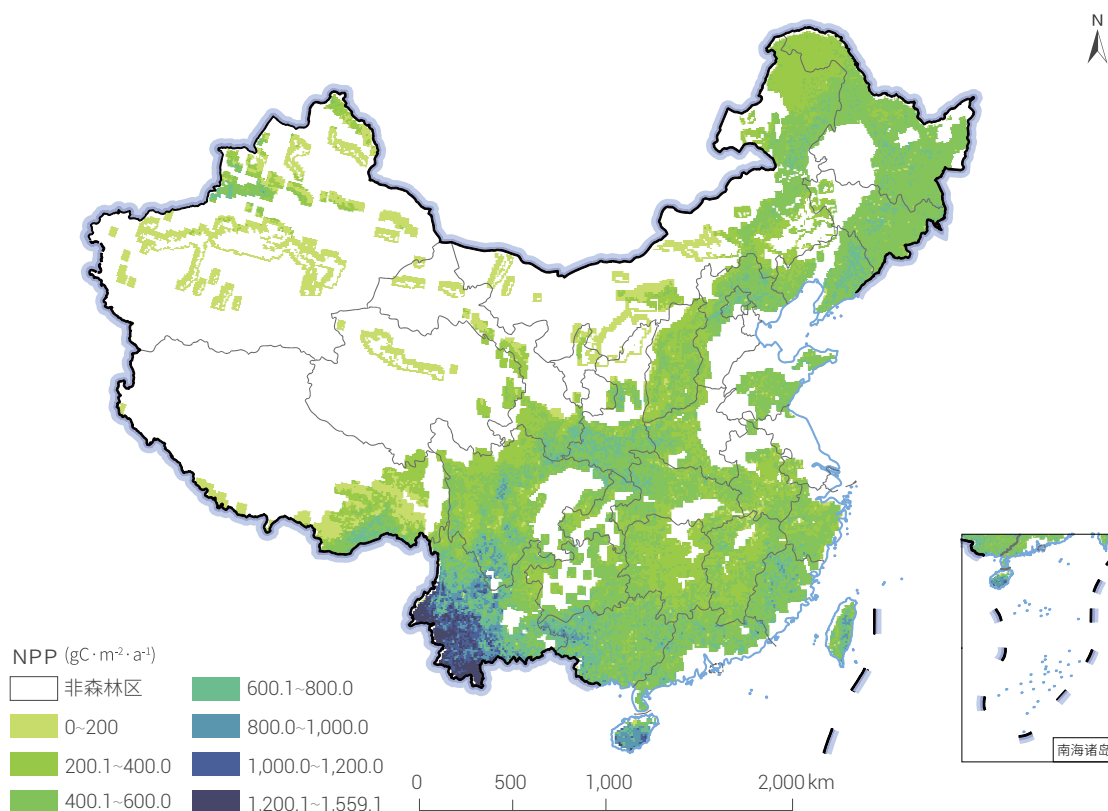


图 5-5. 2011~2019 年中国森林 NPP 平均分布情况

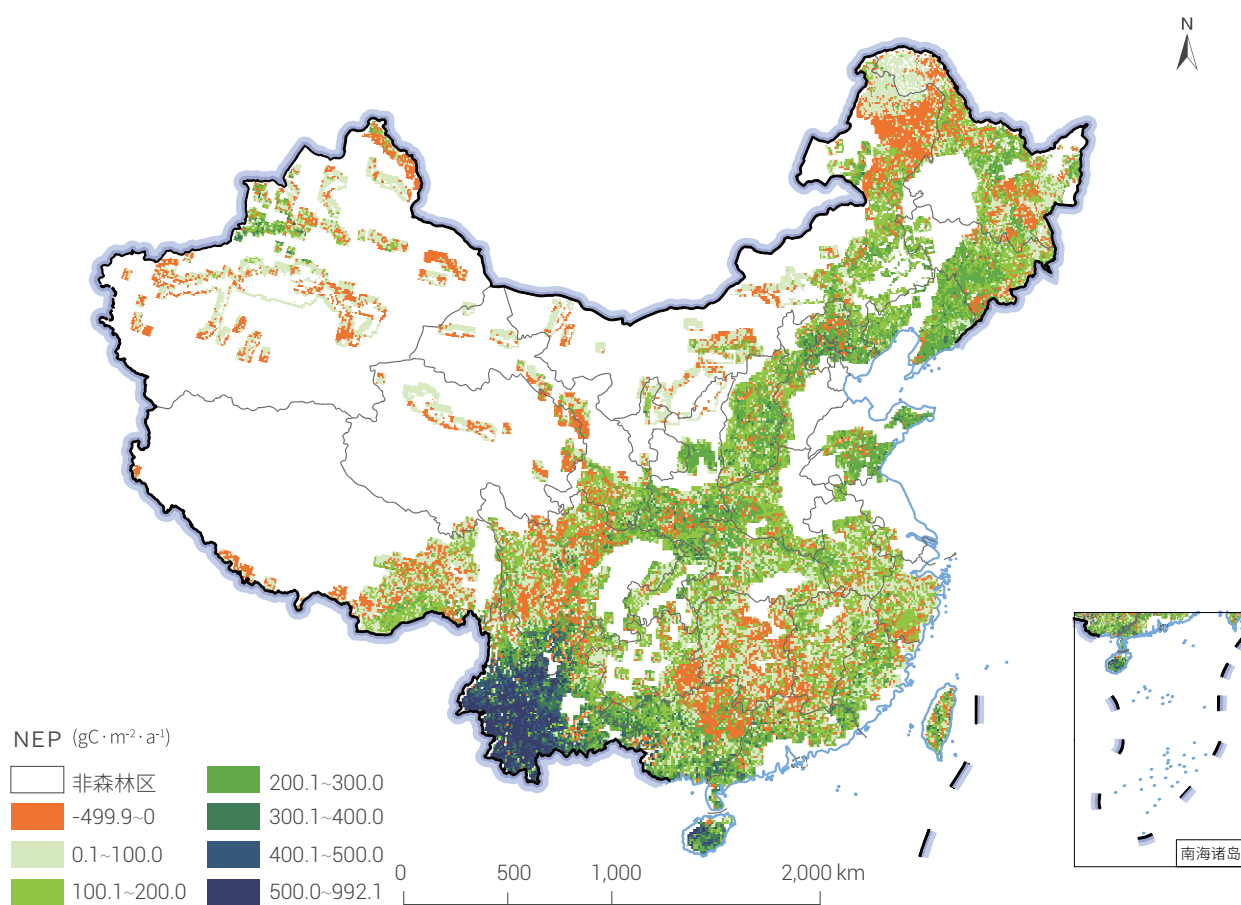


图 5-6. 2011~2019 年中国森林 NEP 平均分布情况

讨论与展望

案例基于国际共享数据集，利用基于个体生长过程的 FORCCHN 模型进行了中国森林 NEP 的动态评估。研究结果显示：与基准气候时段相比（1981~2010），2011~2019 年中国森林 NPP 总体上是增加的，增加最为明显的区域是西南和东南地区，增加了 3.10%~6.00%；过去的 39 年里中国森林生态系统总体是碳汇；各地森林 NEP 差异显著，其中 2011~2019 年云南省森林 NEP 最多（72.79 TgC/a），其次为广西（18.49 TgC/a）和广东（10.01 TgC/a）。案例研究结果可为准确地评估出森林在调节全球碳平衡以及维护全球气候等方面中的碳汇作用，为中国碳中和目标的实现提供重要信息支持，也为正确评价中国森林在生态环境建设中的作用及全球气候变化研究

等提供科学依据。

森林植被是陆地生物固碳的主体，具有成本低、碳汇量大和生态附加值高的特点。由此，国家通过造林绿化、天然林保护和修复等一系列举措，有效推进了森林蓄积量和碳汇量的大幅增加，进而在应对气候变化和实现碳中和目标方面发挥了越来越重要的作用。然而，目前各地的森林 NEP 差异较为显著。例如，西北地区作为我国的生态安全屏障和发展碳汇的重要阵地，其 NPP 和 NEP 相对其他区域仍偏低。因此，亟须通过加强森林抚育和科学的森林管理等措施来改善森林碳汇，以进一步提升气候变化背景下我国西北地区森林碳汇潜力。

土地覆盖变化对全球净生态系统生产力的作用

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

- 基于过程模型计算得到的净生态系统生产力（NEP）通常被用来描述碳汇的情况，本研究分析全球 NEP 的变化，发现 2001~2019 年期间，全球 NEP 整体增加显著。明显增加的区域主要分布在亚欧大陆的西北部及东北部、中国的南部及中部、南亚、中非、北美北部、南美西部等。
- 土地覆盖变化对 2001~2019 年全球 NEP 变化的作用显著，中国区域土地覆盖变化对 NEP 变化的重要性达 32%，其中森林的变化重要性达 17%，高于农田（8%）与其他用地类型（7%）变化。

案例背景

气候变化是人类面临的全球性问题，由于各国二氧化碳的排放，温室效应促使全球变暖显著，到 2020 年，全球大气中的 CO₂ 平均浓度已达到 415 ppm，较 1850 年左右工业化前的 285 ppm 水平大幅上升。在 1850~2020 年，全球平均地表温度上升了约 1.2℃。气温升高，加快极地冰川融化，海平面上升，自然灾害加剧，威胁人类和生物的生存（Chen, 2021; NOAA, 2020）。

陆地生态系统是气候系统的一个重要组成部分，其碳源碳汇构成和时空变化受到气候与人类活动等诸

多因素的影响（Chen *et al.*, 2019, Peng *et al.*, 2017）。分析碳源碳汇的情况，揭示陆地生态系统碳汇驱动机制，对碳中和政策制定具有重要的指导意义。基于北方生态系统生产力模拟器（Boreal Ecosystem Productivity Simulator, BEPS）计算得到的净生态系统生产力（NEP）通常被用来描述碳汇的情况，为此，我们研究分析 2001~2019 年全球 NEP 变化及其驱动机制，为应对气候变化提供宏观决策支持。

所用数据

◎ 2001~2019 年全球逐日最高气温、最低气温、平均相对湿度、日降水量、日总辐射、叶面积指数（Leaf

Area Index, LAI）、CO₂ 浓度、氮沉降；
◎ 年尺度 MODIS 的土地覆盖数据产品。

方法介绍

基于 BEPS 模型，利用逐日最高气温、最低气温、平均相对湿度、日降水量、日总辐射、LAI、CO₂ 浓度、氮沉降等数据计算 NEP，然后利用随机森林算法，计算土地覆盖变化、气候变化、CO₂ 变化与氮沉降变化对全

球 NEP 变化的重要性。另外，对中国区域，进一步分析森林、农田及其他植被，以及各气象要素、CO₂ 与氮沉降对 NEP 变化的重要性。

图 5-7.

2001~2019年陆地生态系统碳汇 (NEP) 年际变化

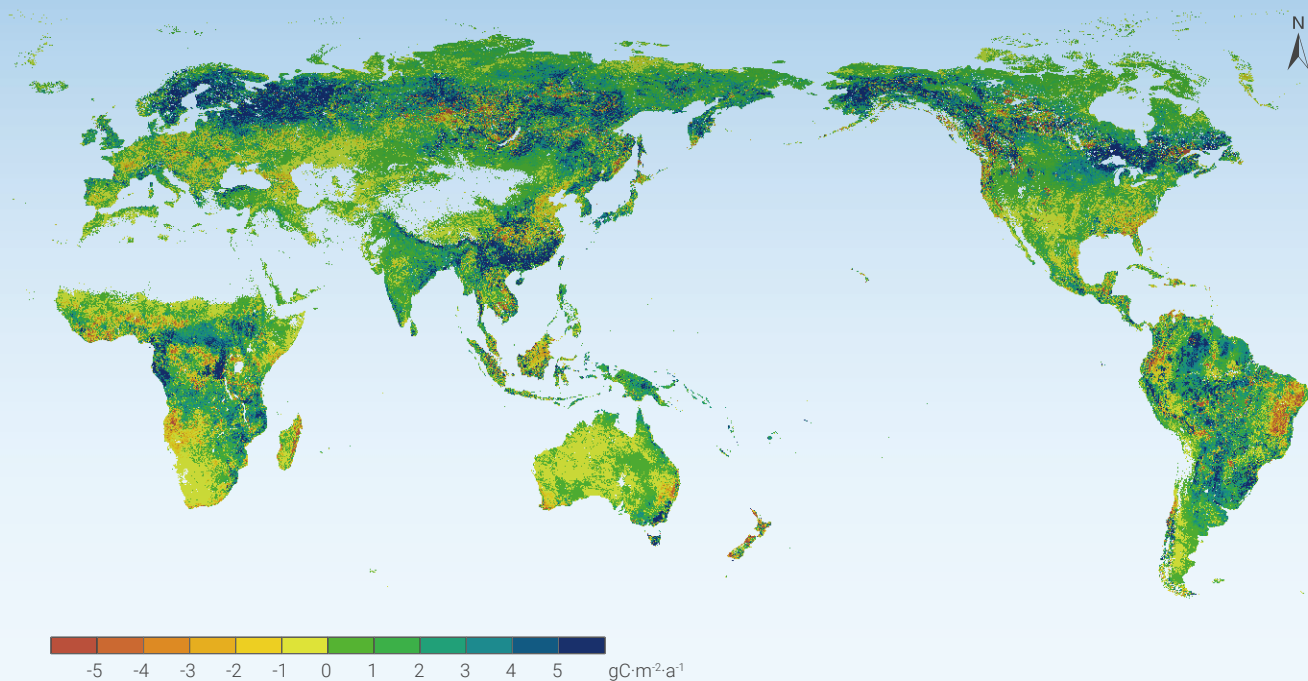
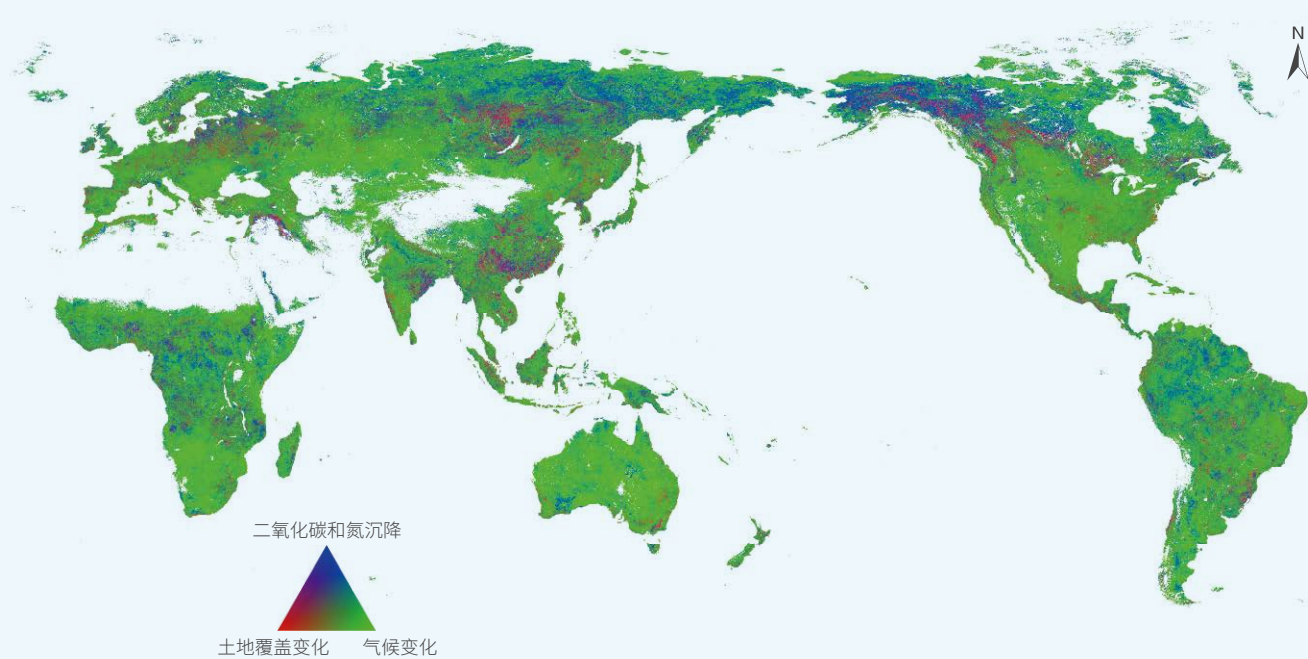


图 5-8.

2001~2019年土地覆盖变化、气候变化、二氧化碳和氮沉降变化对陆地生态系统碳汇 (NEP) 变化的贡献



结果与分析

1. 全球像元尺度 NEP 变化

2001~2019 年全球 NEP 年际变化率如图 5-7 所示，可以看出全球总 NEP 大部分区域呈现增加的趋势，尤其是中国的南部及中部区域、亚欧大陆西北部及东北部、南亚、中非、北美北部、南美西部等区域。总体而言，全球尺度 NEP 2001~2019 年呈现增加趋势，从 2001 年的 1.57 Pg，增加到 2019 年的 2.84 Pg，年际线性增加幅度是 0.08 Pg。中国区域增加显著，从 2001 年的 63.95 Tg，增加到 2019 年的 223.81 Tg，年际线性增加幅度是 8.72 Tg。

2. 全球陆地生态系统 NEP 驱动分析

主要驱动因素对陆地生态系统 NEP 变化的重要性如图 5-8 所示，土地覆盖变化对 NEP 影响主要在欧洲与北美的中高纬度区域、中国的中部及南部区域；气候变化起主要作用区域是在中亚、大洋洲、非洲南部；CO₂ 和氮沉降主要作用集中在中高纬度区域。对照图 5-7、5-8 可以发现，土地覆盖变化起主要作用的区域，其 NEP 值年际变化率都较大，如中国的南部及中部区域、亚欧大

陆西北部及东北部、北美北部等 NEP 呈现较大的增加趋势 ($>5 \text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)；有些土地覆盖变化，如在亚马逊等热带区域森林砍伐，会导致 NEP 降低，即土地覆盖变化对 NEP 形成负贡献；由于随机森林方法所计算的重要性没有区分正负效应，是正、负贡献绝对值之和，所以本研究所得到的全球土地覆盖变化对 2001~2019 年陆地生态系统 NEP 变化的重要性较大。

对于中国区域，研究分析发现土地覆盖变化对 2001~2019 年陆地生态系统 NEP 变化的重要性达 32%，气候变化对 NEP 变化的重要性约 32%，CO₂ 与氮沉降对 NEP 变化的重要性约 36%。土地覆盖变化中仅森林的变化贡献达 17%，高于农田（8%）与其他用地类型（7%）变化对 NEP 的贡献，这与中国在 2000 年以来，实施大量大规模的生态工程（如三北防护林、退耕还林工程、天然林保护工程等）贡献密切相关 (Bryan *et al.*, 2018; Chi *et al.*, 2019)。

讨论与展望

碳中和是指通过平衡或者消除二氧化碳的排放，阻止其在大气中的增加而导致全球变暖，从而实现的净零 CO₂ 排放。对于发展中国家而言，通过直接减排减少碳排放，一定程度上与经济相冲突，通过土地利用覆盖变化或植被生态系统固碳可以作为间接减排的一个战略选择。当然，除了减少化石燃料消耗外，发展风能、太阳能、生物质能、地热能、潮汐能和氢能等可再生能源，也是实现碳中和的有效途径。政策和经济引导是促进碳

中和的重要策略。植树和森林管理的成本比工业碳清除要低得多，增加土地碳汇是消除大气中二氧化碳含量的低成本选择。本研究在分析反映陆地生态系统碳汇变化的 NEP 及其驱动的基础上，重点分析土地利用覆盖变化对 NEP 的影响，为全球近几十年来从土地利用覆盖变化对 NEP 的影响给出定量指导意义。在未来更详细、更高精度历年土地利用覆盖变化数据支持下，这一定量研究结果将更加精确、更具指导意义。



全球海洋热含量变化

对应目标：13.3 加强气候变化减缓、适应、减少影响和早期预警等方面的教育和宣传，加强人员和机构在此方面的能力。

成果亮点

- 自主生产 1993~2020 年全球海洋热含量遥感数据集。
- 近 30 年，全球海洋上层 2000 m 暖化显著，且不断加剧，增暖速率为 $2.25 \times 10^8 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{decade}^{-1}$ 。2020 年全球海洋上层 2000 m 吸收了 $13.95 \times 10^{22} \text{ J}$ 热量（1993~2015 基准）。海洋中深层暖化速率高于上层，热量越来越多被中深海吸收。
- 全球增暖过程中各大洋盆都显著暖化，但存在一定的空间异质性。海洋热含量是当前衡量全球增暖的最有效指标，直接反应了全球气候变化。

案例背景

随着温室气体不断排放，全球增暖加剧，海洋作为全球气候的重要“调节器”在不断吸热暖化。海洋吸收并存储了全球增暖能量的 90% 以上，使得海水变暖热含量增加。最新研究表明：2020 年海洋升温持续，成为有现代海洋观测记录以来海洋最暖的一年（Cheng *et al.*, 2021）。同时，过去五年也是有现代海洋观测记录以来海洋最暖的五年，并且海洋暖化还在不断加速（Cheng *et al.*, 2019）。海洋暖化已对海洋生态系统与

人类可持续发展产生严重的影响，造成了海平面上升、极端事件加剧、珊瑚白化、海洋生态恶化等严重后果。海洋热含量（Ocean Heat Content, OHC）是衡量全球增暖的最直接、最有效指标之一，海洋热含量变化直接反映了全球气候变化。由于海洋内部观测数据的稀疏与不足，海洋暖化的估算与研究还存在较大不确定性与争议，需要中深海观测数据作支撑，亟须发展中深海遥感技术，准确反演全球海洋热含量变化。

所用数据

- ◎ 海表高度数据（Sea Surface Height, SSH），来自卫星海洋学存档数据中心（Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data, AVISO）的卫星高度计产品，空间分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ ，时间分辨率为每日，时间跨度从 1993 年至今；
- ◎ 海表温度数据（Sea Surface Temperature, SST），来自 NOAA 的最优插值海面温度（Optimum Interpolation Sea Surface Temperature, OISST）产品，空间分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ ，时间分辨率为每日，时间跨度从 1981 年至今；
- ◎ 海表风场数据（Sea Surface Wind Vector, SSW），采用多平台交叉校正（Cross-Calibrated Multi-Platform, CCMP）海洋风场数据，空间分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ ，时间分辨率为每日，时间跨度从 1987 年至今；
- ◎ 来自于 ARGO 的浮标实测数据，覆盖了全球海洋上层 2000 m 的温度观测资料，空间分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$ ，时间分辨率为每月，时间跨度为 2005 年至今。

方法介绍

综合海表卫星遥感观测与 ARGO 浮标观测资料，利用神经网络方法构建适用于全球尺度、多层位、长时序的海洋热含量遥感反演模型。对模型进行一系列的输入因子的敏感性测试和网络结构的优化，从而生成最优遥感反演模型。基于此模型，重建了一套全新的 1993~2020 年长时序全球海洋热含量遥感数据集（OPEN，海洋上层 2000 m、时间分辨率逐月、空间

分辨率 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ），提高了海洋热含量测算精度，弥补了 ARGO 观测在时序长度上的局限，填补了前 ARGO 时期海洋观测的稀疏与空白。基于 OPEN 数据，以时序增暖速率、线性变化趋势以及空间异质性等多个角度对海洋热含量变化进行分析，定量了解全球增暖下的海洋暖化现状、特征与过程。

结果与分析

利用卫星遥感 + 神经网络重建的 OPEN 数据集，以 1993~2015 年为参考基准，分别计算全球海洋不同深度范围的热含量异常变化趋势（图 5-9）与变化速率（图 5-10）。图 5-9 展示了 1993~2020 年全球海洋上层 2000、1500、700 和 300 m 热含量异常变化趋势。分析发现：近 30 年，全球海洋上层 2000 m 暖化显著，且不断加剧，增暖速率为 $2.25 \times 10^8 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{decade}^{-1}$ 。而全球海洋上层 1500 m、700 m、300 m 增暖速率分别为 $2.22 \times 10^8 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{decade}^{-1}$ 、 $1.76 \times 10^8 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{decade}^{-1}$ 、 $1.37 \times 10^8 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{decade}^{-1}$ 。越深层位暖化速率越高，说明海洋中深层暖化速率高于上层，热量越来越多被中深海吸收。2010 年、2015 年、2020 年全球海洋上层 2000 m 分别吸收了 3.25×10^{22} 、 8.19×10^{22} 、 $13.95 \times 10^{22} \text{ J}$ 热量（以 1993~2015 年为基准），说明近 10 年（2010~2020 年）全球海洋上层 2000 m 吸热高达 $10.70 \times 10^{22} \text{ J}$ ，同时保持着快速的增暖趋势。全球增暖下海洋暖化形势严峻，如此巨大的热量存储将对海洋生态系统、海平面上升及人类可持续发展构成严重威胁。

