

# 地球大数据支撑 可持续发展目标报告

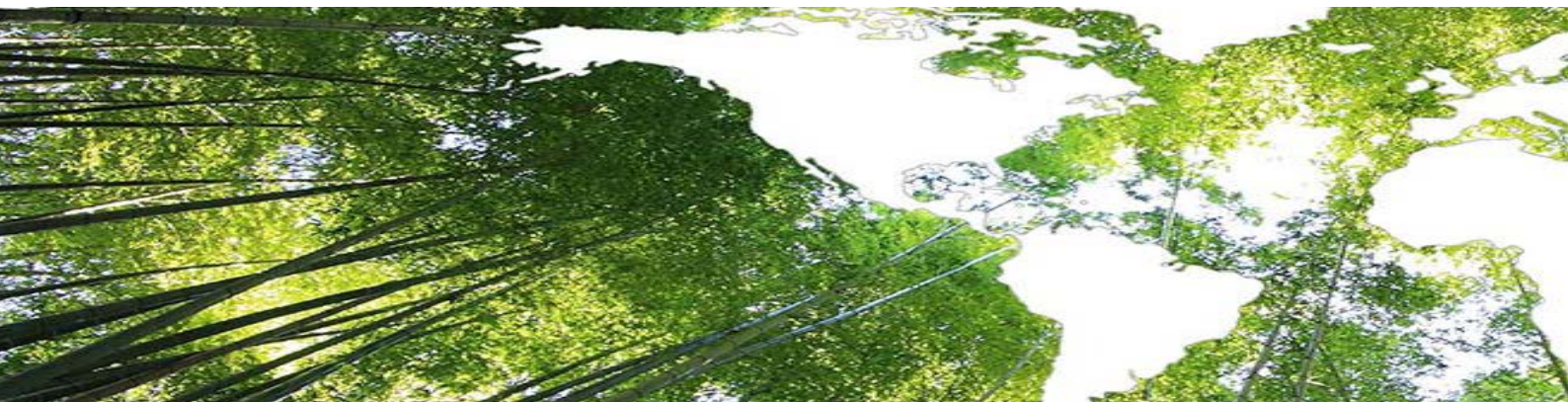


中国科学院  
可持续发展大数据国际研究中心  
2022年9月

# 地球大数据支撑 可持续发展目标报告



# 目录



## 04 ◎ 前言

## 05 ◎ 执行摘要

## 07 ◎ 绪论

## 10 ◎ SDG 2 零饥饿

### 15 提高农业生产力

全球高分辨率复种格局与潜力评估 \15

东北黑土盐碱区盐碱地变化与驱动因素 \18

### 19 可持续粮食生产

全球变化下中国农田土壤碳汇潜力评估 \19

中国种植业碳排放时空变化 \20

## 22 ◎ SDG 6 清洁饮水和卫生设施

### 27 改善水环境

中国各省地下水水质变化评估 \27

### 28 提高用水效率

中国三大粮食作物水分利用效率变化评估 \28

2010~2020 年中国用水紧张程度变化及驱动分析 \30

### 31 水资源综合管理

中国省级水资源综合管理数据支撑能力评估 \31

### 32 水生态系统变化

中国各省地表水-地下水水量变化评估 \32

### 34 综合评估

2015~2020 年中国 SDG 6 进展综合评估 \34

## 36 ◎ SDG 7 经济适用的清洁能源

### 41 电力获取

全球建筑通电状况 \41

### 44 可再生能源

中国可再生能源电力 \44

中国光伏电站建设 \45

### 47 国际能源合作

中国能源国际合作项目 \47

中国太阳能利用国际培训 \49

## 52 ◎ SDG 11 可持续城市和社区

### 57 城镇化进程监测与评估

2000~2020 年全球城市土地利用效率综合评估 \57

### 58 世界遗产保护

世界遗产地土地覆盖变化监测与遗产保护评估 \58

### 59 城市灾害与应对

2000~2021 年全球极端天气气候事件评估 \59

2010~2021 年中国地市级自然灾害 SDG 11.5 指标监测 \60

### 61 城市绿色空间

全球大城市绿度变化与受益人口 \61

### 64 社区尺度 SDG 11 指标综合监测

中国主要城市的社区可持续发展指标精细化监测 \64





## 68 ◎ SDG 13 气候行动

- 73 灾害监测与减灾行动
  - 中国涝渍害时空分布及其对农作物的影响 \73
  - 全球热浪变化及其影响分析 \74
  - 气候行动目标下中国防灾减灾政策计量评价 \75
- 76 气候变化长期预警
  - 全球增暖下的海洋物理环境变化 \76
- 78 全球陆 / 洋碳汇估算
  - 近 30 年来全球大洋碳收支变化趋势 \78
  - 2000~2020 年全球陆地净生态系统生产力时空变化分析 \79
- 82 气候变化教育
  - 中国气候变化教育传播现状调查 \82