图 5-10 展示了 1993~2020 年全球海洋上层 2000 m

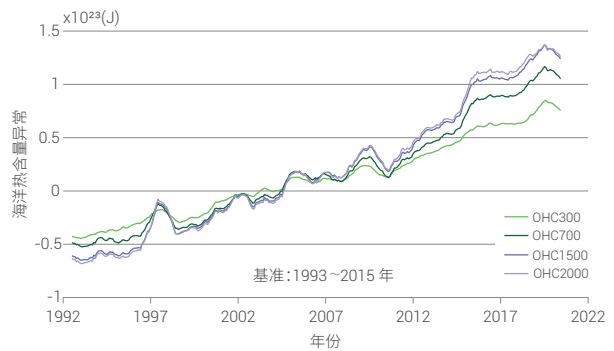
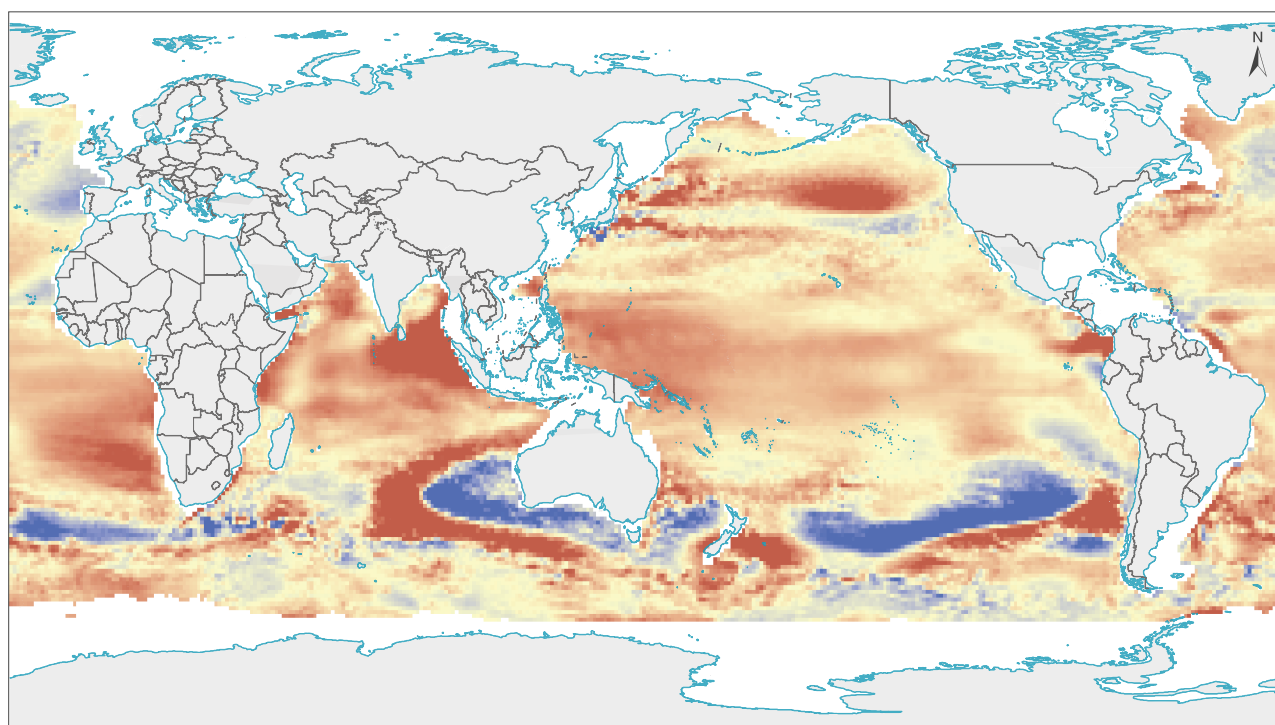


图 5-9. 1993~2020 年全球海洋上层 2000 m、1500 m、700 m 和 300 m 热含量异常变化趋势

热含量变化速率的空间分布。结果表明：近 30 年，全球增暖过程中各大洋盆（包括太平洋、大西洋、印度洋和南大洋）都显著暖化，呈现明显的全球范围整体增暖现象，但存在一定的暖化空间异质性。不同洋盆的暖化特征有所差异，局部海域也存在一定的变凉现象。海洋热含量是当前衡量全球增暖的最直接、最有效指标。研究全球增暖需要更多关注海洋热含量变化，尤其是中深海的热含量变化。加强对中深海的观测，提高中深海观测精度，比以往任何时候都更加迫切。



高: 2.7×10^9
低: -2.0×10^9

海洋热含量变化速率
单位: $\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{decade}^{-1}$

↑ 图 5-10. 1993~2020 年全球海洋上层 2000 m 热含量变化速率

讨论与展望

海洋作为全球增暖的“储热器”，对全球气候变化起到“调节器”的重要作用。海洋热含量变化是衡量气候变化的最有效指标，直接反应了全球增暖状况，了解全球增暖必须要关注海洋暖化。加强对海洋中深层的观测是提高海洋热含量估算精度的重要保障，也是降低海洋暖化分析不确定性的重要措施，对于深刻认识全球增暖与应对全球气候变化有重要意义。海洋暖化将严重威胁海洋生态系统（导致珊瑚礁白化、渔业生产力下降），加剧极端气候事件发生（超强台风频次增加、极端热浪事件频发），造成海平面上升（威胁海岛、海岸带生存

空间），并最终影响人类可持续发展。海洋暖化引发的系列生态环境问题应给予更多的关注与宣传。

近年来，不断加剧的海洋暖化现象表明：全球增暖是不争的事实，全球增暖仍在持续且形势严峻，人类应对气候变化仍面临严峻挑战。解决全球变暖的最终方法是减少二氧化碳等温室气体排放，践行碳达峰、碳中和目标是人类应对气候变化、降低全球增暖风险的最有效措施。海洋暖化揭示的全球增暖状况再次表明：实现《巴黎协定》的控温目标依然任重道远，需要全人类的共同努力。



本章小结

本章围绕抵御气候相关灾害（SDG 13.1）、应对气候变化举措（SDG 13.2）、气候变化适应和预警（SDG 13.3）三个主题，通过地球大数据方法，开展了中国和全球应对气候变化的进展研究，生成了全国沙尘暴空间数据集、温室气体数据集、森林 NEP 数据集，以及全球 NEP 变化数据集、全球海洋热含量数据集。

通过案例的研究，我们得出以下主要结论：

（1）在抵御气候相关灾害方面，气候变化带来的极端天气，正导致各地灾害风险的增加，但只要科学面对，可以将其对粮食安全、人类生活的影响降到最低。近 10 年来，沙尘暴发生的频次呈波动下降趋势，主要原因在于北方植被覆盖增加，固沙能力增强，正是中国有效应对气候相关灾害的体现。

（2）在应对气候变化举措方面，人类的减排仍然是控制全球升温最紧迫的工作；在减少排放的同时，通过

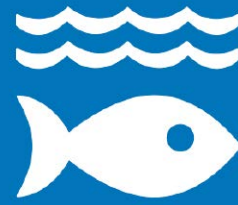
增加自然环境的生态碳汇，也是减少 CO₂ 浓度的重要手段。中国的 CO₂ 排放自 2015 年以来，仍在不断增加，但增加趋势放缓。2020 年由于新冠疫情的影响，排放量比 2019 年略有下降；气候变化正使近 10 年中国森林的固碳能力增强；全球的陆地生态固碳能力也显著增强。

（3）在气候变化适应和预警方面，气候变化正对地球多圈层带来深刻影响，海洋的升温及其未来的影响尤其需要警惕。近 30 年来，全球海洋热含量不断上升，且不断加剧，需要加强海上超强风暴、海平面上升、海洋生态环境方面的预警。

气候变化正使人类可持续发展面临前所未有的威胁。科学技术是人类应对气候变化的关键，尤其地球大数据可以为应对气候变化提供丰富的灾害时空分布数据、碳源和碳汇数据、多圈层响应数据，为未来决策和预警提供依据，为人类减缓和适应气候变化的影响提供支持。



STAR 4



SDG 14 水下生物

| | |
|------------|-----|
| 背景介绍 | 96 |
| 主要贡献 | 97 |
| 案例分析 | 98 |
| 本章小结 | 108 |



背景介绍

海洋生态系统的安全，直接关系到全人类的健康和福祉。2015年，可持续发展目标14“保护和可持续利用海洋和海洋资源以促进可持续发展”（SDG 14）被写入联合国2030年可持续发展议程，并成为国际社会关注的热点问题之一。

从全球范围来看，至今，SDG 14大部分具体目标的实施效果并不理想。2021年4月21日联合国发布的《第二次全球海洋综合评估》报告结果显示：2015年以来，来自人类活动的许多压力继续使海洋生态系统退化，如红树林和珊瑚礁。压力主要包括与气候变化相关的影响、不可持续的捕捞、入侵物种的引入、造成酸化和富营养化的大气污染、过度输入营养物质和有害物质、越来越多的人为噪音以及管理不善的沿海开发和自然资源开采等（UN, 2021c）。联合国秘书长安东尼奥·古特雷斯在报告发布会上呼吁世界各国和所有利益相关者要进一步关注报告提出的警示。

中国政府一直高度重视和支持联合国海洋可持续发展的相关议程。在加快建设海洋强国等战略目标引领下，

中国海洋事业飞速发展，在大力减少海洋污染、科学恢复海洋生态、合理扩展海洋经济等方面都取得了显著的成果。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严峻的挑战，需要更好地利用数据和创新技术服务SDG 14的实施。

地球大数据具有宏观、动态监测能力，已成为我们认识海洋的新钥匙和知识发现的新引擎（Guo *et al.*, 2016）。过去2年利用地球大数据及其相关技术方法，在服务SDG 14实现方面做了大量的努力和探索，在数据集生产、评估模型构建等方面积累了较好的实践经验。本报告在延续2019年、2020年模型方法、区域和全国评估示范的基础上，围绕SDG 14.2保护海洋生态系统子目标，评估了中国实施红树林保护、滨海养殖池管理和藻华监测预警的成效。本报告中各案例研究成果能够为准确把握海洋可持续发展相关重大问题，并制定应对策略，提供新的数据和技术支撑。



主要贡献

利用地球大数据，重点围绕保护海洋生态系统（SDG 14.2）子目标，在中国近海及典型地区开展指标监测与评估，通过三个案例提供相关的数据产品、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 |
|---|--------------|---|
| 14.2 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 | 黄海大型藻藻华监测和预警 | <p>方法模型：黄海大型藻藻华监测和预警方法体系，包含基于地球大数据云平台的漂浮藻类空间分布快速提取方法，及基于四维变分同化预报模式的大型藻藻华漂移轨迹实时预测方法</p> <p>决策支持：为沿海地市有害藻华灾害预警预测与综合决策提供信息支持</p> |
| | 中国红树林动态变化 | <p>数据产品：2015 年、2018 年、2020 年中国国家尺度红树林空间分布数据集</p> <p>方法模型：基于机器学习的红树林快速提取方法</p> <p>决策支持：周期性监测海岸带红树林空间分布、为保证海洋生态系统的生物多样性和抵御灾害能力提供支持</p> |
| | 中国滨海养殖池动态变化 | <p>方法模型：基于地球大数据和云平台的大尺度滨海养殖池快速识别方法</p> <p>决策支持：解析滨海养殖池的时空变化特征，能为海岸带和水产养殖业的可持续管理决策制定提供科学支撑</p> |



案例分析

黄海大型藻藻华监测和预警

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

- 构建了大型藻藻华动态监测和预测预警技术方法体系，并在 2021 年 5~7 月黄海海域浒苔绿藻的监测预警中得到具体应用。
- 通过地球大数据云平台实现漂浮藻类空间分布遥感快速提取，辅助基于四维变分同化预报模式的大型藻藻华漂移轨迹实时预测，可为黄海区域沿海地市有害藻华灾害监测预警提供有效的信息支撑。

案例背景

2007 年以来，我国黄海海域连年发生以大规模绿潮为代表的大型藻藻华，对南黄海西部沿海一线的景观、环境和养殖业造成了严重破坏，成为黄海海域常态化的海洋生态灾害问题。为应对黄海浒苔绿潮灾害，在大量前期研究工作取得科学认识的基础上（Liu *et al.*, 2009; Zhou *et al.*, 2015），自然资源部、生态环境部联合山东、江苏省政府采取了源头治理、早期防控、监测预警、打捞拦截和资源化利用等系列应对措施，2020 年浒苔绿潮

灾害防控问题取得巨大突破，绿潮生物量和分布范围较前几年有明显降低。2021 年 6 月，黄海海域大规模浒苔绿潮再度暴发，反映了大型藻藻华治理的复杂性。因此，有效开展黄海海域大型藻藻华动态监测和预警意义重大。本案例通过卫星遥感手段对大型漂浮藻藻华进行遥感快速识别，基于四维变分同化预报模型对藻华漂移轨迹进行预测，为黄海大型藻藻华防控提供决策支持。

所用数据

- ◎ MODIS 反射率产品 MOD09GA（2021 年）；
- ◎ Sentinel-2 光学影像（2021 年）；
- ◎ 高分系列、海洋系列卫星光学影像（2021 年）；
- ◎ 混合坐标海洋模式（HYbrid Coordinate Ocean Model, HYCOM）全球模式 1/12° 数据；
- ◎ 美国国家环境预报中心的全球预报系统（Global Forecast System, GFS）数据；
- ◎ 法国国家空间研究中心卫星海洋学存档数据中心的卫星海表面高度数据；
- ◎ 高分辨率海表温度组（Group for High Resolution Sea Surface Temperature, GHRSSST）的红外和微波融合海表面温度格点数据；
- ◎ ARGO 温盐廓线观测数据；
- ◎ 中国科学院海洋研究所近海浮标观测网络黄海站温度、盐度实时观测数据。

方法介绍

1. 基于卫星遥感的大型藻藻华空间分布近实时监测

基于地球大数据云平台，通过对 MOD09GA、Sentinel-2、高分 1 号等卫星影像通过去云、去空值、陆地边界裁剪、水域掩膜、NDVI 植被指数计算、阈值选择、人工判别等运算处理，获取黄海海域漂浮大型藻准实时空间分布数据集；通过创建 1 公里矢量网格，对大型藻藻华空间分布进行分区统计，并将该产品转换为矢量数据（点），作为四维变分同化预报模式输入图层（漂流物）对大型藻藻华漂移轨迹进行实时预测。

2. 基于四维变分同化预报系统的大型藻藻华漂移轨迹预测

采用更适于近岸地区和中尺度及亚中尺度过程模拟的区域海洋模型系统（Regional Ocean Modeling System, ROMS）四维变分同化技术，以 HYCOM 数据作为边界

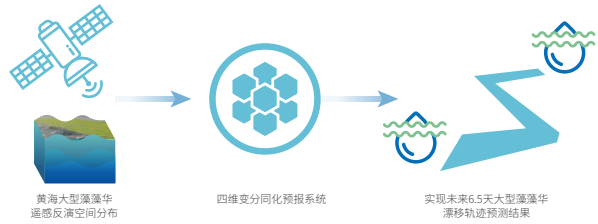


图 6-1. 基于四维变分同化预报模式的漂浮藻类轨迹实时预测技术路线

条件、GFS 数据作为强迫场，同化了海表面温度、海表面高度、ARGO 和中国科学院近海浮标观测数据，得到最优初始场。模式初始场结合 HYCOM 和 GFS 提供的预报场，加入潮汐强迫，能够给出未来 6.5 天的预测结果。技术路线如图 6-1 所示，通过将遥感反演的藻华分布作为漂流物加入到模式中，随模式积分的过程，不断给出藻华随洋流漂移的全轨迹，但该系统目前暂未考虑藻华自身生消和人为打捞等因素。

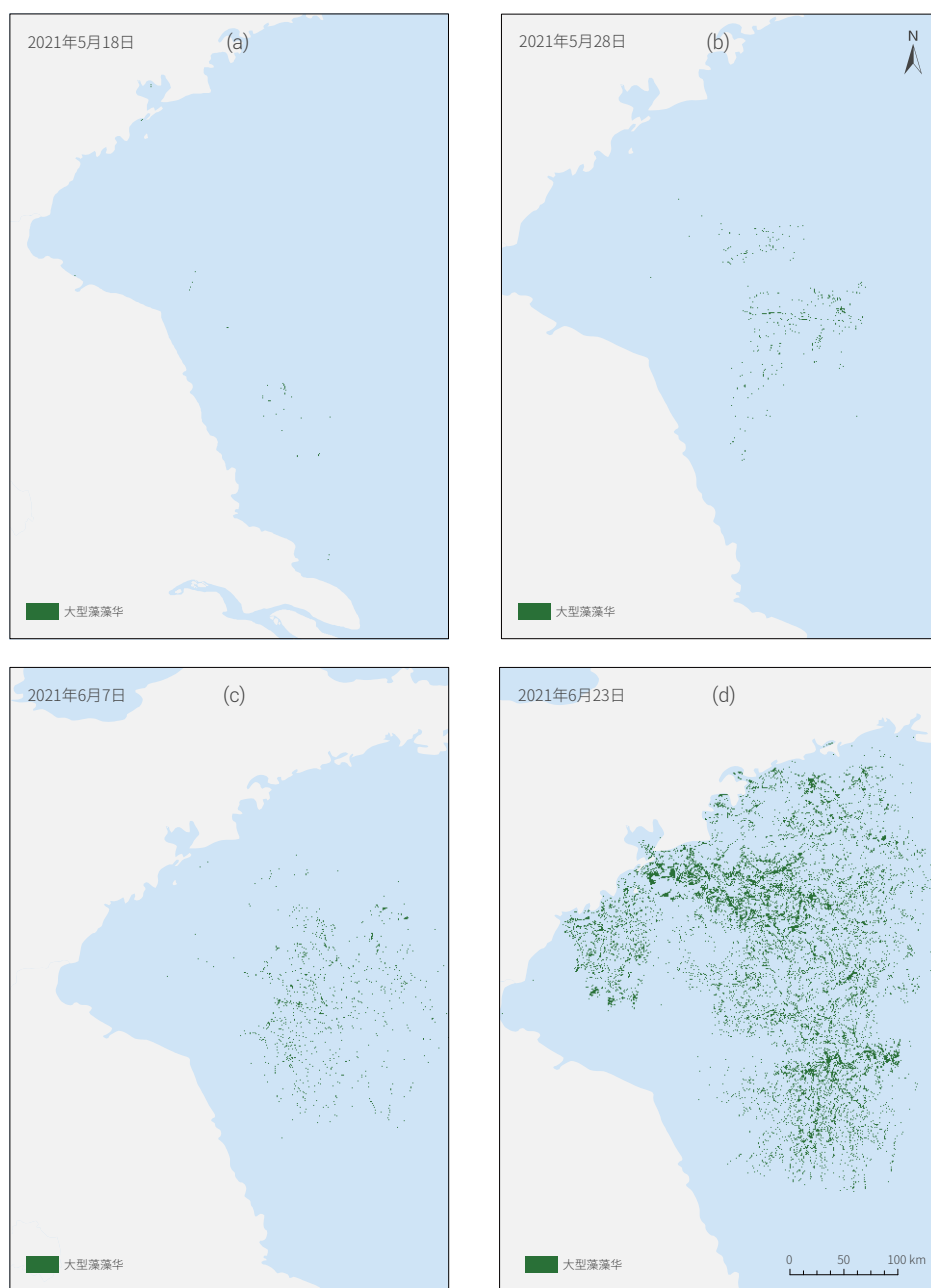
结果与分析

基于地球大数据云平台的黄海海域漂浮大型藻空间分布快速更新方法，本案例获取了 2021 年 5~6 月浒苔空间分布数据产品，选取 5 月 18 日、5 月 28 日、6 月 7 日、6 月 23 日四期云层覆盖较少的数据产品进行分析展示，结果如图 6-2 所示。

2021 年 5 月 18 日，苏北浅滩附近海域首次通过遥感手段监测到大型漂浮藻类；自首次发现后 10 天时间内，大型藻藻华生长迅速，到 5 月 28 日分布面积增加约 30 倍；到 6 月 7 日，已有少量浒苔漂抵山东半岛南岸日照

和青岛附近海域；截至 6 月 23 日，漂浮藻类分布面积已达 2500 km²。

漂移轨迹预测过程中，选取遥感监测所得的大型藻藻华作为输入信息，基于四维变分同化预报系统模型进行连续叠加，预测得到的藻华分布位置与当日遥感监测到的藻华漂移轨迹基本一致。相关监测和模拟预测结果已及时提交给浒苔防治业务部门，为 2021 年浒苔绿藻灾害的防治和处置提供了信息和技术支撑。



↑ 图 6-2. 2021 年 5~6 月遥感反演大型藻类空间分布
(a) 5 月 18 日；(b) 5 月 28 日；(c) 6 月 7 日；(d) 6 月 23 日

讨论与展望

本研究构建的黄海大型藻类监测和预测方法体系，包含基于地球大数据云平台的漂浮藻类空间分布遥感快速提取方法，和基于四维变分同化预报系统的大型藻类漂移轨迹短期预测方法。该方法体系在 2021 年 5~7 月黄海海域浒苔绿藻爆发监测和预警中得到检验和应用，表明该方法体系能够为沿海地市藻类灾害的预警和防控

提供决策支持。

未来计划进一步探究黄海大型藻类空间分布与该海域养殖筏架、水温、盐度等环境要素的关系；完善基于四维变分同化预报系统的大型漂浮藻类漂移轨迹预测方法，耦合藻类生物量增长信息，形成可为沿海地市大型藻类预报预警提供完善、高效的辅助决策支持系统。

中国红树林动态变化

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

- 提出了基于机器学习的红树林快速提取方法，分析了 2015 年、2018 年和 2020 年中国红树林空间分布及变化特征。结果表明，2015~2020 年间，中国红树林面积净增长 16%，广东和广西沿岸红树林增加最为显著，另外，自然保护区内的红树林得到了良好的保护和恢复。自 SDGs 实施以来，中国红树林保护和恢复的成效显著。

案例背景

红树林是生长在热带、亚热带海岸潮间带或河流入海口的湿地木本植物群落，是全球生产力最高的生态系统之一（贾明明等，2021）。由于其独特的海陆过渡特征，红树林在维持滨海生态稳定、促进海陆能量循环中起着重要作用，被列为国际湿地生态保护和生物多样性保护的重要对象（Jia *et al.*, 2018）。红树林生态系统的破坏将导致沿海居民易暴露于台风、海啸等自然灾害面前，大量动物将无处繁殖和栖息。红树林的保护、恢复和可持续管理对 SDG 14.2 的实现具有重要作用。

本研究研发集成面向对象方法与随机森林算法的国家尺度红树林遥感分类技术，结合专家知识，构建 10 m 分辨率的 2015 年、2018 年、2020 年中国红树林空间分布数据集；解析中国红树林空间分布和面积的变化。本研究的成果可为 SDG 14.2 提供可靠的研究方法和数据产品，直接支持 SDG 14.2 的评估，为中国制订红树林乃至滨海生态系统的保护和修复策略奠定科学和数据基础。

所用数据

- ◎ 2015 年、2018 年和 2020 年覆盖中国红树林区的多时相 Sentinel-2 多光谱影像；
- ◎ 数字高程模型、行政区划矢量数据、1:100 万植被类型图、海岸线矢量数据；
- ◎ 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随机森林算法的湿地分类技术，结合后期人工修改，进行国家尺度红树林分类。主要流程包括：根据 2015 年中国海岸线做向海 2 km 和向陆 5 km 的缓冲区作为筛选影像的范围，选取红树林与其他植被易区分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、利用随机森林方法对红树林进行提取、结合海量野外调查样点对分类结果进行检查和修正。具体为：①选取非雨季、低潮且互花米草枯萎时期的无云影像（11 月~次年 2 月）；②分别选取 2015 年（40 个红树林，127 个非红树林）、2018 年（60

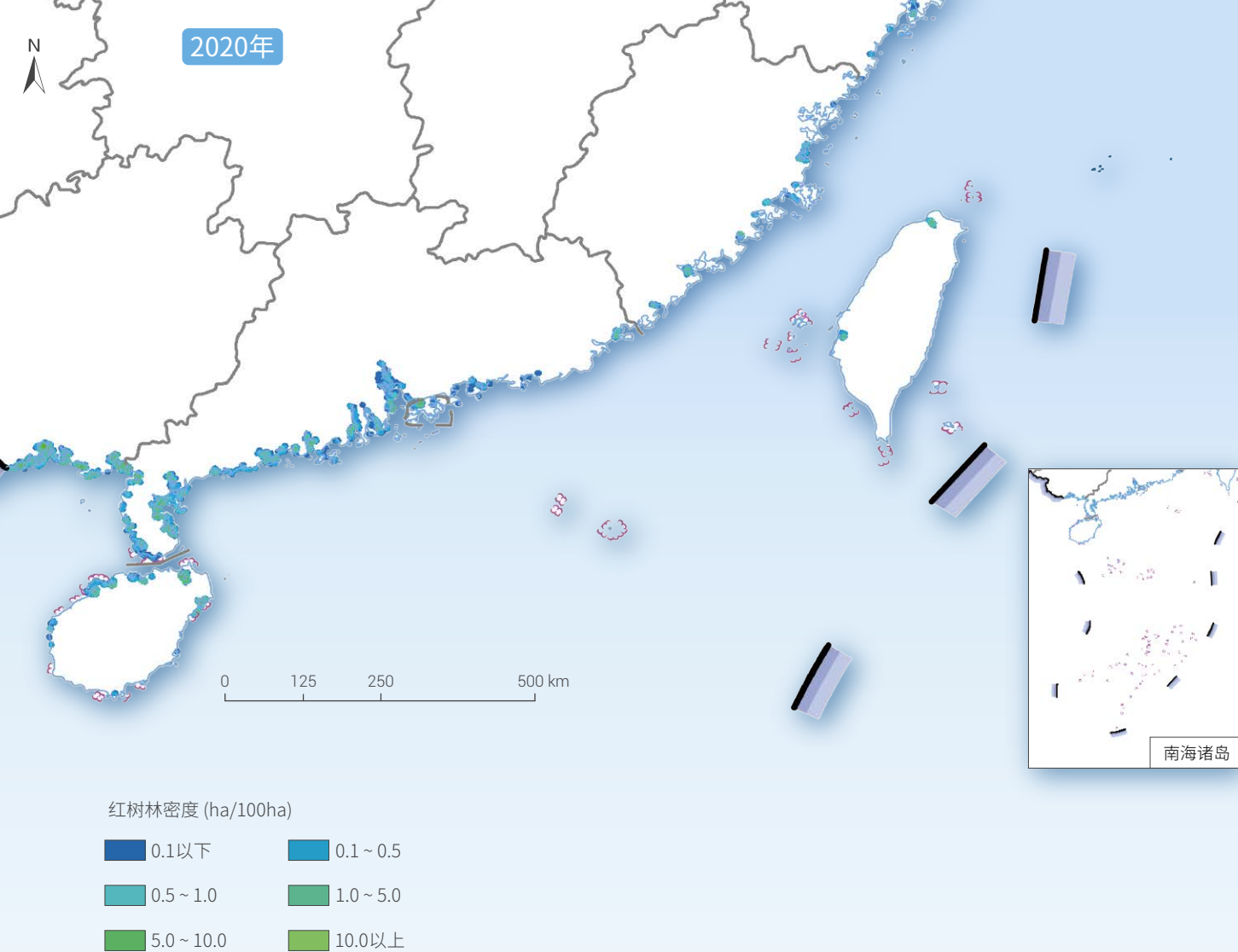


图 6-3.

● 中国红树林空间分布图

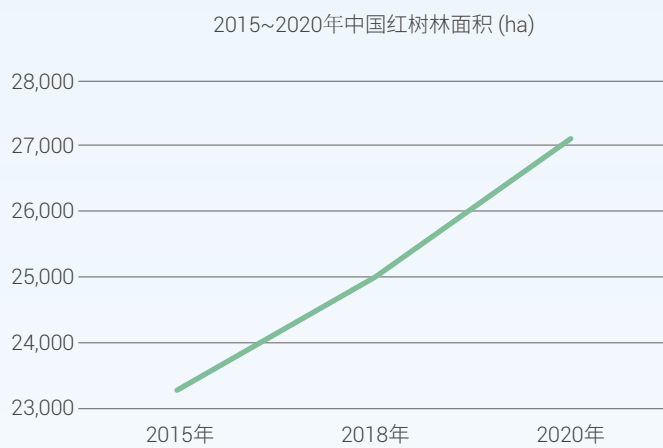
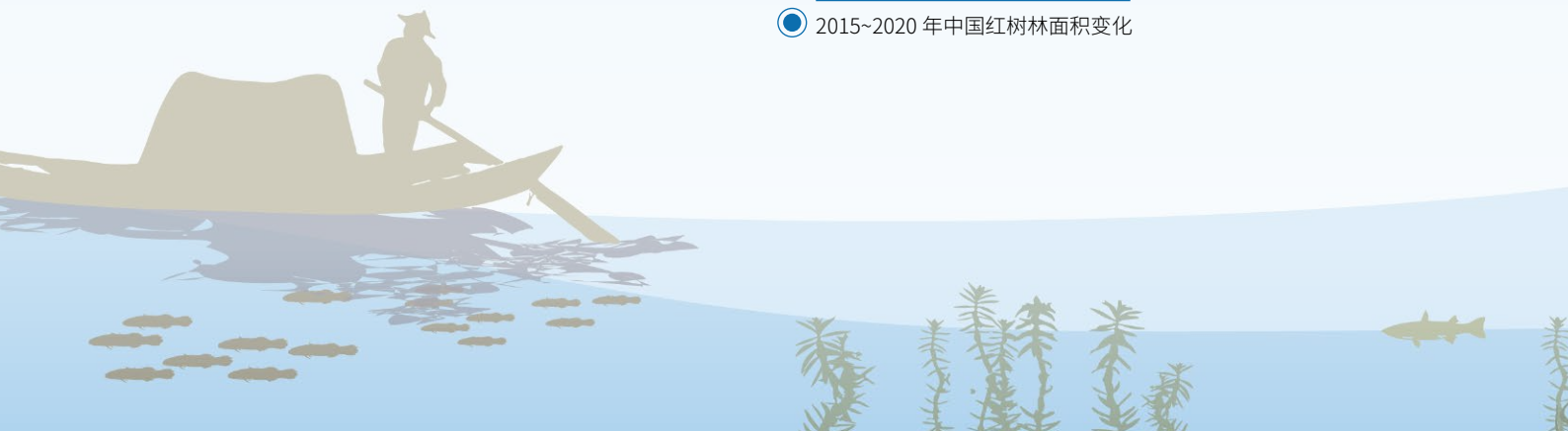
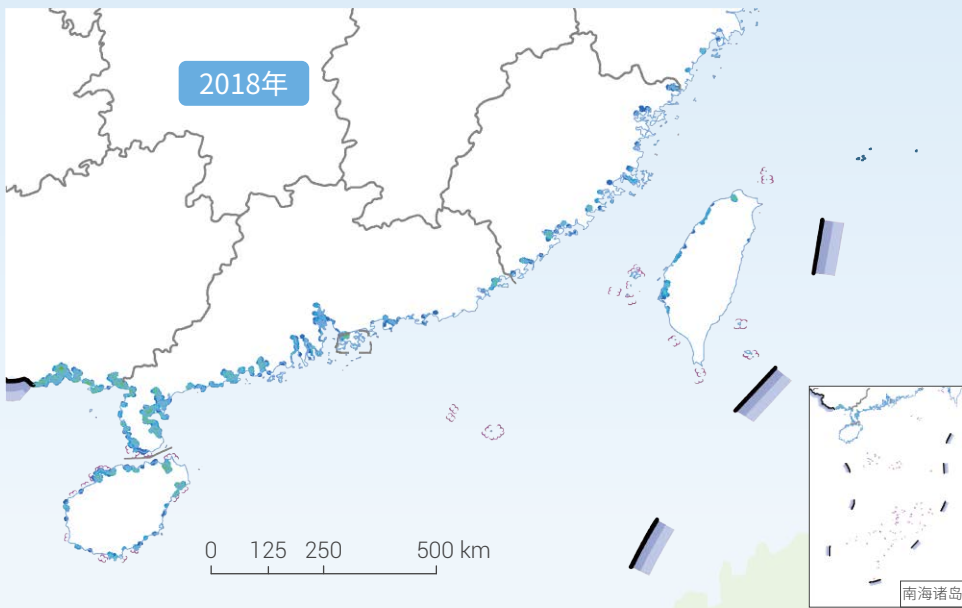
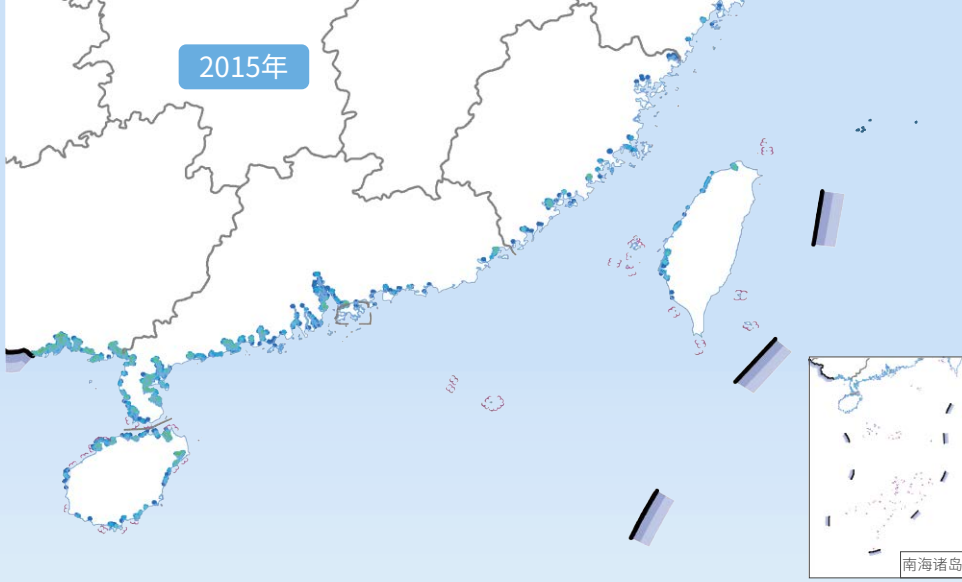


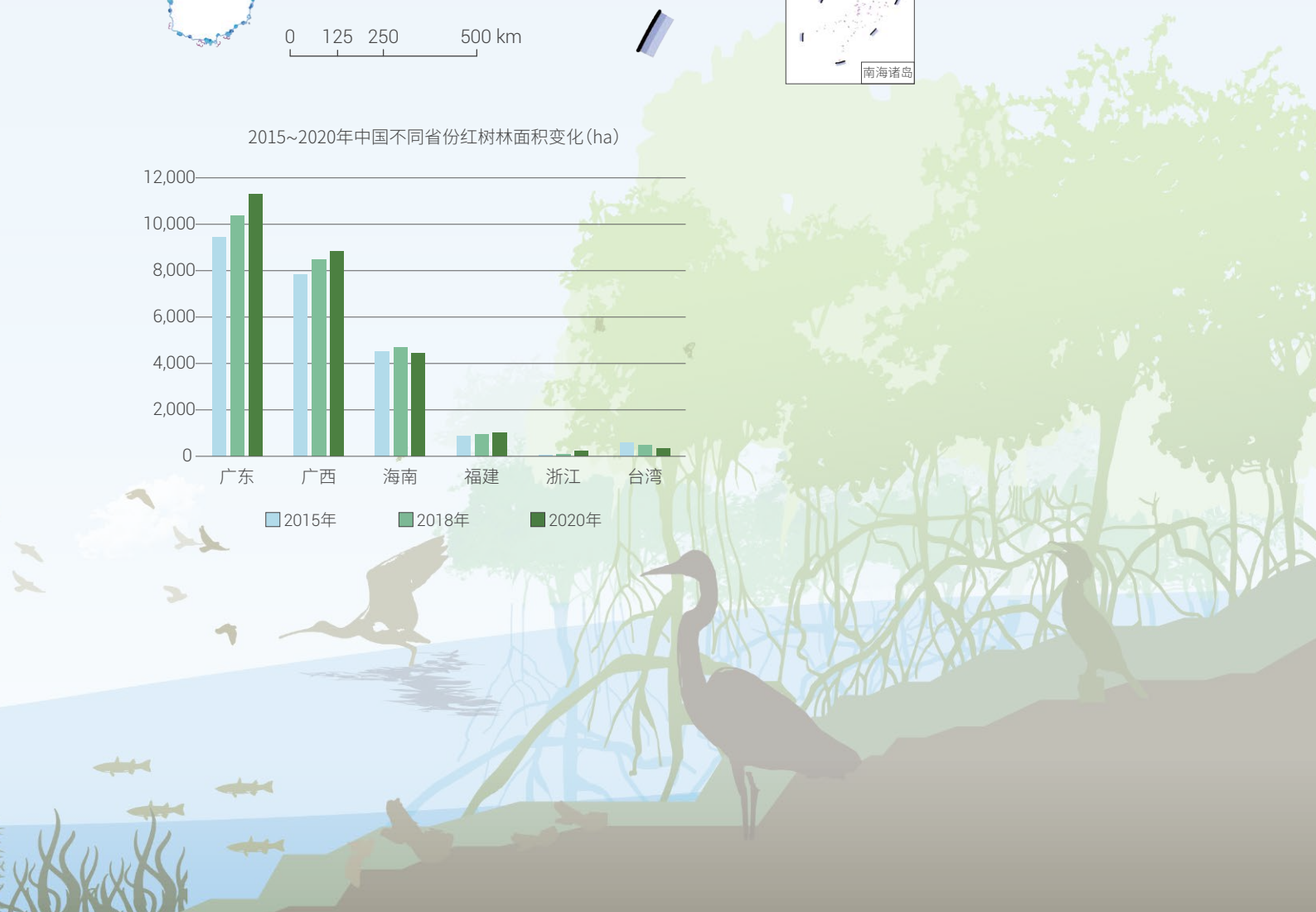
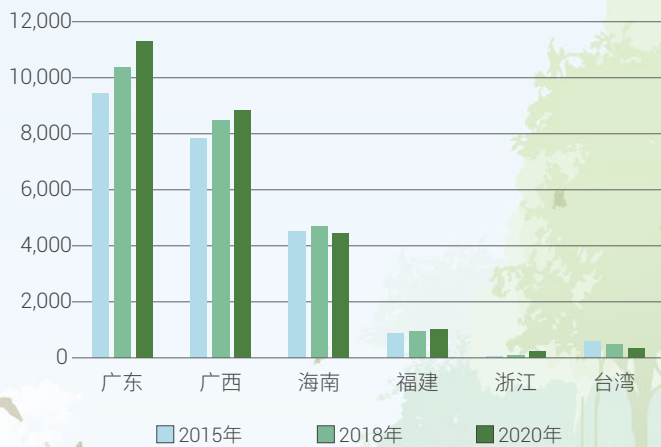
图 6-4.

● 2015~2020 年中国红树林面积变化





2015~2020年中国不同省份红树林面积变化(ha)



个红树林，226 个非红树林）和 2020 年（60 个红树林，331 个非红树林）的野外调查点作为随机森林分类的样本点；③分类训练时选取光谱特征 14 个和纹理参数 5 个。

最终获得 2015 年、2018 年和 2020 年的中国红树林

分布数据集。经 5000 余个野外调查样点验证，2015 年、2018 年和 2020 年中国红树林的总体分类精度分别为 92%，95% 和 96%。

结果与分析

1. 2015~2020 年中国红树林空间分布格局及其变化

2015~2020 年中国红树林空间分布如图 6-3 所示。广东、广西、海南的红树林分布较为广泛。中国红树林天然分布北界为福建省福鼎市（27°20'N），人工引种最北界为浙江省舟山鲁家峙岛（29°32'N）。2015~2020 年，中国红树林分布范围不断扩张，红树林增加的区域主要位于广西沿海、广东阳江市以及浙江局部地区；红树林损失的区域主要位于广东雷州半岛、广西钦州以及海南西北部沿海。

2. 2015~2020 年中国红树林面积及其变化

2015~2020 年中国红树林面积及其变化如图 6-4 所示。红树林面积最大的省份是广东，其次是广西和海南，2020 年这三个省区红树林面积占中国红树林总面积的 94%。2015~2020 年，中国红树林净增长了 16%。其中广东、广西红树林面积明显增加，福建、浙江红树林略有增加，海南红树林先增加后略有减少，台湾红树林呈减少趋势。

讨论与展望

在技术方法和数据方面，本研究研发了集成面向对象方法与随机森林算法的国家尺度红树林分类技术，后期经过人工修改，实现了 2015 年、2018 年和 2020 年中国红树林的高精度提取。该方法具有较好的可移植性，可以快速准确地提取红树林，适用于长期密集时序地跟踪红树林相关 SDGs 的实施情况。本案例的数据可为国家尺度 SDG 14.2 的评估提供重要的科学数据，并在未来持续更新数据，为 SDGs 评估提供基础数据支撑。

在决策支持方面，本研究发现：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做出了重要贡献；② 2015~2020 年，中国红树林增长主要发生于广西和广东沿海等区域。本研究的结果不仅可以支持 SDG 14.2 的科学评估，还将为中国红树林生态系统保育与科学管理的重要决策依据。在未来还可支持 SDG 6.6、13.1、14.5、15.2、15.5、15.8 和 15.9 的决策和评估。

中国滨海养殖池动态变化

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

- 应用地球大数据云服务计算平台，研发了一套集成面向对象方法与多层决策树分类的滨海养殖池高精度、快速提取技术方法。
- 分析了 2015 年、2018 年和 2020 年中国滨海养殖池空间分布及变化特征。结果显示：2015~2020 年间中国滨海养殖池的时空变化异质性明显，在退塘还湿等政策驱动下，中国滨海养殖池面积总体呈现持续下降趋势。

案例背景

改革开放以来，我国水产养殖业迅猛发展，滨海养殖池的快速扩张有力地支撑了沿海地区社会经济的快速发展，但也造成了滨海天然湿地的损失，进而对水鸟生境等产生重要影响（Ren *et al.*, 2019）。精准监测中国滨海养殖池空间分布的时空动态，对于支撑近海生态系统可持续管理等具有重要的科学和现实意义。然而，作为世界上人口最多、面积最大的发展中国家，中国尚缺乏国家尺度、精准的滨海养殖池空间分布数据集；尤其是在加强滨海生态保护的政策实施背景下，2015 年以来滨海养殖池的时空变化评估还比较匮乏。

本案例研发了集成面向对象方法与多层决策树分类技术（Hybrid Object-based and Hierarchical Classification approach, HOHC），构建了滨海养殖池空间分布数据集（10 m 空间分辨率）；解析了滨海养殖池在 2015~2018~2020 年期间变化的时空异质性。本案例的成果可为 SDG 14.2 提供可靠的、可推广的研究方法，数据产品可直接支持 SDG 14.2 的评估，并可为 SDG 2、SDG 13、SDG 15（食物安全、温室气体排放、替代生境等目标）评估提供重要参考，将为中国制订滨海湿地生态系统保护和修复策略提供数据支撑。

所用数据

- ◎ 2015/2016 年、2018 年、2020 年 Sentinel-2 卫星影像（10 m 空间分辨率）；
- ◎ 中国数字高程模型、行政区划矢量数据、全球水体分

- 布产品（2015 年、2018 年、2020 年）、中国海岸线数据；
- ◎ 野外调查样点数据、行业部门统计和监测数据。

方法介绍

滨海养殖池作为水体类型的一种，在光谱上较难与其他水体类型区分，难以用机器学习手段进行快速准确的提取；但滨海养殖池具有明显的几何特征和地理位置

特征（Mao *et al.*, 2020），本案例采用 HOHC 分类技术，进行国家尺度 10 m 空间分辨率的滨海养殖池分布信息的高精度提取。主要流程包括：

(1) 研究区格网分析：基于海岸线数据划定研究区，应用 DEM 数据和历史水体数据集，筛选出滨海养殖池潜在分布的格网；

(2) Sentinel-2 卫星影像数据筛选与处理：筛选年内云量低、水体信息最为丰富的影像作为主要影像数据源；

(3) 面向养殖池提取的特征向量库构建：计算归一化水体指数 (Normalized Difference Water Index, NDWI)、归一化植被指数 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)、归一化建筑物指数 (Normalized Difference Building Index, NDBI) 等归一化指数，支撑潜在滨海养殖池的提取；

(4) 基于 K-means 算法的图像分割：对包含潜在滨海养殖池的影像进行图像分割；

(5) 基于分层决策树的滨海养殖池分布信息提取：在利用特征向量库提取潜在滨海养殖池的基础上，进一步基于形状指数完成滨海养殖池的精准提取；

(6) 分类结果数据集成与精度验证：集成各格网内的滨海养殖池分类结果，基于地面调查样本对分类结果进行精度评价。

基于以上方法，完成了 2015 年、2018 年、2020 年共 3 期 10 m 空间分辨率的中国滨海养殖池空间分布数据集。经 6000 余个野外调查样点验证，三期中国滨海养殖池数据集的总体分类精度均在 95% 以上。

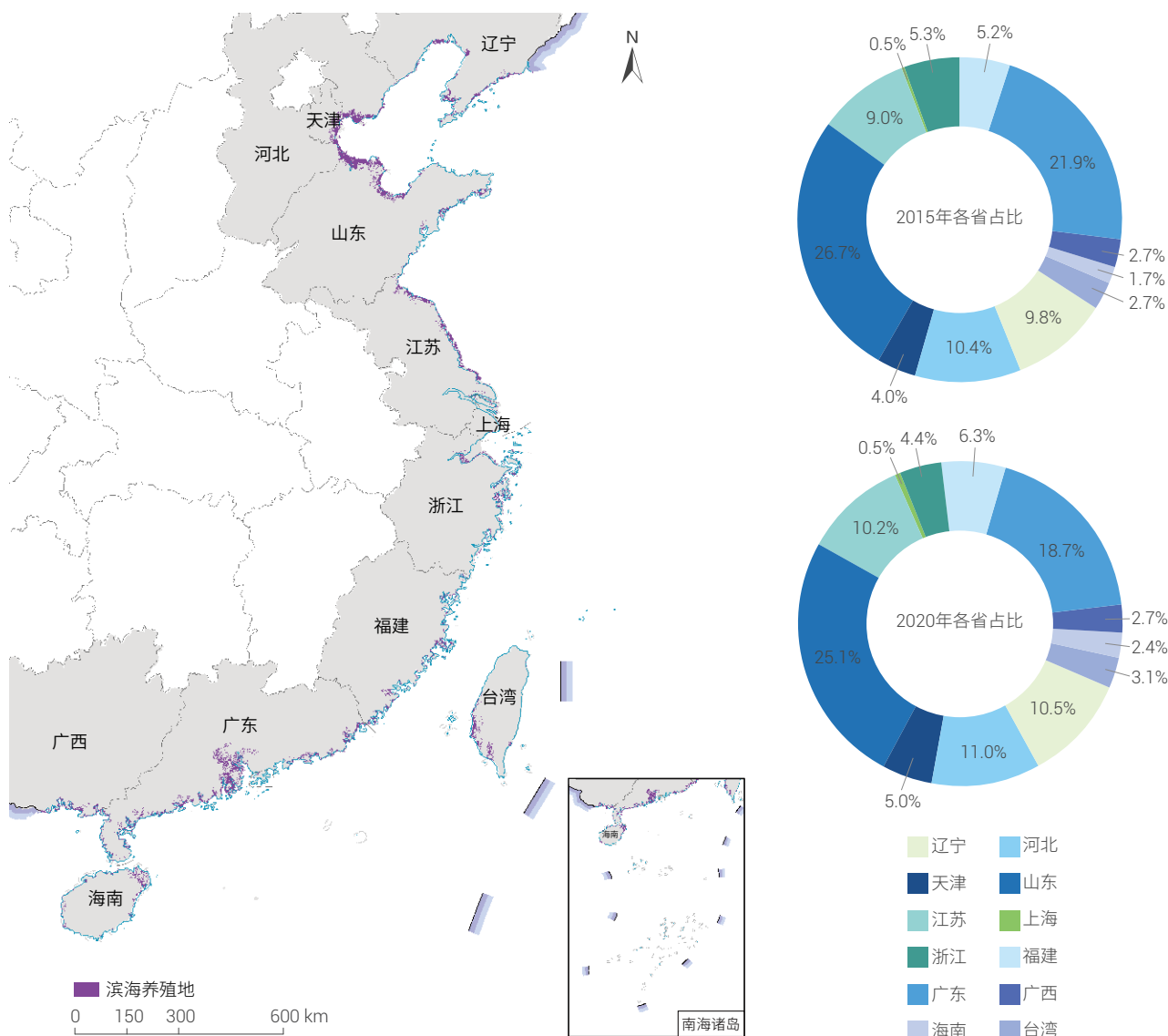


图 6-5. 2020 年中国滨海养殖池空间分布格局

结果与分析

2020年中国滨海养殖池空间分布特征如图6-5，主要分布在山东、广东、河北、江苏、辽宁5个省，5省滨海养殖池面积之和约占全国滨海养殖池总面积的75.5%，其中山东省滨海养殖池分布面积最大。

2015~2018~2020年期间，中国滨海养殖池面积持续下降，5年间滨海养殖池面积相对减少率达15.9%。其中，2015~2018年，中国滨海养殖池面积减少了12.5%，2018~2020年，面积下降3.7%。2015~2020年期间，天津、福建、海南3个省份的滨海养殖池面积仍呈现增加趋势，海南省滨海养殖池的增加趋势最为明显（图6-6）。

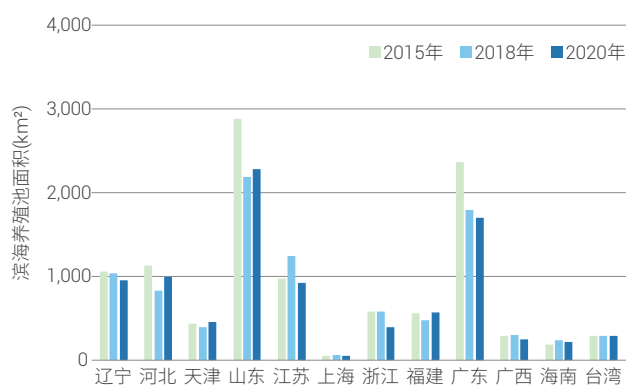


图 6-6. 2015 年、2018 年、2020 年不同省份滨海养殖池面积变化特征

讨论与展望

在技术方法和数据方面，本研究提出了基于地球大数据和云计算、集成面向对象方法与多层决策树的滨海养殖池遥感分类技术方法，实现了2015年、2018年、2020年中国滨海养殖池的高精度提取。本案例的数据可为国家尺度SDG 14.2的评估提供重要科学数据，并可作为SDG 6.6、13.1、15.5等目标评估的重要参考。所研发的技术方法可进一步拓展其应用，实现全球尺度滨海养殖池的时空变化监测，进一步支撑全球滨海养殖业的可持续管理。

在决策支持方面，本研究发现：自2015年以来，中国滨海养殖池总面积呈现减小趋势。一方面，在退塘还湿等政策的驱动下，部分滨海养殖池被转化为自然湿地（Mao *et al.*, 2019）；另一方面，建设用地的扩张一定程度上直接占用了滨海养殖池（Mao *et al.*, 2018）。本研究的结果不仅可以支持SDG 14的科学评估，还可作为中国滨海生态系统、迁徙水鸟生物多样性的保护提供重要决策依据。



本章小结

本章节聚焦保护海洋生态系统这个主题，通过地球大数据方法，开展中国典型区域海洋可持续发展目标实施状况的进展研究，生成了中国红树林空间数据集（2015年、2018年、2020年，10 m）等数据产品。

通过案例的研究，我们得出以下主要结论：

在保护海洋生态系统方面，中国红树林保护和恢复的成效显著，2015~2020年间中国红树林面积净增长16%，为全球红树林保护与恢复做出了重要贡献。在退塘还湿等政策驱动下，中国滨海养殖池面积总体呈现持续下降趋势，有效促进了滨海生态系统的修复。通过地球大数据云平台实现漂浮藻类空间分布遥感快速提取，

辅助基于四维变分同化预报模式的大型藻华漂移轨迹实时预测，可为沿海区域有害藻华灾害监测预警提供有效的信息支撑。

本报告的三个案例例证了基于地球大数据开展全国及全球海洋可持续发展目标实施状况监测与评估的潜力。后续将进一步加强地球大数据、人工智能等技术方法在SDG 14指标监测分析中的深入应用，生产更多好用、适用的支撑海洋可持续发展目标实现的数据产品，力争能够将相关指标研究从中国近海海域延伸到远海海域，形成更完整的可持续发展监测评价数据、技术和方法体系。



黄河入海口航空遥感影像图 (数据源: ADS80 成像时间: 2019年11月)



SDG 15



SDG 15 陆地生物

| | |
|------------|-----|
| 背景介绍 | 112 |
| 主要贡献 | 113 |
| 案例分析 | 114 |
| 本章小结 | 128 |

15 陆地生物



背景介绍

SDG 15 目标设定为“保护、恢复与促进陆地生态系统可持续利用，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”。2030 年可持续发展议程已经通过 5 年有余，然而我们面临的形势仍十分严峻，如全球森林面积（SDG 15.1.1）仍在稳步下降（FAO, 2020c）、全球约 75% 的土地仍处于退化（SDG 15.3.1）状态（IPBES, 2018）、全球重要生物多样性场所被保护比例有所增加（SDG 15.1.2, SDG 15.4.1），但是红色名录指数（SDG 15.5.1）仍在持续减少（UNEP, 2021），按现在进度 SDG 15 目标在 2030 年很难实现（UN, 2019）。

SDG 15 进展评估是了解进展、明确差距并采取有效干预的关键。随着数据可用性增加与技术方法发展，SDG 15 涵盖的 14 个指标中 8 个指标处于 Tier I 分级状态（有数据、有方法）。然而，这些指标的获取方法主

要以统计手段为主，缺乏跨尺度（全球 - 区域 - 国家 - 典型地区）上的可拓展性，很多数据获取能力有限的国家也无法定期提供数据。因此，有必要利用前沿技术，如对地观测、人工智能、公众科学等进一步开展多尺度、空间化的 SDG 15 指标状态及进展监测关键技术研究，从数据、方法、工具与决策建议等角度有所贡献，进而为 SDG 15 目标的实现提供科技支撑。

本报告聚焦大尺度生态系统质量及动态评估体系构建、物种级重要草地生态系统保护空缺识别、重要濒危植物精细化空间分布模拟、全球山地绿色覆盖指数（Mountain Green Cover Index, MGCI）动态监测及重要物种栖息地面积与质量评估等 5 个方向，以地球大数据为手段对其涉及的关键数据、方法缺口开展了研究，以期 UN 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。



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估提供了有力的支撑。针对 SDG 15.1 具体目标，构建了国家尺度生态系统质量及动态评估体系、明确了中国草地生态系统保护现状及差距；

针对 SDG 15.1.2 和 SDG 15.4.1 指标，突破了濒危物种空间分布精细化模拟技术；针对 SDG 15.4.2 指标，研制了 2015 年、2020 年高分辨率山地绿色覆盖指数数据集；针对 SDG 15.5 具体目标，开展了越冬白鹤栖息地的时空动态监测，为有效保护珍稀物种栖息地提供了重要支持（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 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 | / | 中国生态系统及其质量动态变化评估 | 数据产品： 2000 年、2015 年中国生态系统质量数据集 决策支持： 揭示了中国大规模生态保护恢复背景下生态保护恢复成效，为中国生态系统保护提供决策支持 |
| | | 中国草地生态系统保护现状及空缺 | 数据产品： 中国重要草地生态系统名录及空间分布产品数据集 决策支持： 识别了草地保护空缺，为后续草地保护提供了重要支撑 |
| 15.1.2 保护区内陆地和淡水生物多样性的的重要场地所占比例，按生态系统类型分列 15.4.1 保护区内山区生物多样性的的重要场地的覆盖情况 | Tier I | 珍稀濒危植物精细空间分布大数据模拟 | 方法模型： 珍稀濒危植物空间分布大数据模拟模型 |
| 15.4.2 山区绿化覆盖指数 | Tier I | 全球山地绿色覆盖指数高分辨率监测 | 数据产品： 全球 2015 年、2020 年两期山地绿色覆盖指数数据集 |
| 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 | / | 越冬白鹤栖息地时空分布动态监测 | 数据产品： 1993~2018 年鄱阳湖湿地白鹤栖息地空间分布数据集 |



案例分析

中国生态系统及其质量动态变化评估

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

- 首次在全国尺度综合评估生态系统及其质量的变化状况，揭示中国大规模生态保护恢复背景下生态保护恢复成效。
- 2000~2015 年，全国共有 51,668 平方公里的人工生态系统恢复为自然生态系统，生态系统质量提升显著，生态系统质量综合指数同比上升约 21%。

案例背景

中国自然环境脆弱，巨大的人口数量、高速城市化和高强度资源开发使得我国生态系统面临巨大压力，生态系统退化问题严重。自 2000 年开始我国实施大规模的生态保护与恢复工程，如退耕还林、退牧还草、退田还湿、

天然林保护工程等，生态系统及其质量变化如何需要进行综合评估。为此，我们开展了 2000~2015 年中国生态系统及其质量动态变化评估，以期为生态系统动态变化评估提供可参考经验。

所用数据

◎ 2000~2015 年全国 30 m 生态系统分类数据，数据来自全国生态调查评估；

◎ 2000~2015 年全国 250 m 地上生物量、植被覆盖度等遥感反演产品，数据来自全国生态调查评估。

方法介绍

评估方法参考全国生态调查评估中的相关技术方法（欧阳志云等，2017）。首先，通过计算人工用地（农田和城镇）转变为自然生态系统（森林、灌丛、草地、湿地）的面积估算生态系统恢复面积。然后，采用生物量与植被覆盖度指标开展不同生态系统质量评估，综合考虑各类生态系统各等级生态系统质量面积和生态系统总面积，构建生态系统质量指数（Ecosystem Quality

Index, EQI），比较不同时期全国生态系统质量的总体变化情况。

生态系统质量指数的计算方法如下：

$$EQI_i = \frac{\sum_{j=1}^5 (EA_{ij} \times j)}{(EA_i \times 5)}$$

$$EQI = \frac{\sum_{j=1}^5 (EA_j \times j)}{(EA \times 5)}$$

其中, EQI_i 是 i 类型生态系统的质量指数; EA_{ij} 是第 i 种生态系统第 j 质量等级的生态系统面积。 EA_i 是第 i 种生态系统的总面积。当计算全国生态系统质量综合指

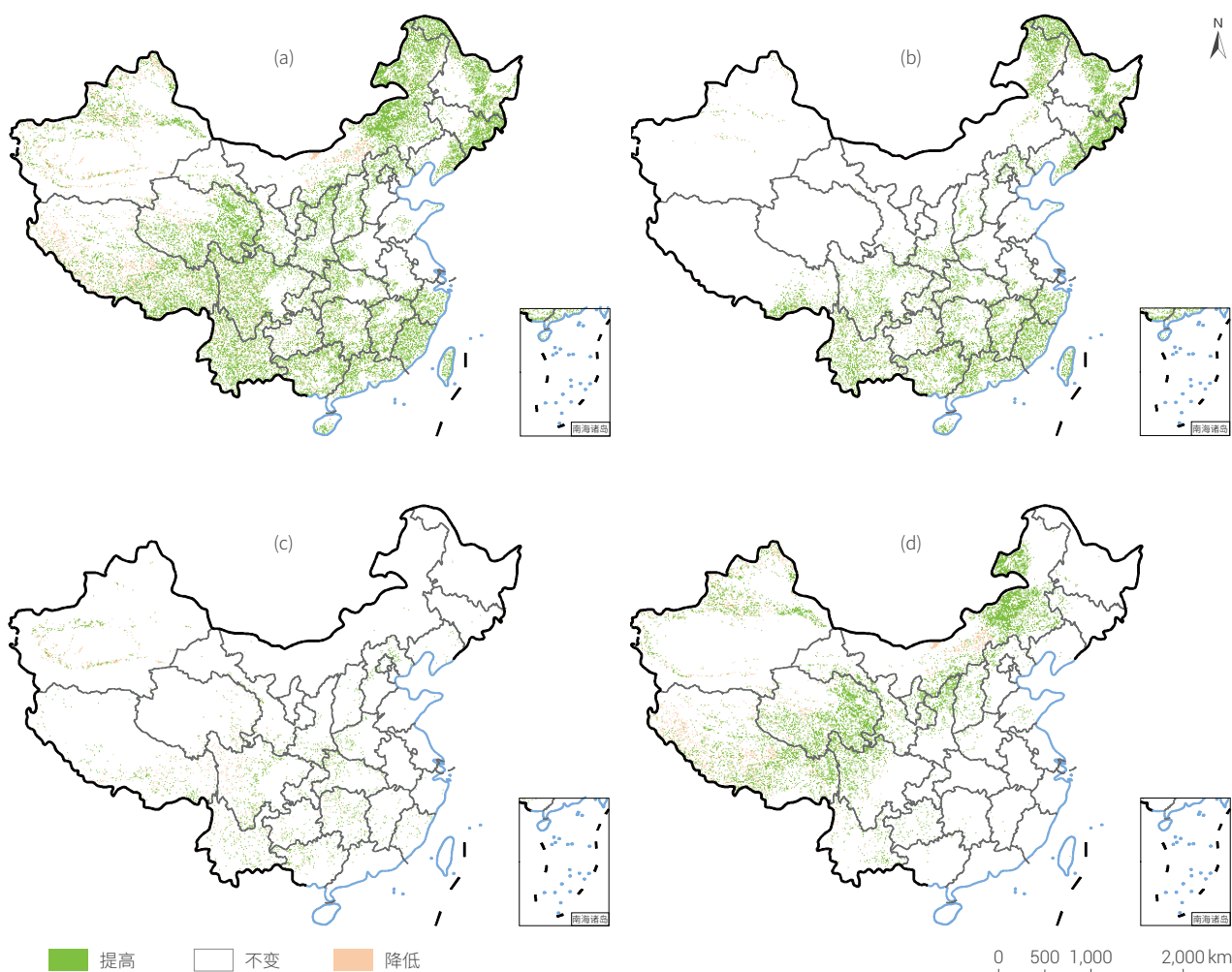
数 EQI 时, 将各类生态系统面积加总后参与计算, EA_j 表示各类生态系统第 j 质量等级的总面积, EA 为各类生态系统总面积。

结果与分析

在 2000~2015 年期间, 由于退耕还林、还草、天然林保护等生态保护与恢复工程, 生态系统得到较广泛的恢复, 人工生态系统 (主要是农田、城镇) 变为自然生态系统的总面积达到 51,668 平方公里。其中森林和灌丛恢复面积达 26,546 平方公里, 占比约 52%, 草地恢复面积达 20,853 平方公里, 占比约 40%, 湿地恢复面积达 4269 平方公里, 占比约 8%。

2000~2015 年, 中国森林、灌丛、草地生态系统质

量总体提升显著。全国陆地生态系统质量变化的空间分布情况如图 7-1 所示。优、良生态系统面积由 2000 年的 72.39 万平方公里增长为 2015 年的 135.87 万平方公里, 增长了约 88%, 低、差等生态系统面积由 380.65 万平方公里减少到 2015 年的 287.83 万平方公里, 减少了约 24%。主要分布在黄土高原、三江源、大小兴安岭、长白山、太行山、南岭、横断山脉、秦岭等。



↑ 图 7-1. 2000~2015 年中国生态系统质量变化空间分布图

(a) 生态系统质量变化; (b) 森林质量变化; (c) 灌丛质量变化; (d) 草地质量变化

2000~2015年，全国生态系统质量综合指数由0.413提升至0.499，提升了约21%。其中，森林生态系统质量指数由0.437提升为0.555，草地生态系统质量指数由0.397提升至0.465，灌丛生态系统质量指数由0.414提升至0.478。森林、草地和灌丛生态系统质量指数分别提升了约27%、17%和15%。

从生态恢复面积和生态系统质量变化两方面所反映的中国生态恢复面积及生态系统质量的总体提升，反映了2000年以来中国生态保护与恢复取得了显著的成效。全国重点保护与恢复区域森林、草地等生态系统面积有了明显提升，生态系统质量总体较低的状况开始产生明显改善，尤其是森林生态系统，不仅总面积提升最多，质量改善也最明显，森林生态系统质量指数增幅超过全国生态系统质量综合指数的增幅。

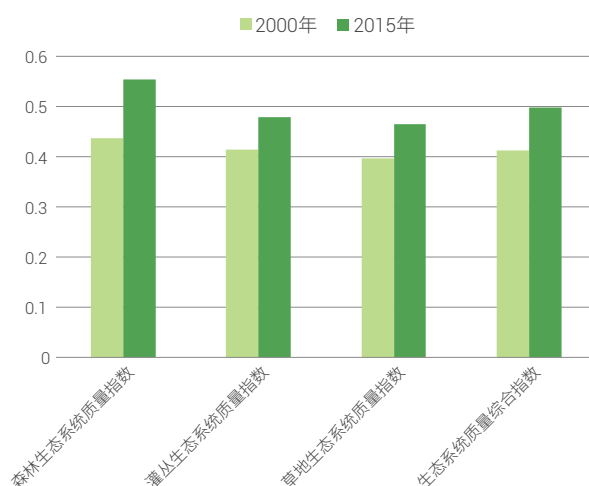


图 7-2. 2000~2015 年生态系统质量指数及变化

讨论与展望

本研究评估了2000~2015年全国生态系统格局和生态系统质量的总体变化情况，提出生态系统质量指数评价指标，综合反映中国生态系统质量的总体变化趋势。研究成果表明2000年以来中国生态恢复面积覆盖较广，

生态系统质量总体提升显著，生态保护与恢复成效显著。然而中国局部区域仍然存在生态系统退化状况，主要表现为生态系统质量恶化，中国的生态保护恢复需进一步采取措施遏制局部区域的生态退化问题。

中国草地生态系统保护现状及空缺

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

- 结合遥感影像解译数据和植被图得到精度较高的草地分类结果，明确了中国重要草地生态系统名录及空间分布。
- 中国现有的自然保护地覆盖了所有的 21 类优先保护草地生态系统，总体保护效果较好，但仍有 5 类面积较小的草地保护比例低，内蒙古东部、青藏高原的东部等地存在一定的保护空缺。

案例背景

保护区内陆地和淡水生物多样性的的重要场地点按生态系统类型所占比例（SDG 15.1.2）是反应生态系统保护成效的重要指标。在此指标的研究中，重要生态系统的类型及空间分布是评估自然保护地成效的关键指标，但是重要生态系统类型如何确定、关键区域如何识别的问题尚未得到有效解决。另外，目前中国的自然保护地

占国土面积的 18% 以上，但空间布局是否合理、对自然生态系统的覆盖状况也不明确。本研究以草地生态系统为主要对象，提出了重要生态系统类型及保护关键区域的确定方法，可为自然保护地保护成效的评估及空间格局的优化提供科学支撑。

所用数据

- ◎ 30 m 分辨率的国产环境减灾卫星和陆地卫星数据解译得到的土地覆盖数据，以及生物量及植被覆盖度数据；
- ◎ 1:100 万中国植被图及更新成果（2001 年，2020 年）；
- ◎ 2020 年全国自然保护地分布数据。

方法介绍

首先，根据《中国植被》、1:100 万植被图及更新成果，明确中国草地生态系统名录。建立优先保护生态系统评价准则，即优势生态系统类型、反映特殊的气候地理与土壤特征、只在中国分布，根据此准则及专家咨询意见，遴选出优先保护草地生态系统名录。然后，综合 1:100 万植被图、基于 30 m 分辨率的国产环境减灾卫星（HJ-1A/B）和美国陆地卫星数据解译得到的草地分类

数据，以及草地覆盖度与生物量等，得到重要草地生态系统的分布图及保护关键区域，并通过实地调查数据及发表的文献等对生态系统空间分布进行校准。最后，将重要草地生态系统分布图与现有的自然保护地进行空间叠加，明确中国草地生态系统的保护状况，并识别保护空缺区域。

结果与分析

目前中国的草地生态系统共 220 类，其中需要优先保护的草地共 21 类，总面积为 51.37 万 km²。其中，面积大于 3 万 km² 的优先保护草地生态系统有紫花针茅高寒草原、羊草草原、小嵩草高寒草甸、克氏针茅草原和长芒草草原，这五类草地占优先保护草地总面积的 69.50%。而羽柱针茅高寒草原、昆仑针茅草原、芨芨草草原、盐地碱蓬 - 盐角草盐生草甸这四类草地的面积都不足 1,000 km²。

优先保护草地生态系统分布于中国 14 个省份，主要集中在内蒙古呼伦贝尔草原、浑善达克沙地、科尔沁沙地、阴山北部，新疆天山 - 准噶尔盆地西南缘区、阿尔泰区、塔里木河流域，青藏高原的羌塘地区、三江源区祁连山区，以及黄土高原等地（图 7-3）。

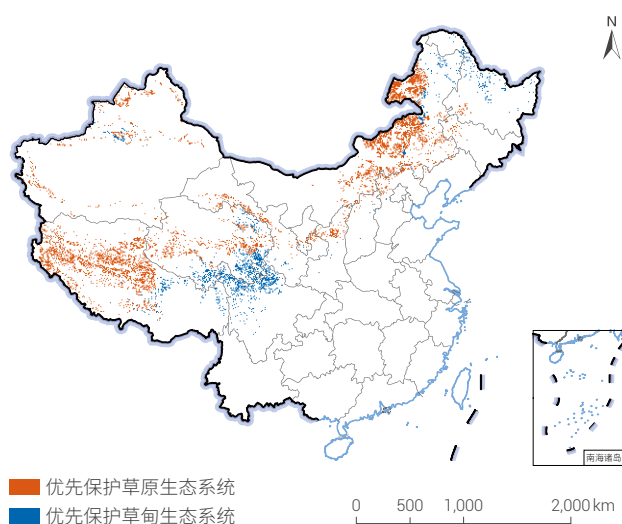


图 7-3. 中国优先保护草地生态系统空间分布

中国现有的自然保护地覆盖了所有的 21 类优先保护草地生态系统，对草地保护关键区域的总体覆盖比例为 24%，高于全国保护地覆盖陆地面积 18% 的平均水平，保护效果较好，其中 11 类生态系统的保护比例超过 18%，青藏苔草高寒草原、四川嵩草高寒草甸、紫花针茅高寒草原、小白花地榆 - 金莲花 - 禾草草甸的保护比例都超过 30%。同时，仍有昆仑针茅草原、短花针茅草原、固沙草草原、羽柱针茅高寒草原、盐地碱蓬 - 盐角草盐生草甸这 5 类草地分布面积较小、保护比例较低，需加强保护（图 7-4）。特别是昆仑针茅草原和盐地碱蓬 - 盐角草盐生草甸的分布面积不足 1,000 km²，保护比例低于 10%，需加强保护。

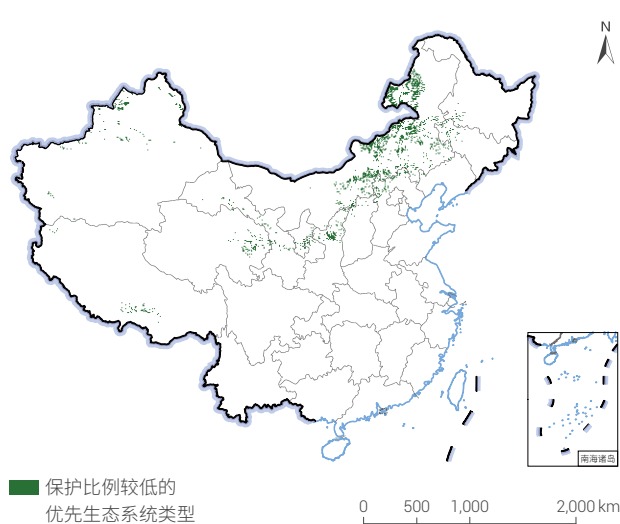


图 7-4. 受保护比例较低的优先保护草地生态系统分布

讨论与展望

本研究以草地生态系统为例，充分利用基于遥感影像的土地覆盖分类与植被覆盖度、现有植被图等信息，获得精度较高的草地生态系统分布图，识别草地生态系统保护关键区域，为草地生态系统保护效果的精确评估提供方法与数据支撑。研究思路与方法可为全球其他地区类似工作的开展提供借鉴，促进全球草地生态系统的保护。

本研究提出的草地生态系统保护关键与空缺区，可为草地保护地空间布局的完善提供支撑。现有的自然保护地覆盖了所有的 21 类优先保护草地生态系统，总体保护效果较好，5 类面积较小的草地保护比例较低，可通过建设草原公园等多种保护地方式，优化自然保护地空间布局，将保护地外原真性和完整性较高的未受保护的优先保护草地生态系统纳入保护范围，提升其受保护面积和比例。

珍稀濒危植物精细空间分布大数据模拟

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。

15.4 到 2030 年，保护山地生态系统，包括其生物多样性，以便加强山地生态系统的能力，使其能够带来对可持续发展必不可少的益处。

成果亮点

- 通过文献报道提取、语义分析与挖掘、网络爬虫、数据清洗等大数据获取方法获得世界自然保护联盟红色名录中的物种样本点，在 MaxEnt 或 BIOMOD2 模型中进行建模，最终模拟得到最高可信度的单个物种公里网格尺度精细化、清晰化、动态化的分布数据。

案例背景

SDG 15 中的“SDG 15.1.2 陆地和淡水生物多样性重要场所被保护区覆盖的比例”及“SDG 15.4.1 山区生物多样性重要场所被保护区覆盖的比例”两项指标均强调自然保护区的建立是实现生物多样性保护的重要措施和机制，而 SDG 15.4.1 则更强调山地的生物多样性保育功能。该指标是继承了千年发展目标（Millennium Development Goals, MDG）任务 7 具体目标 9 中的指标 26 “维持生物多样性的面积占陆地面积的比例”，是对该指标的继承和深化（UN, 2015a）。该指标能反映出在保护、恢复和可持续利用陆地和淡水生态系统及其服务方面取得的进展，特别是在野生濒危物种保护、生物多样性、森林、湿地、山地和旱地等方面（魏彦强等，

2018; Zheng *et al.*, 2021）。联合国目前已给出了清晰的计算方法，并在世界保护监测中心（World Conservation Monitoring Centre, UNEP-WCMC）网站给出了国家尺度上的统计数据，可以对单一对象（如单个物种）进行计算，也可以对多个物种进行综合计算。但在具体指标计算中，联合国将该指标分级列为 Tier II，即大多数国家在国家内部降尺度计算时处于“有方法、无数据”的困境（UN, 2015b）。目前以上两个指标实现的困难在于没有高可信度珍稀濒危植物（动物）的空间分布数据，而已有的分布数据为传统的偶遇性调查数据，精度普遍较低且没有清晰的地理边界（Rodrigues *et al.*, 2006）。

所用数据

◎ 物种类型数据：世界自然保护联盟（International Union for Conservation of Nature, IUCN）红色物种名录；

◎ 物种分布样本点数据：中国数字植物标本馆，国家标本资源共享平台，全球生物多样性信息网络，相关文献报道。

方法介绍

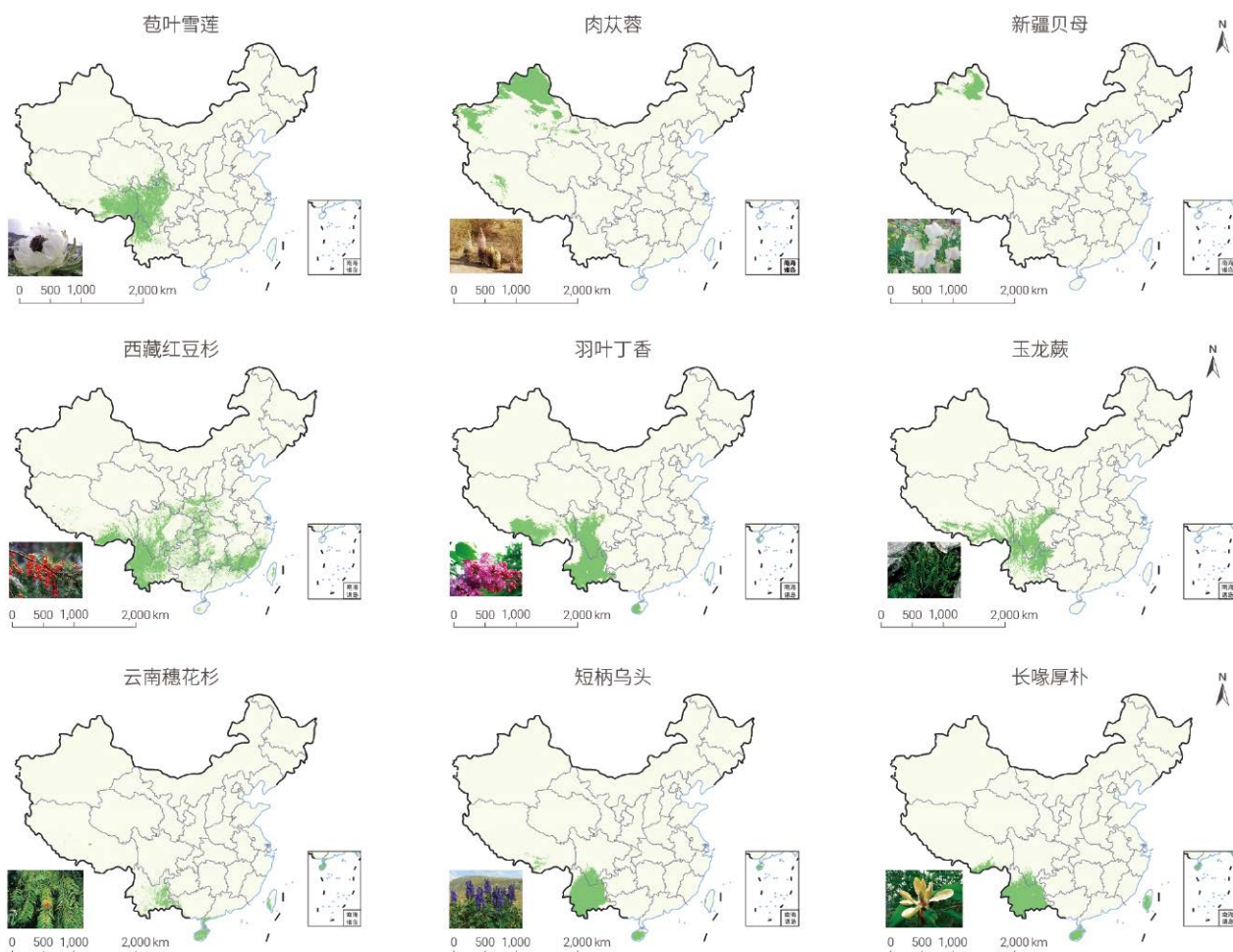
本研究以地球大数据支撑的数据获取及处理方法为基础，通过文献报道提取、语义分析与挖掘、网络爬虫等大数据获取方法获得 IUCN 濒危物种红色名录（Red List of Endangered Species, <https://www.iucnredlist.org/>）、《国家重点保护野生动物名录》（<http://www.forestry.gov.cn/main/3954/content-1063883.html>）、《国家重点保护野生植物名录》（<http://www.forestry.gov.cn/main/3954/20180925/143410933280757.html>）中的物种在空间上分布的样本点数据。在此基础上提取地形、气候、植被

和土壤 4 个方面的物种生境信息，通过主成分分析法（Principal Component Analysis, PCA）提取关键的决定性生境因子。在 MaxEnt 模型或 BIOMOD2 模型中进行建模和模拟，以大于等于 0.6 的概率作为适宜的物种分布区，以充分保证模拟结果中每一种物种分布的可靠性。最终得到最高可信度的单个物种公里网格尺度的空间分布数据（Wei *et al.*, 2021），从而发挥地球大数据的特长，使物种分布精细化、清晰化、动态化。

结果与分析

本研究利用 IUCN 红色物种名录中濒危、易危和近危等 75 种植物和菌类作为案例物种，以大数据分析方

获取了每一种濒危物种的样本点分布数据，利用物种分布模型模拟出当前（2020 年）每一种濒危物种的空间分

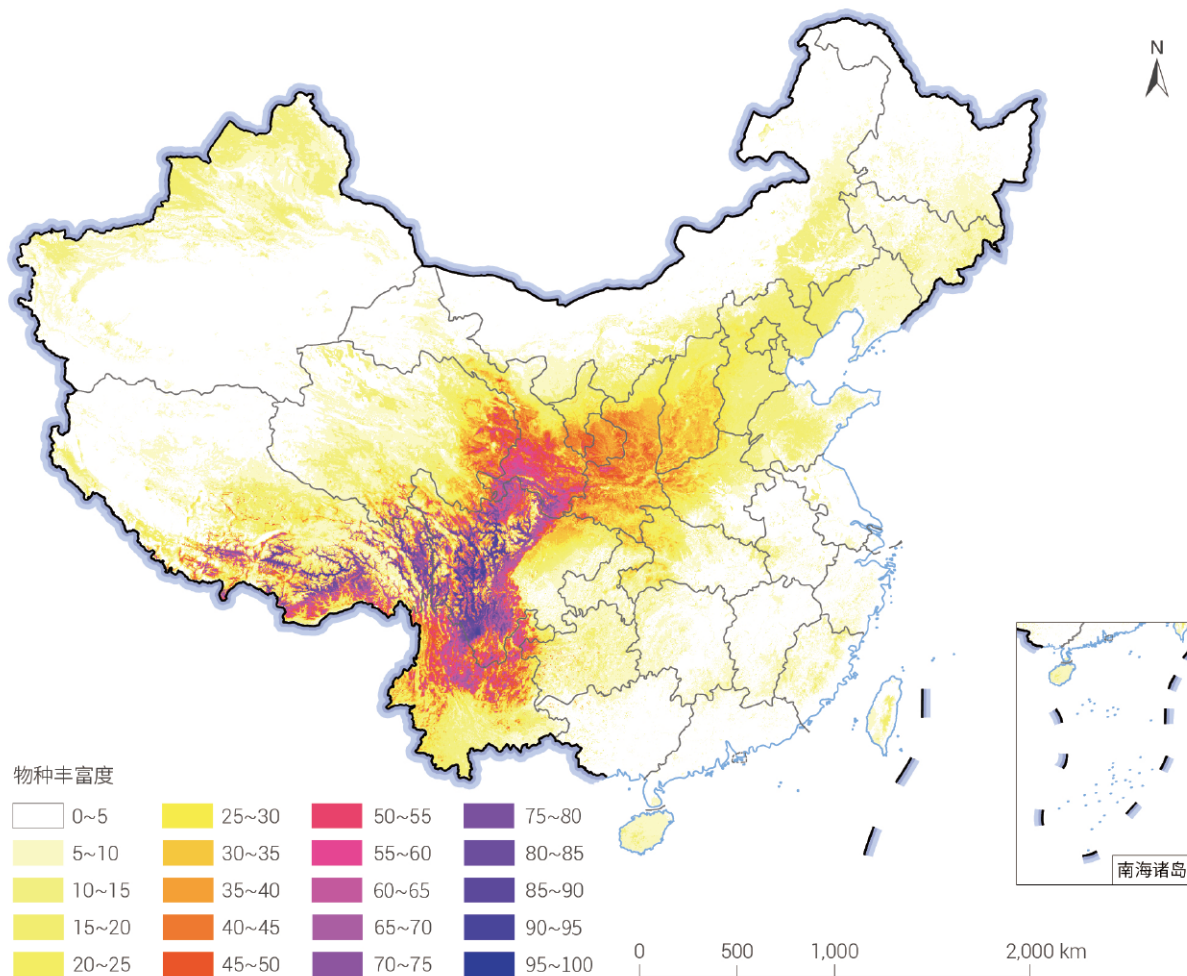


↑ 图 7-5. 典型濒危植物（菌类）的物种分布图

布(图 7-5)。从得到的结果来看,利用该方法获取的濒危物种分布图相较传统的以物种调查为基础的分布图在空间上更为合理、数据分辨率较高(1 km)。以大数据的方法进行提取和模拟,实时更新速度较快,能快速、批量化、工程化获得大样本量的濒危物种空间分布数据。

在此基础上,将每一种物种空间分布图进行二值化处理(有分布为 1,无分布为 0),通过空间累积得分的方法,归一化到 0~100%,得到了 75 种濒危植物和菌类在空间上公里网格尺度的物种分布丰富度图(图 7-6),

可以看出本研究中中国 75 种 IUCN 濒危植物和菌类主要分布在中国第一级阶梯和第二级阶梯的过渡区。主要集中在青藏高原东北部、东南部及南部地区,以祁连山及甘肃南部地区、横断山、喜马拉雅山东部及滇西北地区为主,是中国濒危保护植物的关键区域。另一关键区域分布在由甘肃南部地区向东延伸至秦岭的带状地区。由于这些地区大多数为山区,二者统计的结果非常相近,山区占比 96% 以上,显示出我国关键生物多样性区域主要以山区为主的特点。



↑ 图 7-6. 基于 75 种濒危植物和菌类的物种丰富度

讨论与展望

本案例通过大数据方法获取珍稀濒危植物空间分布样本信息,在此基础上提取地形、气候、植被和土壤 4 个方面的物种生境信息。通过主成分分析法提取关键的决定性生境因子,在 MaxEnt 模型或 BIOMOD2 模型中进行建模和模拟,最终得到最高可信度的单个物种公里

网格尺度的空间分布数据。但目前仅考虑了地形、气候、植被和土壤 4 个方面的物种生境信息。由于人类活动对物种分布具有越来越深刻的影响,后续研究中应将人类活动的影响,如土地利用类型及强度、人为采摘、挖掘濒危物种等作为一项重要的生境影响因素进行综合模拟。

全球山地绿色覆盖指数高分辨率监测

对应目标：15.4 到 2030 年，保护山地生态系统，包括其生物多样性，以便加强山地生态系统的能力，使其能够带来对可持续发展必不可少的益处。

成果亮点

- 基于地球大数据，率先研制了全球一致、空间可比的 2015 年、2020 年高分辨率山地绿色覆盖指数数据集。
- 突破国别限制，分析了全球不同山地类型、海拔梯度下山地绿色覆盖指数的时空分布及其变化特征。

案例背景

在气候变化和人类活动的共同影响下，山地生态系统正经历着显著的变化（Immerzeel *et al.*, 2020）。SDG 15.4.2 “山地绿色覆盖指数”指标用以监测山地区域的绿色植被覆盖（森林、灌木、草地、农田等）范围、比例及其变化，并服务于 SDG 15.4 保护山地生态系统这一重要目标。

当前，FAO、国际山地科学委员会等确定了 SDG 15.4.2 的监测方法，即山地描述数据层和植被描述层（FAO, 2017）。然而，尽管目前在全球尺度上的国别数据已经进行了发布（2000 年，2010 年，2015 年，2018 年），但空间位置明确的动态变化数据仍然较为缺乏。SDG 15.4.2 官方数据采用的欧空局土地覆被数据其空间分辨率为 300 m，在监测较小山体或高度异质性的山地植被时仍然面临较多不确定性。为此，FAO 建议如果能

够有更高分辨率的土地覆被数据时可采用更高质量的数据进行替代。尽管如此，在全球尺度上建立一套处理方法标准、通用可比且空间位置明确的 SDG 15.4.2 高分辨率监测方法体系具有重要的参考价值。

2020 年，地球大数据科学与工程开展了 2010~2019 年“一带一路”重要经济廊道山地绿色覆盖指数遥感监测（Guo, 2021）。持续跟踪 SDG 15.4.2 进程，是保障实现全球 SDG 15.4 目标实现的必要前提。为此，2021 年，我们继续以 FAO 设计的山地绿色覆盖指数元数据为参考，以高分辨率山地绿色覆盖指数监测模型为依据，开展了全球尺度 SDG 15.4.2 的动态变化评估（以 2015 年为基准年），并重点分析了全球不同纬度、海拔梯度、山地类型的指标变化趋势。

所用数据

- ◎ 2015~2020 年 30 m 全球时间序列陆地卫星地表反射率数据；
- ◎ ASTER GDEM V2 30 m 数字高程模型数据；
- ◎ UNEP-WCMC 500 m 全球山地类型数据（分类系统见表 7-2）；
- ◎ 2015 年 FROM-GLC 全球土地覆被样本数据。

表 7-2 UNEP-WCMC 全球山地类型划分规则 (Kapos *et al.*, 2000)

| 山地类型 | 海拔 | 坡度 | 7 公里半径局地起伏度 |
|------|---------------|-----|-------------|
| 1 | >4,500 m | 未使用 | 未使用 |
| 2 | 3,500~4,500 m | 未使用 | 未使用 |
| 3 | 2,500~3,499 m | 未使用 | 未使用 |
| 4 | 1,500~2,499 m | >2° | 未使用 |
| 5 | 1,000~1,499 m | >5° | 或 >300 m |
| 6 | 300~999 m | 未使用 | >300 m |

方法介绍

在“一带一路”经济廊道山地绿色覆盖指数时序变化监测的基础上，利用全球 Landsat-8 OLI 地表反射率数据、山地类型数据，结合 FAO SDG 15.4.2 元数据定义和山地绿色覆盖指数监测模型 (FAO, 2017; Bian *et al.*, 2020)，开展 2015 年和 2020 年的动态监测。具体方法为：①基于地球大数据云平台，利用考虑遥感观测频率

和植被物候特征的植被提取模型实现全球山地植被提取；②基于格网和山地表面积的绿色覆盖指数计算模型，计算全球尺度 2015 年、2020 年高分辨率绿色覆盖指数时空分布；③分析不同山地类型、海拔梯度、纬度带下全球山地绿色覆盖指数的变化特征。

结果与分析

2015 和 2020 年全球绿色覆盖指数分布如图 7-7 所示。可以看出，基于格网的山地绿色覆盖指数突破了行政界线的限制，能清晰反映不同范围的山地绿色植被覆盖情况。通过不同行政单元 / 流域 / 保护区边界，该栅格数据能够很好的进行空间尺度聚合，进而了解区域发展状况。统计得出，2020 年全球山地平均绿色覆盖指数为 80.56%。而 16.94% 没有绿色覆盖，主要集中在青藏高原、中亚山地、智利山脉、加拿大北部和格陵兰岛。

统计分析可知，2015~2020 年间 SDG 15.4.2 指标总体变化不大，但仍存在一定空间差异。与 2015 年相比，总体上，全球约 13.06% 的山地其绿色覆盖指数呈小幅度增长，平均增加 5.7%，约 15.04% 的山地其绿色覆盖指数出现小幅度下降，平均下降 5.5%。

具体在不同纬度带上，在 60°S 至 70°N 间，由于不

同山地类型和生态系统分布均较为广泛，山地绿色覆盖指数呈现出较大的范围特征，而纬度高于 80°N 的区域植被类型主要为苔原，山地绿色覆盖指数较低，近五年呈现微弱的增加趋势。在海拔梯度方面，统计得出海拔 2500 m 以下的区域山地绿色覆盖指数均高于 80%，而在海拔高于 4500 m 后表现出逐渐降低的趋势。这种趋势主要由于受气温和湿度的影响。在山地类型方面 (表 7-2)，山地类型 1, 2, 3 由于其较高的海拔梯度而表现出较低绿色覆盖指数，其中 2020 年平均绿色覆盖指数分别为 37.15%，60.73% 和 57.28%。而山地类型 4, 5, 6 的山地绿色覆盖指数逐渐增加，平均分别为 82.46%，84.13% 和 89.77%。近 5 年来，不同山地类型的绿色覆盖指数变化均小于 1%。

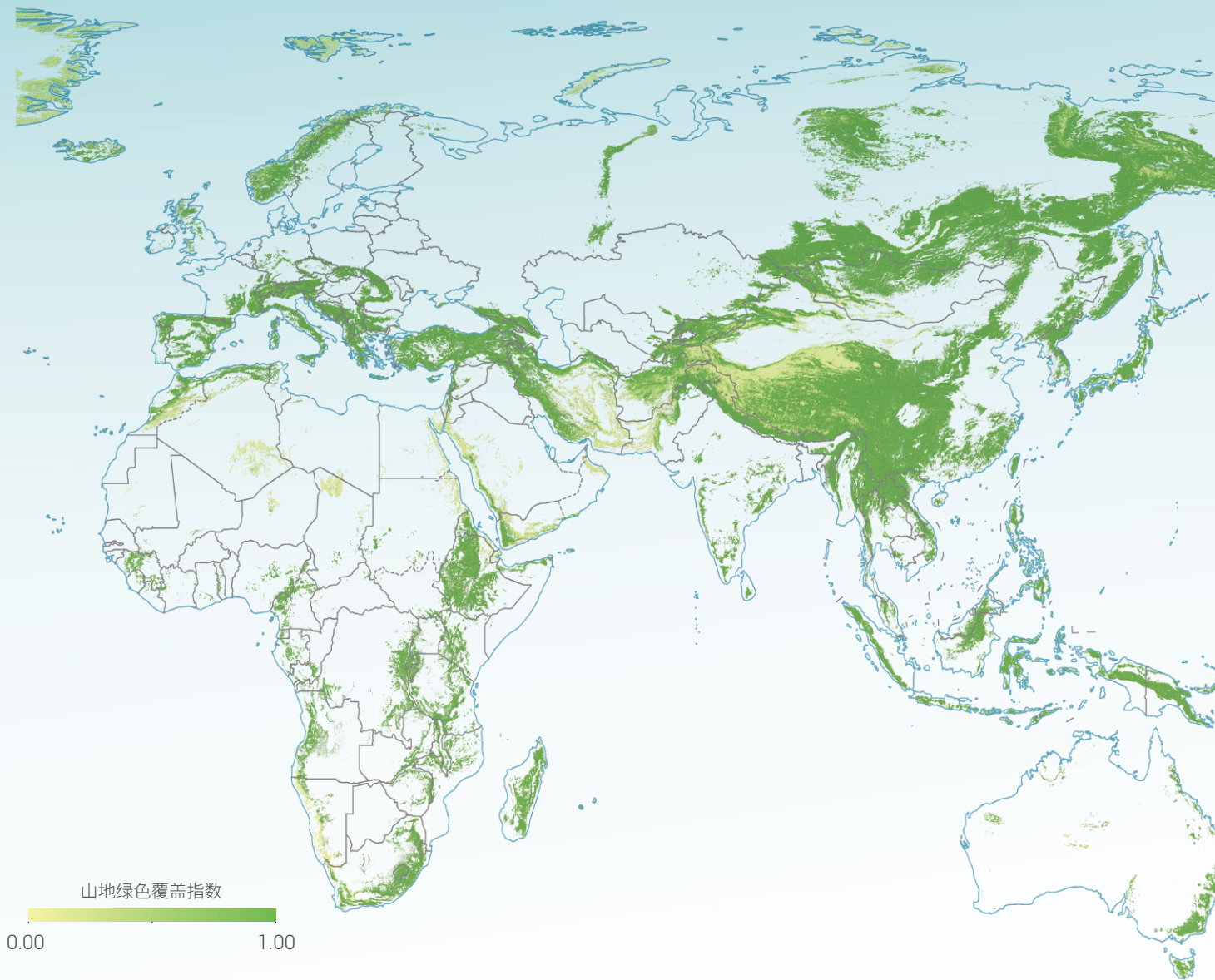


图 7-7.

2020年全球山地绿色覆盖指数分布





讨论与展望

作为全球环境公域的重要组成部分，山地生态系统对全球水资源安全和生物多样性保护起着关键作用，迫切需要地球大数据支撑的可持续发展目标监测。本案例参考 FAO 山地绿色覆盖指数定义，基于国际开源高分辨率卫星影像集、数字高程模型等，通过发展考虑山地表面积特征的高分辨率监测模型，实现了 SDG 15.4.2 的动态监测，评估了全球山地绿色覆盖指数近 5 年来的变化趋势，为争取 SDG 15.4 保护山地生态系统的可持续发展目标实现提供了重要的技术和数据支持。

需要指出的是，在绿色覆盖指数变化趋势的解释方面，当前比较一致的认为，尽管在大多数情况下山地绿色覆盖指数的增加被认为是对自然生态系统破坏的严格

管理而导致了生态系统如森林、灌木和草地生态系统的扩张，然而，在少数情况下，在高海拔区域的指标增加可能也标志着在全球变暖背景下的冰川或永久积雪的退缩而导致的绿色植被增加。由于冰川和积雪变化往往在更小尺度上发生，因此，采用具有更高分辨率的土地覆盖数据将能够更好揭示指标的变化特征。此外，不同生态系统之间的转换可能导致指数无变化，但自然生态系统仍处于受威胁的情况（如森林向草地 / 农田、草地向农田的转换）。未来需要将该指标进行深层次的定义，提升指标反映趋势的多样性，也是未来该指标深化研究的重要方向之一。

越冬白鹤栖息地时空分布动态监测

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

- 形成 1993~2018 年鄱阳湖湿地白鹤适宜栖息地分布的长时间序列数据集产品。
- 白鹤栖息地热点围绕鄱阳湖子湖“荻秋湖”区域呈片状分布，冷点围绕鄱阳湖主航道呈轴向分布。鄱阳湖水位升高会导致白鹤栖息地稳定性和变异度下降并削弱其聚集特征。

案例背景

白鹤是世界上最濒危物种之一，1989 年中国将其列入国家一级重点保护野生动物名录，2010 年被确定为国际自然保护联盟红色名录中的极度濒危物种。鄱阳湖湿地是中国长江中下游特殊的湿地生态系统，为全球数百万越冬候鸟提供重要栖息地。鄱阳湖是极度濒危物种白鹤的最大越冬地，全球约 98% 的白鹤在鄱阳湖湿地区域越冬（Wang, 2020）。鄱阳湖的水文条件是白鹤栖息地质量的主要影响因素，近年来连续遭遇的秋冬季干旱，

很大程度上影响着白鹤的主要食物来源和栖息地状况（Jiang *et al.*, 2014）。开展鄱阳湖湿地越冬白鹤栖息地的动态监测，分析其时空变化特征与水文响应规律，可为鄱阳湖湿地生态环境保护与治理提供支撑与决策依据，为典型湿地候鸟栖息地监测与湿地生物多样性保护探索新途径与新方法。

所用数据

- ◎ 1993~2018 年 Landsat TM/ETM+/OLI 秋冬季影像数据，覆盖 5~15 m 不同水位条件，空间分辨率 30 m；
- ◎ 1993~2018 年鄱阳湖星子水文站逐日水位观测数据；
- ◎ 鄱阳湖天然湿地、子湖、及南矶湿地和鄱阳湖两个国家级自然保护区的矢量边界数据。

方法介绍

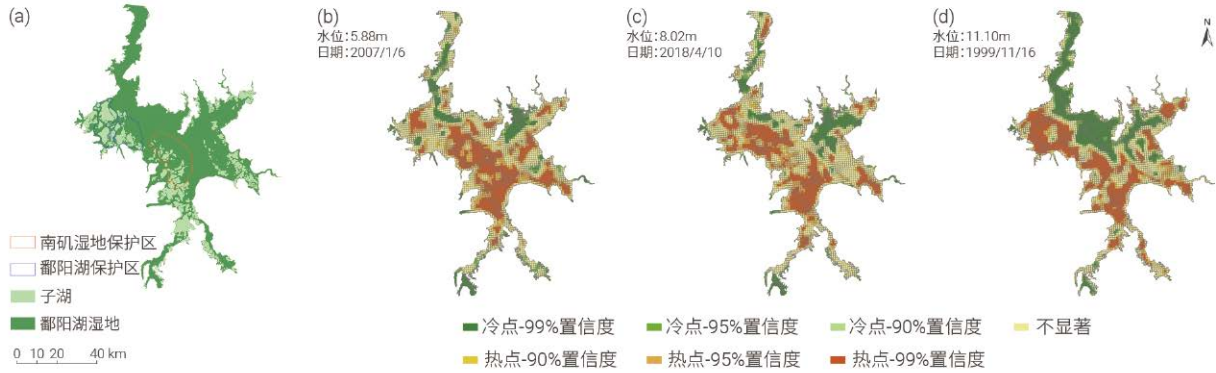
鄱阳湖湿地的浅水、草滩和软泥滩是越冬白鹤的适宜栖息地。在各年份不同水位条件下，进行鄱阳湖湿地白鹤栖息地的遥感分类，提取草滩、水体、裸土等区域，结合水深估算值从水体中提取浅水区，结合归一化水体指数 NDWI 阈值从裸土中提取软泥滩区。利用景观指数来描述白鹤栖息地空间结构特征，使用空间统计指标来探索其空间分布冷热点。针对不同水位条件下白

鹤栖息地的脆弱性评估，构建了 3 个评估指标，包括持续性、稳定性与变异度（Zou *et al.*, 2021）。在不同水位条件下划分 1 m 间隔，采用景观指数、空间统计指标与脆弱性评估指标，分层逐级探索鄱阳湖湿地白鹤栖息地的时空变化特征与分布聚集特性，进行相应的脆弱性评估与对比分析。

结果与分析

鄱阳湖湿地白鹤栖息地在极低、低与常水位条件下均呈现出一致的空间分布格局，生境热点主要围绕鄱阳

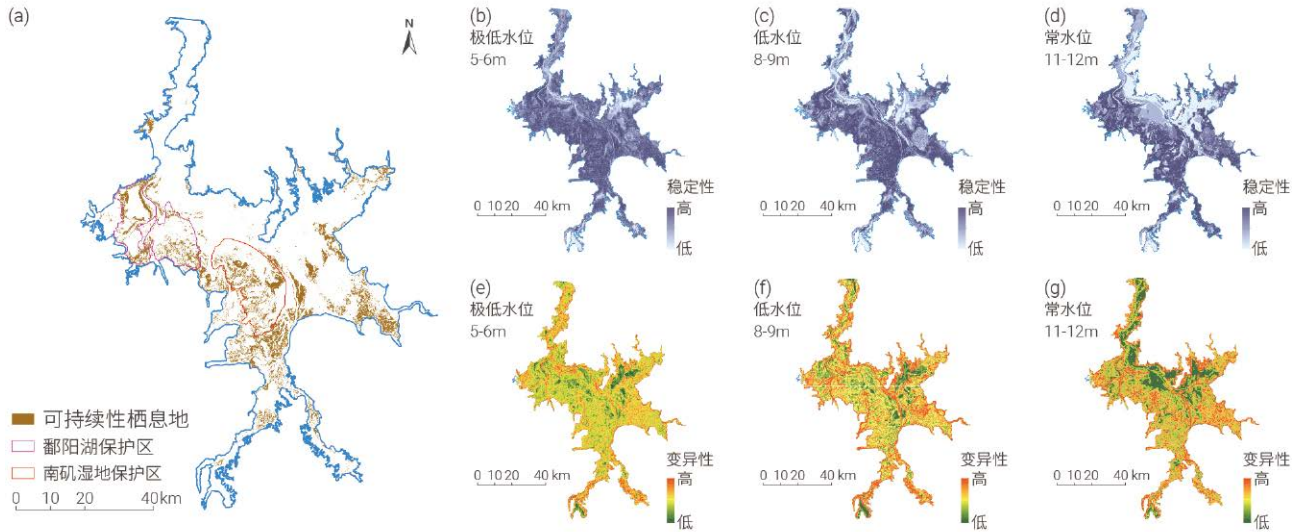
湖子湖“埕秋湖”区域呈片状分布，冷点主要围绕鄱阳湖主航道呈轴向分布（图 7-8）。



↑ 图 7-8. 鄱阳湖湿地白鹤栖息地热点分布

基于 1993~2018 年鄱阳湖湿地白鹤栖息地分布数据集（极低与低水位各 11 幅，常水位 10 幅），在各水位条件下进行栖息地分布脆弱性评估。持续性较高的白鹤栖息地主要位于鄱阳湖子湖“埕秋湖”区域，且密集分布于南矶湿地和鄱阳湖两个国家级自然保护区内（图

7-9a）。在极低至常水位条件下，白鹤栖息地稳定性与变异度随水位升高呈逐渐降低趋势（图 7-9b-g），尤其是在鄱阳湖主湖区及主航道附近，稳定性与变异度明显减弱且呈扩张趋势，水位升高显著削弱白鹤栖息地的聚集特征。



↑ 图 7-9. 鄱阳湖湿地白鹤栖息地脆弱性分布

讨论与展望

白鹤是鄱阳湖近百种越冬候鸟中极为特殊的一个物种，对浅水湿地的依赖性很强，对栖息地生态环境的要求极为严格。本研究关注近30年来鄱阳湖湿地白鹤栖息地的时空变化、水文响应及脆弱性评估，这对湿地生态环境管理和候鸟栖息地保护具有重要意义。鄱阳湖独特水文特征导致其白鹤栖息地的景观结构呈现波动变化与复杂性特征，并在不同水位条件下均呈现较强持续性，尤其是在国家级自然保护区范围内，因此加强自然保护区保护力度对白鹤栖息地保护至关重要。近年来，鄱阳

湖区人工湿地的建设与保护为越冬白鹤提供了栖息生境，五星白鹤保护小区上千亩藕田保护地成为三成以上越冬白鹤的重要食源地。同时，鄱阳湖区采砂活动的规范、有序的统一管理，采期、采区和采量的规划实施，显著减弱了主湖区及主航道附近采砂活动对白鹤栖息地的干扰影响。在现有自然保护区管理及人工湿地建设基础上，未来白鹤栖息地保护策略还应着眼于当前鄱阳湖枯水期湿地水文条件发生显著变化的情况下，如何提升鄱阳湖湿地的生态系统服务功能。

15



本章小结

本章节聚焦SDG 15进展评估中的数据与方法空缺，利用地球大数据手段得到了全球山地绿色覆盖指数及濒危物种公里网格空间精细分布2套数据集产品；开展了中国生态系统质量动态评估及草地生态系统保护现状及差距分析，并评估了越冬白鹤这一重要物种栖息地的时空动态。

通过案例的研究，我们得出以下主要结论：

(1) 在生态系统保护方面，发现中国2000~2015年间生态系统质量显著提升，生态系统质量综合指数同比上升约21%。对草地这一特定生态系统，中国草地生态系统总体保护效果较好，但仍有5类分布面积较小的草地保护比例低。

(2) 在濒危物种栖息地保护方面，发现1993年以

来鄱阳湖越冬白鹤栖息地呈退化趋势。未来，应针对鄱阳湖湿地自然保护区内栖息地聚集特征进一步减弱，开展针对性保护策略。

当前，距离2030年可持续发展目标实现期限仅有不到10年。考虑到生态系统从保护恢复到效益显现需要较长时间，只有紧急采取一致和有效的行动保护和恢复生态系统，才有可能完全实现2030年可持续发展议程包含的陆地生物可持续发展目标。科学技术是促进陆地生物可持续发展目标实现的重要手段。未来，应针对SDG 15进展评估中对不同尺度地理空间数据的需求，进一步挖掘地球大数据手段的优势，为SDG 15进展评估提供更好的数据、产品及工具支撑，进而为促进2030年SDG 15目标的实现作出贡献。



中国九寨沟

SDG多指标交叉

一、背景介绍

联合国可持续发展目标之间存在的复杂相互作用是影响 SDG 目标执行的关键挑战。追踪并理解 SDG 指标间的交叉关系，对于实现未来可持续发展目标、动态调整可持续发展路径具有重大意义。

SDG 指标交叉包含了 SDG 目标内的指标交叉及不同 SDG 目标间的指标交叉。SDG 指标间的交叉关系主要体现为协同与权衡关系，且这种关系随着时空迁移、影响要素变化进一步影响着可持续发展的实现。协同关系指特定指标的实现同时促进其他指标的改善，表征的是指标间的相互促进关系；权衡关系指某个指标的实现以牺牲其他指标为代价，表征的是指标间的相互制衡关系。参考联合国环境规划署关于 SDG 指标的分类体系（UNEP, 2021），现有的 SDG 指标可扩展分为三类：环境状态类指标、社会经济状态类指标和驱动力类指标。三类指标间的相互作用关系如图 8-1 所示，驱动力类指标驱动环境状态类指标与社会经济状态类指标的改变；环境状态类指标、社会经济状态类指标作为 SDG 目标实现的度量方式，相互之间存在着权衡与协同，以反作用的方式影响驱动力指标的实施，同时，三大类指标内部也存在着复杂的协同与权衡关系。

从全球尺度的空间格局上来看，世界上绝大多数的国家都表现出 SDG 指标间的协同关系多于权衡关系的特点，这为 2030 年议程的实施提供了牢固的基础。通常情

况下，SDG 指标间的权衡关系可以与传统的非可持续性发展联系起来，其原因在于过度强调社会经济增长而以牺牲环境为代价（Pradhan *et al.*, 2017）。比如，在一些国家，为增长电力供应而增加不可再生能源的使用量，使得“可再生能源份额”（SDG 7.2.1）与“获得电力供应”（SDG 7.1.1）指标在全球层面呈现出显著的负相关关系；为增加粮食产量（SDG 2.4.1）而增加灌溉用水往往建立在牺牲生态环境用水基础之上，使得一些地区环境状态类指标（水资源量 SDG 6.6 和生态系统 SDG 15.1）有所退化；为改善健康（SDG 3）和营养状况（SDG 2）大力发展社会生产，往往导致温室气体排放（SDG 13.2.2）增加。因此，厘清 SDG 指标间的交叉关系，动态监测 SDG 指标状态及评估其发展趋势，为协调可持续发展目标的实施与路径调整提供决策支持，显得尤为重要。

目前，许多国际组织与机构均已关注 SDG 指标间的相互作用关系研究。例如，联合国水机制对 SDG 6 的六个具体目标与其他具有潜在相互作用关系的 SDG 具体目标开展了分析，发现其中主要体现为协同关系的目标对有 127 对，具有潜在权衡关系的目标对有 29 对（UN-Water, 2016）。联合国环境规划署以 12 个环境状态类 SDG 指标为切入点，分析了它们与其他两类指标间的相互关系，分析评价环境状态类 SDG 指标进展，为指标落实提供决策支持（UNEP, 2021）。

集卫星观测、近地面观测和地面调查等方式融合的地球大数据具备海量、多源、多时相等特征，为 SDG 监测与评价提供重要的数据支撑。基于空间分析等技术手段，地球大数据可在以下三个方面支撑 SDG 多指标交叉研究：①从 SDG 多指标之间相关性入手，评估不同 SDG 指标间的协同与权衡关系，以发现潜在科学问题及评价政策措施的影响；②从 SDG 多指标在时间上演变入手，分析 SDG 多指标相互作用下未来环境、经济、社会等不同发展情景，以指导政策的动态规划；③从 SDG 多指标在区域的综合实践入手，开展区域 SDG 综合评估，以监测区域可持续发展的实施进程。

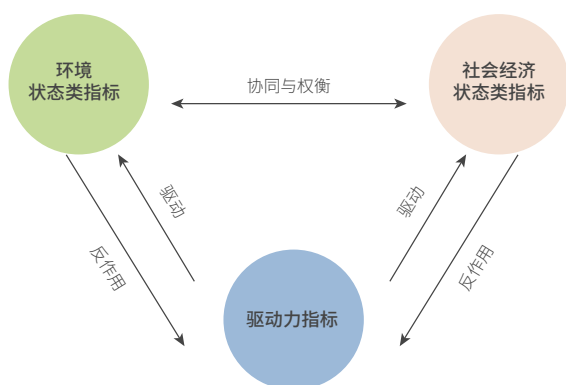


图 8-1. SDG 不同指标类型交叉关系图

二、地球大数据支撑SDG多指标交叉研究方法与实践

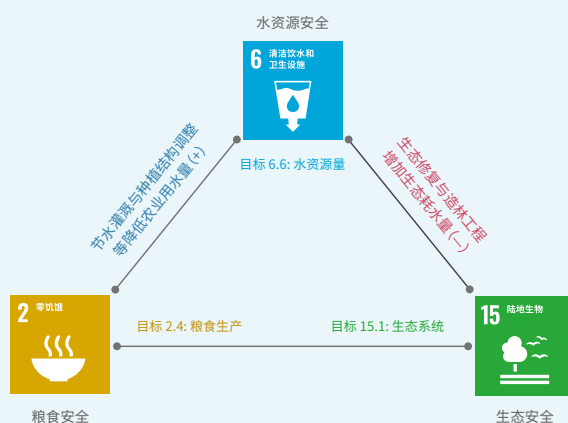
1.SDG 多指标交叉关系的量化与评估

地球大数据在空间信息挖掘方面具有显著的优势，不仅能够实现对环境状态类指标（如 SDG 6.6 水资源、SDG 15.1.1 森林覆盖、SDG 13.2.2 温室气体等）的监测（Avtar *et al.*, 2020），而且通过地理分解耦合人口-经济-社会等多源信息还能够更高维度上实现对社会经济状态类指标（SDG 11.1.1 便利交通、SDG 13.1.1 灾害损失等）

的监测与评估（陈军等，2019）。区域长时间序列 SDG 相关指标数据的监测结果，为不同指标间的相互作用关系研究提供数据支撑。在此基础上，基于相关性分析、网络分析等方法可量化不同 SDG 指标间的协同与权衡关系（Weitz *et al.*, 2018）。同时，对于已知权衡或协同关系的 SDG 指标，可基于地球大数据技术评估其动态变化过程，为政策的制定及执行效果评价提供决策参考。

案例：华北地区水-粮食-生态安全多SDG指标相互作用关系评估

华北地区是中国传统的粮食主产区，其粮食产量、人口及 GDP 都占全国总量的四分之一以上，而水资源量仅占全国的 3%，水资源安全（SDG 6.4）与可持续粮食生产（SDG 2.4）的权衡是区域可持续发展需要解决的重大问题。此外，1999 年起国家实施的大规模的生态修复工程（天然林保护工程和退耕还林工程）带来了区域生态状况好转，植被明显改善（SDG 15.1）提升水源涵养能力的同时，生态耗水量也在增加，与水资源安全（SDG 6.4）也形成权衡关系（图 8-2）。基于地球大数据技术，通过对过去 20 年华北地区地表及地下水资源量（SDG 6.6）、生态系统指标（SDG 15.1）持续监测发现华北地区受益于农业节水灌溉、种植结构调整、南水北调等一系列政府决策，使得粮食连年稳产增产的同时，农业用水量持续下降，水资源状况持续改善，地表水面积持续扩大，水安全与粮食安全



目标的权衡关系趋于缓解，为同类型地区解决水-粮食-生态安全多目标的权衡问题提供决策参考。

2.SDG 多指标相互作用下发展情景模拟与演化

可持续发展目标涉及的范围广泛，其所固有的长期性、系统性和复杂性对政策制定者提出了挑战，政策制定者需要以综合方式评估其对经济、社会和环境发展的长期影响。情景模拟与演化分析可以着眼长远，以协调社会、经济和环境目标为主要任务，通过建模定量分析

为可持续发展的规划提供科学依据与技术支撑（Allen *et al.*, 2016）。地球大数据具有多尺度、长时间序列、空间属性及海量数据的特点，使用地球大数据对 SDG 多指标的相互作用关系及演化过程进行建模，从地理空间视角模拟未来环境、经济和社会等不同发展情景，从而为政策的动态规划和制定提供决策参考。

案例：SDG多指标相互作用下中国土地利用发展情景模拟与分析

土地资源的可持续利用对实现以经济发展、社会进步和环境保护为主要目标的可持续发展具有重要作用 (Hong *et al.*, 2021)。依据过去 20 年中国土地利用类型在多 SDG 指标约束下的发展变化，通过构建中国土地利用需求的系统动力学模型，对未来土地利用需

求进行情景模拟与演变分析。SDG 指标体系中的环境状态类指标 (SDG 11.6.2)，社会经济状态类指标 (SDG 3.c.1、11.2.1、11.7.1、8.1.1、8.5.2) 以及驱动力类指标 (SDG 6.3.1、9.5.1) 分别对建设用地、耕地、林地和草地等土地利用类型产生约束性影响 (图 8-3)。设

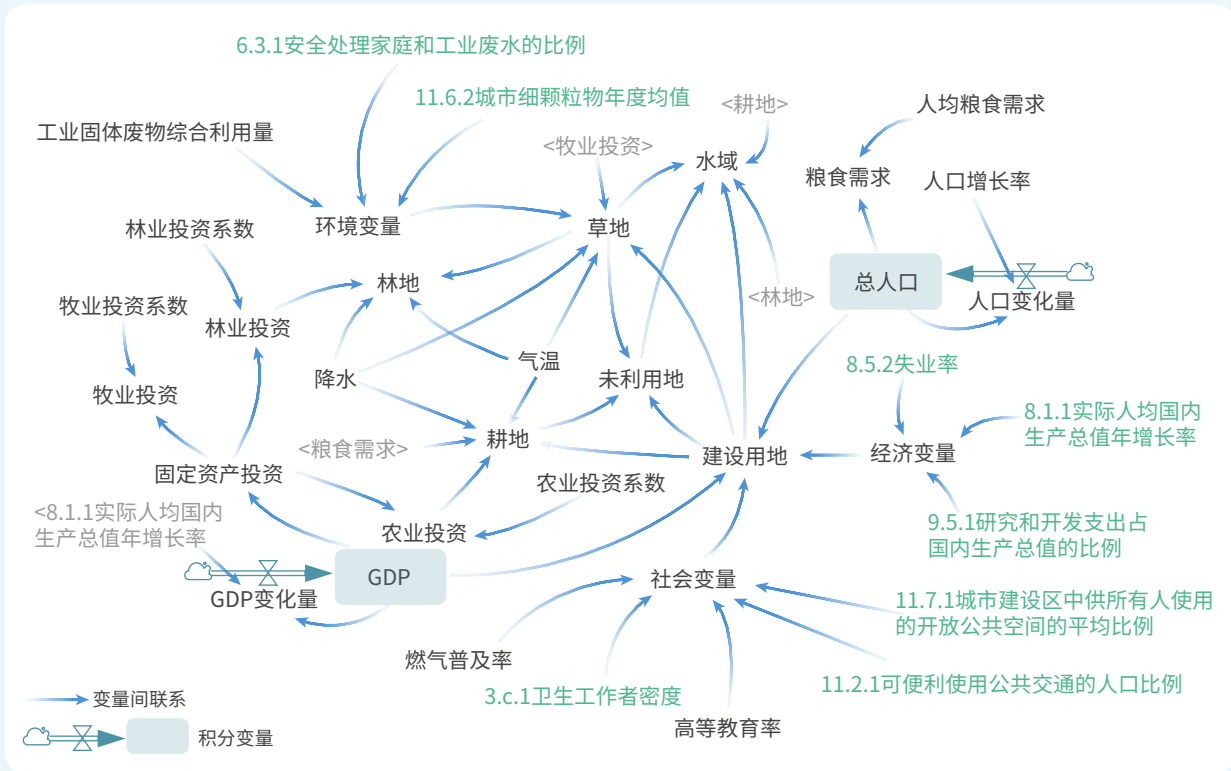


图 8-3. 不同 SDG 指标相互作用下土地利用类型转化关系图

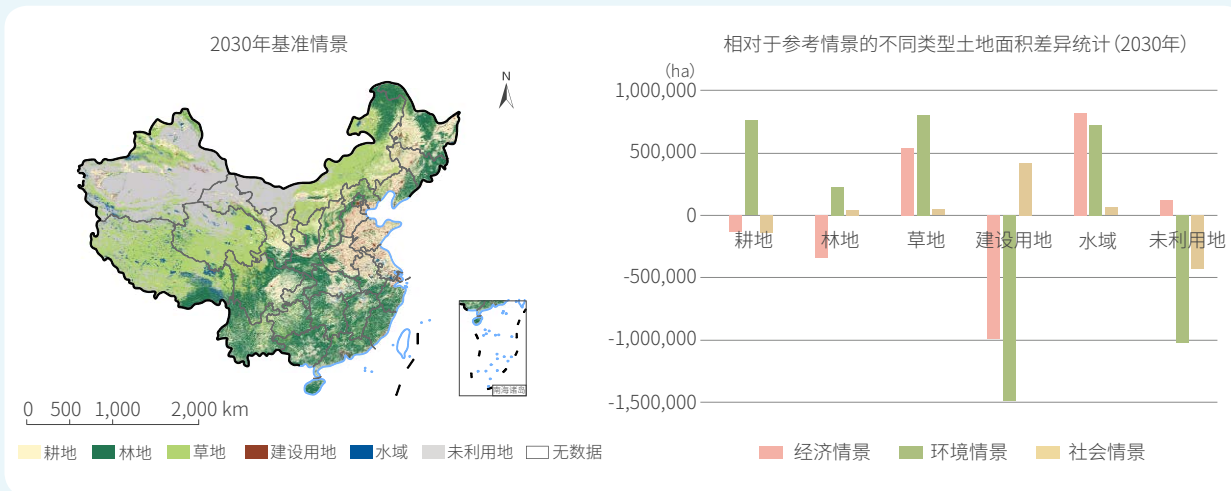


图 8-4. 中国土地利用类型情景模拟结果 (2030)

定基准、经济、环境和社会四种发展情景，其中，基准情景沿历史变化趋势推演（图 8-4），经济情景关注 GDP 的增长与支出，环境情景注重污染排放和环境保护问题，社会情景侧重于提高人居舒适程度。利用元

胞自动机模型空间化，得到不同可持续情景下中国土地利用序列空间数据。模拟结果可为中国未来可持续发展路径的动态规划与调整提供决策参考。

3. 区域 SDG 综合评估

区域作为多尺度、多类型的局地地球资源环境系统，是可持续发展实施的具体载体，在实施可持续发展战略中占据重要地位。影响不同尺度、不同类型的区域可持续发展的因素并不完全一致。开展区域 SDG 综合评估的目的是要全面、系统性梳理针对特定区域各类 SDG 指标，以城镇化、生态环境、水资源、农业等单主题综合及多主题大综合的方式评估区域整体及内部不同空间单元的可持续发展状况。此外，还可针对该区域的 SDG 多

指标交叉关系的量化与评估、SDG 多指标相互作用下区域发展情景模拟与演化等方面开展专题评估。同时，区域作为一个开放的耦合系统其内部及外部不同地理空间之间 SDG 多指标的相互作用均可作为研究的着力点。本年度，可持续发展大数据国际研究中心已经在我国海南省、广东省深圳市、广西壮族自治区桂林市、云南省临沧市等地部署了区域 SDG 综合评估示范工作，取得了初步实践成果。未来将继续深入更多主题及目标层面开展评估工作。

案例：海南岛SDG城市可持续发展综合评估

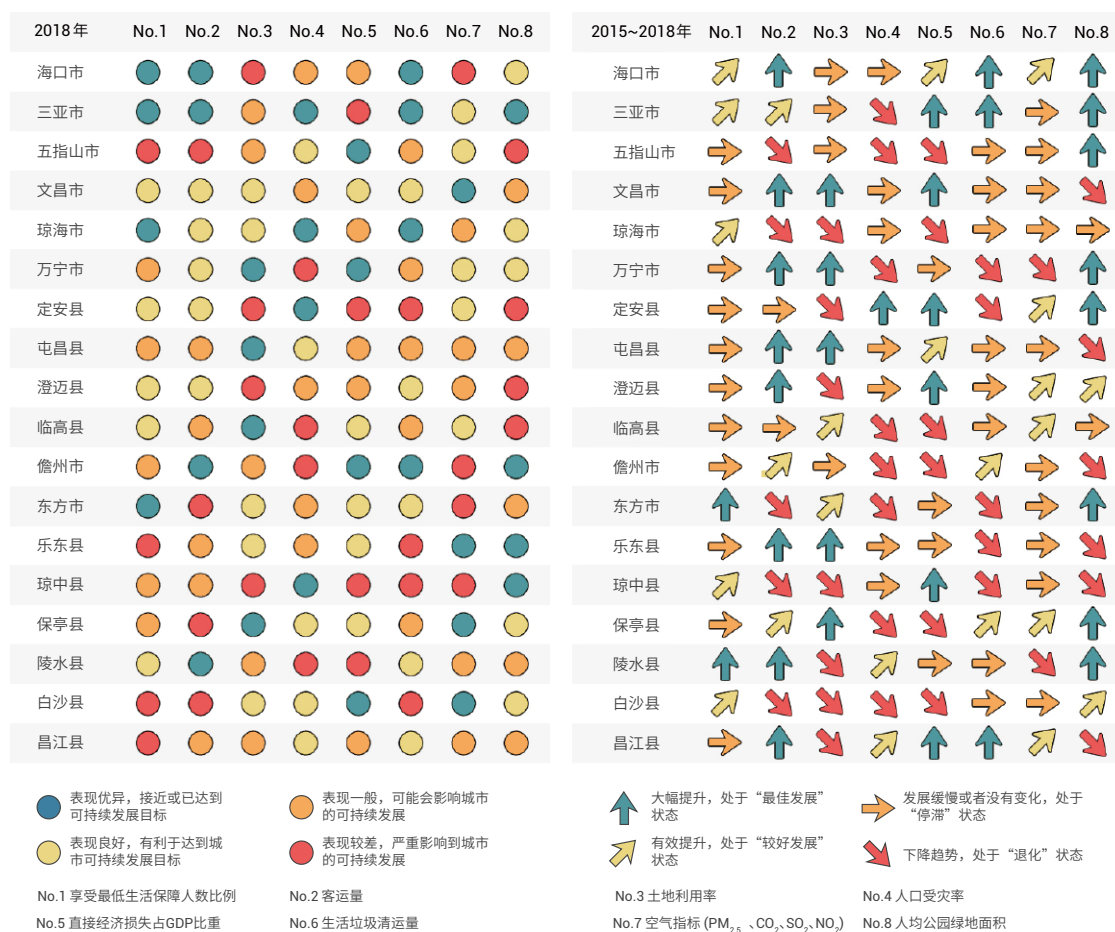
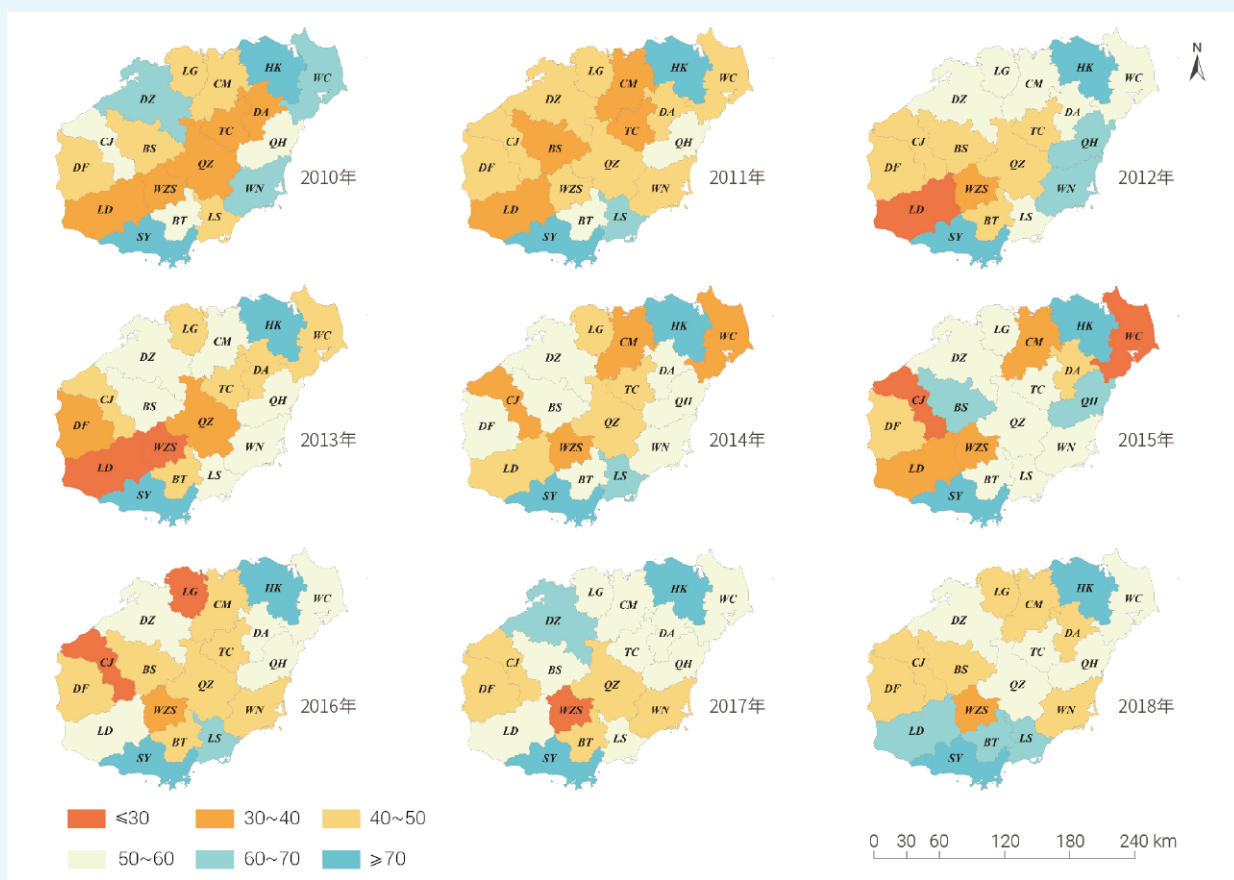


图 8-5. 左图为 2018 年海南岛各市县城市可持续性单指标得分图，右图为 2015~2018 年间单指标增长趋势

在海南岛的示范研究中，利用对地观测、统计等众源数据开展城市可持续发展为主题的区域SDG综合评估。案例系统地开展了2010~2019年海南岛市县尺度SDG城市可持续发展指标监测与综合评估。海南岛城市可持续性综合评估包括三个步骤：① 筛选数据极值，通过归一化得到单指标得分；② 构建单指标仪表盘并构建单指标趋势图；③ 计算城市综合可持续发展评分。结果发现2010~2015年，海南岛各市县的综

合可持续发展得分整体上下波动较大（图8-5），在2015年后，随着海南省“十三五”规划的推动，海南岛整体可持续发展水平快速上升。在2010~2018年，海南岛可持续发展水平呈“南北两端高、中西部低”的空间分布格局（图8-6）。海口市和三亚市分别作为行政中心和旅游中心，是可持续发展水平最高的城市。评估方法为其他省份和区域落实联合国可持续发展目标提供实施途径和解决方案。



↑ 图 8-6. 2010~2018 年间海南岛各市县城市可持续性综合评价结果图（HK: 海口市, SY: 三亚市, DZ: 儋州市, WZS: 五指山市, QH: 琼海市, WCS: 文昌市, WN: 万宁市, DF: 东方市, DA: 定安县, TC: 屯昌县, CM: 澄迈县, LG: 临高县, BS: 白沙县, CJ: 昌江县, LD: 乐东县, LS: 陵水县, BT: 保亭县, QZ: 琼中县）

三、本章小结

可持续发展的三大维度（经济、社会、环境）之间的关系并非简单、线性、可补偿的。它们之间的相互作用主要表现为协同与权衡关系，总体来说，与环境可持续性呈现协同关系的SDG指标应作为社会经济发展的优先目标，而呈权衡关系的SDG指标则要防范其实现过程中可能产生的生态环境风险。本章分析了不同类别SDG指标间主要存在的协同与权衡关系。探讨示范了地球大数据支撑SDG多指标交叉研究中的方法与实践：

（1）在支撑SDG多指标交叉关系的量化与评估方面，以华北地区为例分析了粮食产量（SDG 2.4）、用水效率（SDG 6.4）、生态保护（SDG 15.1）目标间的相互关系，展现了南水北调、农业结构调整、节水灌溉等政策对三个目标间冲突关系的缓解效应。

（2）在支撑SDG多指标相互作用下发展情景模拟与演化研究方面，以中国国家尺度为例，基于可持续发展多指标间的内在关联及其相互作用机理，构建多SDG

约束下的中国土地利用演化模型，进行SDG多指标共同作用下的土地利用模拟，并对比分析了2030年中国不同可持续情景下土地利用情景，为未来中国SDG实施路径提供决策参考。

（3）在区域SDG综合评估方面，以海南岛为例，利用对地观测、统计等众源数据开展城市可持续发展为主题的区域SDG综合评估。构建了单指标仪表盘及趋势图，并综合评估海南省本岛城市综合可持续发展情况。为其他省份和区域开展联合国可持续发展目标监测与评估提供方法参考。

从SDG目标执行的角度出发，未来应该充分发挥地球大数据的技术优势，利用技术促进机制加强对SDG指标间相互关系研究，探索新的工具和方法，综合量化可持续发展目标与指标之间交叉关系的程度，提供更相关、更丰富的信息为SDG多目标实现路径提供决策参考。

总结与展望

新冠疫情全球蔓延是公共卫生安全领域的事件，对全球可持续发展的各个方面都造成了巨大的冲击，导致2020年全球可持续发展得分从2015年实施以来首次下降。与此同时，疫情正危及对实现可持续发展目标至关重要的数据生产，许多国家的实地数据采集受到了严重干扰。因此，如何发挥科学技术和创新在数据采集以及SDG指标监测与评估中的作用，是对科技创新提出的更高的要求。本报告针对6个SDGs（零饥饿、清洁饮水和卫生设施、可持续城市和社区、气候行动、水下生物和陆地生物）及SDG多指标交叉，从数据产品、方法模型和决策支持三个方面在不同尺度开展了地球大数据支撑联合国SDG指标评估的案例研究。

（1）针对SDG 2.4具体目标，在中国国家和地区尺度开展研究，实现了2001年至2020年年度更新的中国耕地复种指数提取，发现近20年来，中国复种指数下降约6%；通过融合时序遥感数据分区作物农时历及种植面积统计信息，实现了中国2000年和2015年14种主要作物空间分布制图；面向粮食生产系统转型，构建了高效生态农业模式，并通过实体试验农场的建设，揭示了这一农业模式在提升经济效益、降低资源消耗，减轻环境影响方面的贡献，为发展可持续农业模式提供了范例。

（2）针对SDG 6.3、SDG 6.4、SDG 6.5和SDG 6.6具体目标，在中国和全球两个尺度上开展指标监测评估，发现2000年以来，中国面积大于1 km²湖泊变得更加清澈、农作物水分利用效率呈增加趋势、自然和人工水体分布面积增加、沼泽湿地损失明显减缓，中国水资源综合管理水平提升明显。在全球尺度，面积大于25 km²的湖泊水体总体变得更清澈，农业区的作物水分利用效率呈增加趋势。

（3）针对SDG 11.2、SDG 11.5和SDG 11.7具体目标，在中国尺度开展相关研究，发现2020年中国可便利使用公共交通人口整体比例为90.15%，与2018年相比上升9.59%；2010年以来，我国自然灾害影响总体呈现减轻趋势，综合防灾减灾能力和城市抵御自然灾害的设防能力得到明显提升；2000年以来，中国93个典型

城市建成用地的绿地空间呈上升趋势，城市生态绿化成效显著；在SDG 11城市综合评估方面，相比2015年，2020年各市级行政区可持续性表现较好，其综合指数平均值由0.64增长到0.73；中国东部市级行政区的SDG 11综合指数高于西部市级行政区。

（4）针对SDG 13.1、SDG 13.2和SDG 13.3具体目标，在中国和全球尺度开展研究，发现近10年来，沙尘暴发生的频次呈明显下降趋势；中国的CO₂排放自2015年以来，仍在不断增加，但增加趋势放缓；近10年来中国森林的固碳能力增强，其中云南森林固碳最多，其次为广西和广东。全球的陆地生态固碳过程中土地覆盖变化、气候变化是重要的驱动因素；近30年来，由于气候变化导致的全球海洋热含量不断上升，且不断加剧。

（5）针对SDG 14.2具体目标，在中国沿海地区开展研究，发现利用卫星遥感手段可以动态对大型漂浮藻华进行快速识别，结合四维变分同化预报模型对藻华漂移轨迹进行预测，可为黄海大型藻华华防控提供决策支持；2015~2020年间，中国红树林面积净增长16%，广西沿岸红树林增加最为显著；近5年间，在退塘还湿等政策驱动下，中国滨海养殖池面积总体呈现持续下降趋势，下降比例最大的是浙江省。

（6）针对SDG 15.1、SDG 15.4和SDG 15.5具体目标，在全球-中国-典型地区开展相关研究，发现2000-2015年我国生态系统质量提升显著，生态系统质量综合指数同比上升约21%；我国重要草地生态系统保护状况总体较好，但仍有5类分布较小的草地保护比例较低；生产了全球2015、2020年两期全球高分辨率山地绿色覆盖指数数据，并分析了全球不同山地类型、海拔梯度下山地绿色覆盖指数的时空变化特征；通过大数据模拟获取了75种濒危植物和菌类在空间上公里网格尺度的物种分布丰富度图，为生物多样性重要性场所评估提供了定量支撑；生产了长时间序列越冬白鹤栖息地数据时空分布数据集，并对栖息地失控动态变化及未来有效保护进行了分析。

（7）针对SDG多指标交叉，分析了不同类别SDG

指标间主要存在的协同与权衡关系，探讨了地球大数据在支撑 SDG 多指标交叉研究中的方法与实践，包括 SDG 多指标交叉关系的量化与评估，SDG 多指标相互作用下发展情景模拟与演化研究，区域 SDG 综合评估三个方面。

过去三年多时间，中国科学院在 SDG 指标评估方法、数据拓展等方面进行了先期的研究，但仍然面临着诸多挑战，比如指标评估所依赖的时空多类型数据的缺失，数据共享标准、安全性及权限的障碍等。地球大数据支撑 SDGs 实现，未来需要重点开展以下工作：

1. 建立面向 SDGs 的地球大数据基础设施

17 项 SDGs 涉及不同类型的数据。它们通常对应于不同空间和时间尺度上的社会现象或环境问题。目前，SDG 评估使用的主要数据来源为统计调查，但由于调查时间不同，难以满足 SDG 评估需求，调查数据的数量和质量参差不齐。联合国秘书长安东尼奥·古特雷斯在《2020 年可持续发展目标报告》中特别强调需要更好地利用数据，尤其是更加注重发挥科学技术和创新在数据采集中的作用。因此，我们需要改进现有的统计数据获取方法，需要通过使用地球大数据分析来改进 SDG 数据基础设施的建设。通过开放的数据存储、计算设施和先进的数据处理方法，保障 SDG 数据在全球的收集和分析，以获取具有高质量、时空一致性的 SDG 数据。

2. 提高数据访问和共享能力

许多组织致力于建立数据和信息平台来支持可持续发展目标评估。但是，由于政策层面的共享策略缺乏共识，技术层面还没有形成包括数据结构和安全在内的统一标准，用户可能无法访问其他机构拥有的数据，或者某些数据可能是基于特定统计单位生成的，其他人无法直接使用。SDG 数据访问和共享的模型和技术标准应由

科研机构、政府、私营部门和民间社会参与者共同制定。

CASEarth 地球大数据平台 (<http://data.casearth.cn/>) 于 2019 年 1 月上线，目前拥有 10 PB 数据用于 SDG 分析（例如卫星数据、生物和生态数据、组学数据）。用户可以自由浏览元数据或进行关键字搜索和下载数据。

3. 加强科学技术在 SDG 实现中的杠杆作用

联合国《2019 年全球可持续发展报告》提出从 6 个切入点出发，以 4 个杠杆连贯地通过每个切入点进行部署，从而实现联合国 2030 年可持续发展议程所需的转型，其中科学技术是最重要的杠杆之一。为了推动实现 SDGs 所需的社会和经济转型，需要更好地利用地球大数据科学。基于地球大数据技术生产高质量评价数据集，以及支撑 SDG 指标监测科学技术的创新，让科学技术发挥真正的杠杆作用。因此，不同年龄、性别、教育和经济水平的人们需要以直接、清晰、易懂的方式理解和应用地球大数据对可持续发展目标的科技优势，以确保科学和技术作为杠杆的核心作用。

4. 开展不同区域 SDG 综合应用示范研究

联合国可持续发展目标包含社会、经济、环境三个维度，不同区域面临不同的可持续发展问题。地球大数据具有的多尺度特征，需要有针对性的对指标进行本地化筛选和调整，探索构建不同空间尺度（国家-省-市-县）的可持续发展指标体系，形成地球大数据支撑下 SDG 指标体系面向不同示范区的算法、标准，搭建相关的技术产品体系，形成具有特色的可持续发展创新综合示范系统，为同类地区应用提供示范参考。

我们相信地球大数据作为一种通往可持续性科学的新方法，能够为支撑可持续发展目标的实施带来重要价值。

缩略词

| | | |
|----------|---|----------------|
| AVISO | Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic Data | 卫星海洋学存档数据中心 |
| BED | Big Earth Data | 地球大数据 |
| BEPS | Boreal Ecosystem Productivity Simulator | 北方生态系统生产力模拟器 |
| 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 |
| CBAS | International Research Center of Big Data for Sustainable Development Goals | 可持续发展大数据国际研究中心 |
| CCMP | Cross-Calibrated Multi-Platform | 多平台交叉校正 |
| CEADs | Carbon Emission Account & Datasets | 中国碳排放数据库 |
| CGLS | Copernicus Global Land Service | 哥白尼全球土地服务公司 |
| COVID-19 | Coronavirus Disease 2019 | 新型冠状病毒肺炎 |
| DEM | Digital Elevation Model | 数字高程模型 |
| EEAP | Efficient Ecological Agricultural Paradigm | 高效生态农业模式 |
| ELR | Environmental Loading Ratio | 环境负载率 |
| EMLS | European Multi Lake Survey | 欧洲湖泊调查 |
| ESA-CCI | European Space Agency-Climate Change Initiative | 欧洲航天局气候变化倡议 |
| EQI | Ecosystem Quality Index | 生态系统质量综合指数 |
| ESI | Emergy Sustainability Index | 能值可持续发展指数 |
| ET | Evapotranspiration | 蒸散耗水量 |
| EVI | Enhanced Vegetation Index | 增强植被指数 |
| FAO | Food and Agriculture Organization of the United Nations | 联合国粮食及农业组织 |
| FAPAR | Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation | 光合有效辐射吸收比例 |
| FUE | Fertilizer Use Efficiency | 化肥利用效率 |
| FORCCHN | Forest Ecosystem Carbon Budget Model For CHiNa | 森林生态系统碳收支模型 |
| GDP | Gross Domestic Product | 国内生产总值 |
| GFS | Global Forecast System | 全球预报系统 |
| GHRSSST | Group for High Resolution Sea Surface Temperature | 高分辨率海表温度组 |
| GLASS | Global Land Surface Satellite | 全球陆表特征参量 |
| GPM | Global Precipitation Measurement | 全球降水测量数据 |
| GPP | Gross Primary Productivity | 总初级生产力 |

| | | |
|-------|---|---------------------------|
| GRP | Gross Regional Product | 地区生产总值 |
| GSW | Global Surface Water | 全球地表水 |
| GVG | GPS, Video, and GIS | 全球定位系统、视频与地理信息系统构成的农情采样系统 |
| HOHC | Hybrid Object-based and Hierarchical Classification | 集成面向对象与分层决策树分类技术 |
| HYCOM | HYbrid Coordinate Ocean Model | 混合坐标海洋模式 |
| IUCN | International Union for Conservation of Nature | 世界自然保护联盟 |
| IW | Irrigation Water | 灌溉水量 |
| IWRM | Integrated Water Resources Management | 水资源综合管理 |
| JRC | European Commission's Joint Research Centre | 欧盟委员会联合研究中心 |
| LAI | Leaf Area Index | 叶面积指数 |
| LPO | Land Profit Output | 土地收益率 |
| LULC | Land Use and Land Cover | 土地覆盖 / 利用 |
| MDG | Millennium Development Goals | 千年发展目标 |
| MGCI | Mountain Green Cover Index | 山地绿色覆盖指数 |
| MK | Mann-Kendall | 曼 - 肯德尔 |
| MODIS | Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer | 中分辨率成像光谱仪 |
| NDBI | Normalized Difference Building Index | 归一化建筑物指数 |
| NDVI | Normalized Difference Vegetation Index | 归一化植被指数 |
| NDWI | Normalized Difference Water Index | 归一化水体指数 |
| NEP | Net Ecosystem Productivity | 净生态系统生产力 |
| NOAA | National Oceanic and Atmospheric Administration | 美国国家海洋和大气管理局 |
| NPP | Net Primary Productivity | 净初级生产力 |
| OA | Overall Accuracy | 整体精度 |
| OECD | Organisation for Economic Cooperation and Development | 经济合作与发展组织 |
| OHC | Ocean Heat Content | 海洋热含量 |
| OISST | Optimum Interpolation Sea Surface Temperature | 最优插值海面温度 |
| PA | Producer's Accuracy | 生产者精度 |
| PU | Pesticide USE | 农药施用量 |
| PCA | Principle Component Analysis | 主成分分析 |
| RCR | Relative Change Rate | 相对变化率 |
| ROMS | Regional Ocean Modeling System | 区域海洋模式系统 |
| SAR | Synthetic Aperture Radar | 合成孔径雷达 |
| SDGs | Sustainable Development Goals | 可持续发展目标 |

| | | |
|-----------|---|----------------------|
| SOM | Soil Organic Matter | 土壤有机质 |
| SDSN | Sustainable Development Solution Network | 可持续发展解决方案网络 |
| SRTM | Shuttle Radar Topography Mission | 航天飞机雷达地形测绘任务 |
| SSH | Sea Surface Height | 海表高度数据 |
| SST | Sea Surface Temperature | 海表温度数据 |
| SSW | Sea Surface Wind Vector | 海表风场数据 |
| TP | Traditional Paradigm | 传统模式 |
| UA | User's Accuracy | 用户精度 |
| UN | United Nations | 联合国 |
| UNEP | United Nations Environment Programme | 联合国环境规划署 |
| UNEP-WCMC | United Nations Environment Programme-World Conservation Monitoring Centre | 联合国环境规划署 - 世界保护与监测中心 |
| UNSD | United Nations Statistics Division | 联合国统计司 |
| VIIRS-DNB | Visible Infrared Imaging Radiometer Suite Day/Night Band | 可见光红外成像辐射计仪白天 / 夜晚波段 |
| WUE | Water Use Efficiency | 水分利用效率 |

主要参考文献

- Acuto, M., Parnell, S., Seto, K. (2018). Building a global urban science[J]. *Nature Sustainability* 1: 2–4. doi:10.1038/s41893-017-0013-9.
- Allen, C., Metternicht, G., Wiedmann, T. (2016). National pathways to the Sustainable Development Goals (SDGs): A comparative review of scenario modelling tools[J]. *Environmental Science & Policy* 66: 199–207. doi:10.1016/j.envsci.2016.09.008.
- Asrar, G., Fuchs, M., Kanemasu, E. T., *et al.* (1984). Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat[J]. *Agronomy Journal* 76(2): 300–306. doi:10.2134/agronj1984.00021962007600020029x.
- Avtar, R., Aggarwal, R., Kharrazi, A., *et al.* (2020). Utilizing geospatial information to implement SDGs and monitor their Progress[J]. *Environmental Monitoring and Assessment* 192(1): 35. doi:10.1007/s10661-019-7996-9.
- Bian, J., Li, A., Lei, G., *et al.* (2020). Global high-resolution mountain green cover index mapping based on Landsat images and Google Earth Engine. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 162: 63–76. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2020.02.011.
- Bryan, B. A., Gao, L., Ye, Y. *et al.* (2018). China's response to a national land-system sustainability emergency[J]. *Nature* 559(7713): 193–204. doi:10.1038/s41586-018-0280-2.
- Chen, J. M. (2021). Carbon neutrality towards sustainable future. *The Innovation* 2(3): 100127. doi:10.1016/j.xinn.2021.100127.
- Chen, J. M., Ju, W., Ciais, P., *et al.* (2019). Vegetation structural change since 1981 significantly enhanced the terrestrial carbon sink[J]. *Nature Communications* 10: 4259. doi: 10.1038/s41467-019-12257-8.
- Cheng, L., Abraham, J., Hausfather, Z., *et al.* (2019). How fast are the oceans warming?[J]. *Science* 363 (6423): 128–129. doi: 10.1126/science.aav7619.
- Cheng, L., Abraham, J., Trenberth, K. E., *et al.* (2021). Upper ocean temperatures hit record high in 2020[J]. *Advances in Atmospheric Sciences* 38: 523–530. doi: 10.1007/s00376-021-0447-x.
- Chi, C., Park, T., Wang, X., *et al.* (2019). China and India lead in greening of the world through land-use management[J]. *Nature Sustainability* 2: 122–129. doi:10.1038/s41893-019-0220-7.
- Climate Action Tracker (CAT). (2020). The recent wave of net zero targets has put the Paris Agreement's 1.5°C within striking distance. <https://climateactiontracker.org/publications/global-update-paris-agreement-turning-point/>
- Crippa, M., Solazzo, E., Guizzardi, D., *et al.* (2021). Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions[J]. *Nature Food* 2: 198–209. doi: 10.1038/s43016-021-00225-9.
- Du, S., Liu, B., Zhang, X. (2021). Mapping large-scale and fine-grained urban functional zones from VHR images using a multi-scale semantic segmentation network and object-based approach[J]. *Remote Sensing of Environment* 261: 112480. doi:10.1016/j.rse.2021.112480.
- Elmqvist, T., Andersson, E., Frantzeskaki, N., *et al.* (2019). Sustainability and resilience for transformation in the urban century[J]. *Nature Sustainability* 2: 267–273. doi: 10.1038/s41893-019-0250-1.
- FAO. (2017). Metadata 15.04.02. <https://unstats.un.org/sdgs/metadata/files/Metadata-15-04-02.pdf>(Last updated: 12 February 2021, accessed on 26 May 2021).
- FAO. (2018). Guiding the Transition to Sustainable Food and Agricultural Systems. Rome, Italy. https://www.socioeco.org/bdf_fiche-document-7625_en.html.
- FAO (2020a). Factsheets on the 21 SDG Indicators Under FAO Custodianship. A Highlight of the Main Indicators with the Greatest Gaps in Country Reporting. Rome. <http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca8958en>.
- FAO. (2020b). The State of Food and Agriculture(SOFA) 2020. Overcoming Water Challenges in Agriculture. Rome, Italy. <https://www.unwater.org/the-state-of-food-and-agriculture-2020-overcoming-water-challenges-in-agriculture>.
- FAO. (2020c). Global Forest Resources Assessment 2020: Main report. Rome, Italy.
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. (2021). The State of Food Security and Nutrition in the World 2021: Transforming

- Food Systems for Food Security, Improved Nutrition and Affordable Healthy Diets for All. Rome, Italy. <https://data.unicef.org/resources/sofi-2021>.
- Field, C. B., Randerson, J. T., Malmstrom, C. M. (1995). Global net primary production: Combining ecology and remote sensing[J]. *Remote Sensing of Environment* 51: 74–88. doi: 10.1016/0034-4257(94)00066-v.
- 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. (2021). *Big Earth Data in Support of the Sustainable Development Goals (2021)* [M]. Beijing: Science Press and EDP Sciences.
- Guo H. D., Chen F., Sun Z. C., et al. (2021). Big Earth Data: A practice of sustainability science to achieve the Sustainable Development Goals[J]. *Science Bulletin* 66: 1050–1053. doi: 10.1016/j.scib.2021.01.012.
- Hong, C. P., Burney, J. A., Pongratz, J., et al. (2021). Global and regional drivers of land-use emissions in 1961–2017[J]. *Nature* 589: 554–589. doi:10.1038/s41586-020-03138-y.
- Hu, G. C., Jia, L. (2015). Monitoring of evapotranspiration in a semi-arid inland river basin by combining microwave and optical remote sensing observations[J]. *Remote Sensing* 7(3): 3056–3087. doi: 10.3390/rs70303056.
- IAEG-SDGS. (2021). Tier Classification for Global SDG Indicators. Interagency and Expert Group on SDG Indicators, New York.
- Immerzeel, W. W., Lutz, A. F., Andrade, M., et al. (2020). Importance and vulnerability of the world's water towers[J]. *Nature* 577: 364. doi: 10.1038/s41586-019-1822-y.
- IPBES. (2018). The IPBES Assessment Report on Land Degradation and Restoration. Montanarella, L., Scholes, R., and Brainich, A. (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany.
- IPCC. (2018). Summary for Policymakers. In: Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H. O. et al. (eds.). Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C Above Pre-industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty. <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>.
- IPCC. (2019). Summary for Policymakers. In: Pörtner, H. O., Roberts, D.C., Masson-Delmotte, V. et al. (eds.). IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. https://www.researchgate.net/publication/336134726_Summary_for_Policy_Makers.
- 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.
- Jiang, F., Qi, S. H., Ding, M. J., et al. (2014). Vulnerability of Siberian crane habitat to water level in Poyang lake wetland, China[J]. *Geoscience and Remote Sensing* 51: 662–676. doi: 10.1080/15481603.2014.978126.
- Jiang H., Sun Z., Guo H., et al. (2021). An assessment of urbanization sustainability in China between 1990 and 2015 using land use efficiency indicators[J]. *npj Urban Sustainability* 1: 34. doi: 10.1038/s42949-021-00032-y.
- Kapos, V., Rhind, J., Edwards, M., et al. (2000). Developing a Map of the World's Mountain Forests[G].//Price, M. F., Butt, N. Forests in Sustainable Mountain Development: A State of Knowledge Report for 2000(Vol. 5). Wallingford: CAB International, 2000:4-19. ISBN: 0851994466.
- Kastner, T., Rivas, M. J. I., Koch, W., et al. (2012). Global changes in diets and the consequences for land requirements for food[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109(18): 6868–6872. doi: 10.1073/pnas.1117054109.
- Liu, C., Zhang, Q., Tao, S., et al. (2020). A new framework to map fine resolution cropping intensity across the globe: Algorithm, validation, and implication[J]. *Remote Sensing of Environment* 251: 112095. doi: 10.1016/j.rse.2020.112095.
- Liu, D., Keesing, J., Xing, Q., et al. (2009). World's largest macroalgal bloom caused by expansion of seaweed aquaculture in China[J]. *Marine Pollution Bulletin* 58(6): 888–895. doi:10.1016/j.marpolbul.2009.01.013.
- Mao, D. H., Wang, Z. M., Wu, J. G., et al. (2018). China's wetlands loss to urban expansion[J]. *Land Degradation & Development* 29: 2644–2657. doi: 10.1002/ldr.2939.
- 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(10): 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.
- NOAA National Centers for Environmental Information. (2020). State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2020. <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202013>.
- Odum, H. T. (1996). *Environmental Accounting: Emergy and environmental decision making*[M]. Wiley.
- OECD/European Union/JRC. (2008). Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide, OECD Publishing, Paris. doi:10.1787/9789264043466-en.
- Pekel, J., 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.
- Peng, D. Zhang, B. Wu, C., *et al.* (2017). Country-level net primary production distribution and response to drought and land cover change[J]. *Science of The Total Environment* 574: 65–77. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.09.033.
- Pradhan, P., Costa, L., Rybski, D., *et al.* (2017). A systematic study of sustainable development goal (SDG) interactions[J]. *Earths Future* 5(11): 1169–1179. doi:10.1002/2017ef000632.
- Ren, C. Y., Wang, Z. M., Zhang, Y. Z., *et al.* (2019). Rapid expansion of coastal aquaculture ponds in China from Landsat observations during 1984–2016[J]. *International Journal of Earth Observation and Geoinformation* 82: 101902. doi: 10.1016/j.jag.2019.101902.
- Rodrigues, A. S. L., Pilgrim, J. D., Lamoreux, J. F. *et al.* (2006). The value of the IUCN Red List for conservation[J]. *Trends in Ecology & Evolution* 21(2): 71–76. doi:10.1016/j.tree.2005.10.010.
- 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). *Sustainable Development Report 2020: The Sustainable Development Goals and COVID-19*[M]. Cambridge: Cambridge University Press.
- Stabile, M. C. C., Guimaraes, A. L., Silva, D. S., *et al.* (2020). Solving Brazil's land use puzzle: Increasing production and slowing Amazon deforestation[J]. *Land Use Policy* 91: 104326. doi: 10.1016/j.landusepol.2019.104362.
- Stephens, D. L. B., Carlson, R. E., Horsburgh, C. A., *et al.* (2015). Regional distribution of Secchi disk transparency in waters of the United States[J]. *Lake and Reservoir Management* 31(1): 55–63. doi: 10.1080/10402381.2014.1001539.
- UN. (2015a). Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development annex A/RES/70/1. <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformourworld>.
- UN. (2015b). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. Geneva: United Nations.
- UN. (2019). The Sustainable Development Goals Report 2019. New York: United Nations. <https://www.un.org/development/desa/publications/sustainable-development-goals-report-2019.html>.
- UN. (2020a). The Sustainable Development Goals Report 2020. New York: United Nations. <https://www.un.org/development/desa/publications/publication/sustainable-development-goals-report-2020>.
- UN. (2020b). Sustainable Development Goals Progress Chart 2020. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/progress-chart-2020.pdf>.
- UN. (2021a). The Sustainable Development Goals Report 2021. New York: United Nations.
- UN. (2021b). Goal 6: Ensure access to water and sanitation for all. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/water-and-sanitation/>
- UN. (2021c). High-level political forum on sustainable development, convened under the auspices of the Economic and Social Council. Progress towards the Sustainable Development Goals. Report of the Secretary-General. <https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2021/secretary-general-sdg-report-2021--EN.pdf>
- UN Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2019). Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction, Geneva, Switzerland, United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR).
- UNEP. (2020a). Emissions Gap Report 2020. Nairobi. <http://www.unep.org/emissions-gap-report-2020>.
- UNEP. (2020b). Progress on Integrated Water Resources Management. Global Baseline for SDG 6 Indicator 6.5.1: Degree of IWRM Implementation. <https://www.unwater.org/publications/progress-on-integrated-water-resources->

- management-651/.
- UNEP. (2021). Measuring Progress: Environment and the SDGs. Retrieved from UNEP-DHI. Monitoring Guide for SDG Indicator 6.5.1. <http://iwrmdataportal.unepdhi.org/aboutsdg651>.
- UN-Water. (2016). Water and Sanitation Interlinkages across the 2030 Agenda for Sustainable Development. 29 August, 2016. Geneva, Switzerland. <https://www.unwater.org/publications/water-sanitation-interlinkages-across-2030-agenda-sustainable-development/>.
- UN-Water. (2018). Progress on Water-related Ecosystems: Piloting the Monitoring Methodology and Initial Findings for SDG Indicator 6.6.1. <https://www.unwater.org/publications/progress-on-water-related-ecosystems-661/>.
- UN-Water. (2020a). The Sustainable Development Goal 6 Global Acceleration Framework. <https://www.unwater.org/publications/the-sdg-6-global-acceleration-framework/>.
- UN-Water. (2020b). Measuring Change in the Extent of Water-related Ecosystems Over Time. <https://sdg.data.gov/6-6-1/>.
- UN-Water. (2021). Summary Progress Update 2021 – SDG 6 – water and sanitation for all. Version: 1 March 2021. Geneva, Switzerland. <https://www.unwater.org/publications/summary-progress-update-2021-sdg-6-water-and-sanitation-for-all/>.
- Wang, J. M., Wang, H. D., Cao, Y. G., *et al.* (2016). Effects of soil and topographic factors on vegetation restoration in opencast coal mine dumps located in a loess area[J]. *Scientific Reports* 6: 22–58. doi: 10.1038/srep22058.
- Wang, S., Li, J., Zhang, B., *et al.* (2020). Changes of water clarity in large lakes and reservoirs across China observed from long-term MODIS[J]. *Remote Sensing of Environment* 247: 111949. doi: 10.1016/j.rse.2020.111949.
- Wang, Y. Q. (2020). Poyang Lake and wintering Siberian cranes[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment* 18(2): 100. doi:10.1002/fee.2171.
- Wei, Y. Q., Zhang, L., Wang, J. N. *et al.* (2021). Chinese caterpillar fungus (*Ophiocordyceps sinensis*) in China: Current distribution, trading, and futures under climate change and overexploitation[J]. *Science of the Total Environment* 755: 142548. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.142548.
- Weitz, N., Carlsen, H., Nilsson, M., *et al.* (2018). Towards systemic and contextual priority setting for implementing the 2030 Agenda[J]. *Sustainability Science* 13(2): 531–548. doi:10.1007/s11625-017-0470-0.
- World Meteorological Organization (WMO). (2020). United in Science.https://public.wmo.int/en/resources/united_in_science.
- Wu, Z., Wu, J., Liu, J., *et al.* (2013). Increasing terrestrial vegetation activity of ecological restoration program in the Beijing-Tianjin sand source region of China[J]. *Ecological Engineering* 52: 37–50. doi:10.1016/j.ecoleng.2012.12.040.
- 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.
- Yan, X. D., Zhao, J. F. (2007). Establishing and validating individual-based carbon budget model FORCCHN of forest ecosystems in China[J]. *Acta Ecologica Sinica* 27: 2684–2694. doi: 10.1016/S1872-2032(07)60056-0.
- Zhang, X., Du, S., Wang, Q. (2017). Hierarchical semantic cognition for urban functional zones with VHR satellite images and POI data[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 132: 170–184. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2017.09.007.
- Zhang, X., Du, S., Zheng, Z. (2020). Heuristic sample learning for complex urban scenes: Application to urban functional-zone mapping with VHR images and POI data[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 161: 1–12. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2020.01.005.
- Zhao, J. F., Ma, J. Y., Zhu, Y. J. (2019). Evaluating impacts of climate change on net ecosystem productivity (NEP) of global different forest types based on an individual tree-based model FORCCHN and remote sensing[J]. *Global and Planetary Change* 182: 103010. doi: 10.1016/j.gloplacha.2019.103010.
- Zhao, J. F., Ma, J. Y., Hou, M. T., *et al.* (2020). Spatial-temporal variations of carbon storage of the global forest ecosystem under future climate change[J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 25: 603–624. doi:10.1007/s11027-019-09882-5.
- Zheng, C., Jia, L., Hu, G., *et al.* (2019). Earth observations-based evapotranspiration in northeastern Thailand[J]. *Remote Sensing* 11(2): 138. doi: 10.3390/rs11020138.
- Zheng, Y. M., Wang, S. D., Cao, Y., *et al.* (2021). Assessing the ecological vulnerability of protected areas by using Big Earth Data. *International Journal of Digital Earth* doi:10.1080/17538947.2021.1962995.
- Zhou, M., Liu, D., Anderson, D., *et al.* (2015). Introduction to the special issue on green tides in the Yellow Sea[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 163: 3–8. doi: 10.1016/j.ecss.2015.06.023.
- Zou, L., Hu, B. S., Qi, S. H., *et al.* (2021). Spatiotemporal variation of Siberian Crane habitats and the response to water level in Poyang Lake wetland, China[J]. *Remote Sensing* 13:140.

doi:10.3390/rs13010140.

Zuo, L., Zhang, Z., Carlson, K. M., *et al.* (2018). Progress towards sustainable intensification in China challenged by land-use change[J]. *Nature Sustainability* 1(6): 304–313. doi: 10.1038/s41893-018-0076-2.

Zwart, S. J., Bastiaanssen, W. G. M., de Fraiture, C., *et al.* (2010). WATPRO: A remote sensing based model for mapping water productivity of wheat[J]. *Agricultural Water Management* 97(10): 1628–1636. doi: 10.1016/j.agwat.2010.05.017.

陈军, 彭舒, 赵学胜, 等 (2019). 顾及地理空间视角的区域SDGs 综合评估方法与示范 [J]. 测绘学报 48(04): 473–479. doi: 10.11947/j.AGCS.2019.2018 0563.

程瑞, 高建, 孙中昶, 等. 2021. 基于深度学习的车辆目标检测方法研究——以新冠疫情期间武汉市为例 [J]. 测绘通报.

李加洪, 施建成. (2016). 全球生态环境遥感监测 2015 年度报告 [M]. 北京: 科学出版社.

贾明明, 王宗明, 毛德华, 等. (2021). 面向可持续发展目标的中国红树林近 50 年变化分析 [J]. 科学通报 doi: 10.1360/TB-2020-1412.

欧阳志云, 徐卫华, 肖焱等. (2017). 中国生态系统格局、质量、服务与演变 [M]. 北京: 科学出版社.

全球水伙伴技术顾问委员会. (2016). 水资源综合管理 [M]. 全球水伙伴中国委员会, 译. 北京: 中国水利水电出版社.

孙颀. (1994). 中国农业自然资源与区域发展 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社.

魏彦强, 李新, 高峰, 等 (2018). 联合国 2030 年可持续发展目标框架及中国应对策略 [J]. 地球科学进展 33(10): 1084–1093. doi: CNKI:SUN:DXJZ.0. 2018-10-011.

吴炳方, 钱金凯, 曾源等. (2017). 中华人民共和国土地覆被地图集 [M]. 北京: 中国地图出版社.

中华人民共和国住房和城乡建设部. (2012). 城市用地分类与规划建设用地标准. GB50137-2011.

报告编写组

组长：

郭华东 可持续发展大数据国际研究中心

组员：（按姓名拼音排序）

| | | | |
|-----|-----------------------|-----|-----------------------|
| 白璐斌 | 北京大学 | 胡光成 | 中国科学院空天信息创新研究院 |
| 边金虎 | 中国科学院·水利部成都山地灾害与环境研究所 | 黄侃 | 国家林业和草原局调查规划设计院 |
| 曹敏 | 南京师范大学 | 黄磊 | 可持续发展大数据国际研究中心 |
| 陈方 | 可持续发展大数据国际研究中心 | 黄春林 | 中国科学院西北生态环境资源研究院 |
| 陈旻 | 南京师范大学 | 黄文江 | 可持续发展大数据国际研究中心 |
| 陈玉 | 可持续发展大数据国际研究中心 | 贾立 | 中国科学院空天信息创新研究院 |
| 陈镜明 | 多伦多大学 | 贾根锁 | 中国科学院大气物理研究所 |
| 陈琪婷 | 中国科学院空天信息创新研究院 | 贾明明 | 中国科学院东北地理与农业生态研究所 |
| 陈曦东 | 可持续发展大数据国际研究中心 | 贾绍凤 | 中国科学院地理科学与资源研究所 |
| 陈亚西 | 中国科学院空天信息创新研究院 | 贾远信 | 国家林业和草原局调查规划设计院 |
| 程艺 | 中国科学院地理科学与资源研究所 | 蒋敏 | 中国科学院空天信息创新研究院 |
| 程志峰 | 中国科学院地理科学与资源研究所 | 蒋会平 | 可持续发展大数据国际研究中心 |
| 董金玮 | 中国科学院地理科学与资源研究所 | 蒋云钟 | 中国水利水电科学研究院 |
| 窦银银 | 中国科学院地理科学与资源研究所 | 居为民 | 南京大学 |
| 杜丹丹 | 中国科学院空天信息创新研究院 | 孔令桥 | 中国科学院生态环境研究中心 |
| 杜世宏 | 北京大学 | 孔祥吉 | 国家林业和草原局调查规划设计院 |
| 杜守航 | 中国矿业大学（北京） | 匡文慧 | 中国科学院地理科学与资源研究所 |
| 杜小平 | 可持续发展大数据国际研究中心 | 李洋 | 中国科学院地理科学与资源研究所 |
| 段洪涛 | 中国科学院南京地理与湖泊研究所 | 李爱农 | 中国科学院·水利部成都山地灾害与环境研究所 |
| 范萌 | 中国科学院空天信息创新研究院 | 李景喜 | 自然资源部第一海洋研究所 |
| 范馨悦 | 中国科学院生态环境研究中心 | 李俊生 | 可持续发展大数据国际研究中心 |
| 房世波 | 中国气象科学研究院 | 李明阳 | 中国科学院空天信息创新研究院 |
| 冯娅娅 | 中国科学院西北生态环境资源研究院 | 李晓松 | 可持续发展大数据国际研究中心 |
| 冯雨宁 | 北京大学 | 李一凡 | 中国科学院海洋研究所 |
| 付舒婧 | 北京林业大学 | 梁栋 | 可持续发展大数据国际研究中心 |
| 高丰蕾 | 自然资源部第一海洋研究所 | 林琿 | 江西师范大学 |
| 顾海峰 | 自然资源部第三海洋研究所 | 刘波 | 北京大学 |
| 郭长庆 | 中国科学院地理科学与资源研究所 | 刘洁 | 中国科学院空天信息创新研究院 |
| 韩梅 | 中国科学院生态环境研究中心 | 刘哲 | 应急管理部国家减灾中心 |
| 韩群力 | 中国科学院空天信息创新研究院 | 刘海猛 | 中国科学院地理科学与资源研究所 |
| 何志伟 | 中国科学院海洋研究所 | 刘良云 | 可持续发展大数据国际研究中心 |
| 侯亚丽 | 中国科学院地理科学与资源研究所 | 刘南江 | 应急管理部国家减灾中心 |
| 胡碧松 | 江西师范大学 | 卢静 | 中国科学院空天信息创新研究院 |

| | | | |
|------|-------------------|-----|---------------------|
| 卢善龙 | 可持续发展大数据国际研究中心 | 王宗明 | 中国科学院东北地理与农业生态研究所 |
| 罗 津 | 江西师范大学 | 魏彦强 | 中国科学院西北生态环境资源研究院 |
| 骆 磊 | 可持续发展大数据国际研究中心 | 吴炳方 | 中国科学院空天信息创新研究院 |
| 马真臻 | 中国水利水电科学研究院 | 吴文斌 | 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所 |
| 毛德华 | 中国科学院东北地理与农业生态研究所 | 夏既胜 | 云南大学 |
| 米湘成 | 中国科学院植物研究所 | 夏莉莉 | 中国科学院空天信息创新研究院 |
| 欧阳竹 | 中国科学院地理科学与资源研究所 | 肖 焱 | 中国科学院生态环境研究中心 |
| 欧阳志云 | 中国科学院生态环境研究中心 | 徐奔奔 | 中国科学院空天信息创新研究院 |
| 潘天石 | 中国科学院空天信息创新研究院 | 徐卫华 | 中国科学院生态环境研究中心 |
| 彭代亮 | 可持续发展大数据国际研究中心 | 闫冬梅 | 可持续发展大数据国际研究中心 |
| 齐述华 | 江西师范大学 | 杨德周 | 中国科学院海洋研究所 |
| 秦 天 | 福州大学 | 杨仕琪 | 中国科学院地理科学与资源研究所 |
| 上官冬辉 | 中国科学院西北生态环境资源研究院 | 游进军 | 中国水利水电科学研究院 |
| 苏 华 | 福州大学 | 于仁成 | 中国科学院海洋研究所 |
| 孙 涛 | 国家林业和草原局调查规划设计院 | 俞 乐 | 清华大学 |
| 孙承君 | 自然资源部第一海洋研究所 | 曾红伟 | 中国科学院空天信息创新研究院 |
| 孙志刚 | 中国科学院地理科学与资源研究所 | 张 兵 | 中国科学院空天信息创新研究院 |
| 孙中昶 | 可持续发展大数据国际研究中心 | 张 驰 | 江苏海洋大学 |
| 唐海龙 | 中山大学 | 张 迪 | 自然资源部第一海洋研究所 |
| 陶金花 | 中国科学院空天信息创新研究院 | 张 丽 | 可持续发展大数据国际研究中心 |
| 田 雨 | 中国水利水电科学研究院 | 张 森 | 中国科学院空天信息创新研究院 |
| 汪 潇 | 中国科学院空天信息创新研究院 | 张 鹏 | 应急管理部国家减灾中心 |
| 王 安 | 福州大学 | 张浩杰 | 福州大学 |
| 王 萌 | 中国科学院空天信息创新研究院 | 张修远 | 北京大学 |
| 王 岩 | 中国科学院空天信息创新研究院 | 张增祥 | 中国科学院空天信息创新研究院 |
| 王 勇 | 中国科学院空天信息创新研究院 | 赵俊芳 | 中国气象科学研究院 |
| 王 雨 | 国家林业和草原局调查规划设计院 | 郑 华 | 中国科学院生态环境研究中心 |
| 王 月 | 中国科学院空天信息创新研究院 | 郑超磊 | 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 | 郑诗军 | 中国科学院空天信息创新研究院 |
| 王昊宇 | 北京大学 | 郑姚闽 | 北京工商大学 |
| 王江浩 | 中国科学院地理科学与资源研究所 | 郑芸蔷 | 北京大学 |
| 王卷乐 | 中国科学院地理科学与资源研究所 | 智 超 | 福州大学 |
| 王力哲 | 中国地质大学(武汉) | 左丽君 | 中国科学院空天信息创新研究院 |
| 王胜蕾 | 可持续发展大数据国际研究中心 | | |
| 王心源 | 可持续发展大数据国际研究中心 | | |



联系方式：

地址：北京市海淀区邓庄南路9号

邮编：100094

电话：+86 10 82176256

邮箱：casearth@radi.ac.cn

网址：<http://www.cbas.ac.cn>