## 84 ◎ SDG 14 水下生物

- 89 减少海洋污染
  - 中国近海营养盐变化与趋势分析 \89
  - 中国近海绿潮生物量高精度遥感监测 \90
- 92 保护海洋生态系统
  - 中国滨海滩涂的高精度动态监测 \92
  - 中国近海湿地的台风防护减灾生态功能价值评估 \93
  - 中国-东盟海域珊瑚礁白化热环境监测与预警 \94
- 95 保护沿海区域
  - 中国退围还海和退围还湿动态监测 \95

## 98 ◎ SDG 15 陆地生物

- 103 防治荒漠化与土地退化
  - 全球沙丘(地)动态监测 \103
  - 中国荒漠化治理碳汇效应 \105
  - 东北黑土退化现状与风险评估 \106
  - 地球大数据支持“非洲绿色长城”建设 \107
- 108 保护山区生态系统
  - 中国山地生物多样性保护状况评估 \108
- 109 外来入侵物种防控管理
  - 外来入侵物种风险评估与防控管理 \109

## 112 ◎ SDG 多指标交叉与综合

- 117 SDG 多指标交叉
  - 中国 SDG 多指标间协同与权衡关系分析 \117
- 119 SDGs 综合评估
  - 中国典型区域 SDGs 综合评估 \119

## 122 ◎ 总结与展望

## 124 ◎ 数据源

## 127 ◎ 缩略词

## 129 ◎ 主要参考文献

## 132 ◎ 报告编写组



# 前言

2030 年可持续发展议程从经济、社会和环境三个维度描绘了全球可持续发展的宏伟蓝图。但数据缺失、发展不均衡、目标间相互制约等问题也对可持续发展目标（Sustainable Development Goals, SDGs）落实提出重大挑战。同时，气候变化影响加剧，新冠肺炎疫情延宕反复，地区紧张局势加剧，大幅增加了议程实施和实现的难度。2021 年，习近平主席在第 76 届联合国大会上提出全球发展倡议，以加快落实 2030 年可持续发展议程，推动实现更加强劲、绿色、健康的发展。

联合国《2021 年可持续发展目标报告》明确指出，数据是重建和加快 SDGs 实现的资源，获取和掌握及时和高质量的数据比以往任何时候都更加重要。为此，联合国秘书长提出了《数据战略》，推动获得更为相关、更好分类和更加及时的数据，以跟踪、预测和加速落实可持续发展目标进展，使我们能够将数据和信息转化为洞察力，转变和优化发展决策过程。

随着全球范围内数字化进程加快，数据的国际可比性和可用性有所改善，但可持续发展目标数据的地理覆盖面与及时性在各个领域仍然存在差距，亟需创新方法来填补这些空白。集地球科学、信息科学和空间科技等交叉融合的地球大数据技术，具有宏观、动态监测能力，能大大提高数据获取能力，为 SDGs 实现提供重要支撑。

2020 年 9 月 22 日，习近平主席在第 75 届联合国大会宣布中国将设立可持续发展大数据国际研究中心（CBAS）。2021 年 9 月 6 日，CBAS 正式成立，这是全球首个以大数据服务联合国 2030 年可持续发展议程的国际科研机构。成立一年来，中心通过研建可持续发展大数据平台系统、发射并运行可持续发展科学卫星（SDGSAT-1）、开展地球大数据服务可持续发展目标的技术方法研究，面向全球提供服务 SDG 指标监测和评估的数据、信息和服务，为联合国 2030 年议程的实施作出积极贡献。

2019~2021 年，中国科学院连续三年牵头编制《地球大数据支撑可持续发展目标报告》，累积贡献 64 个

监测评估与示范研究案例，包括 53 套数据产品、33 种方法模型和 42 个决策支持，展示了中国利用地球大数据技术支持全球和区域可持续发展议程的探索与实践。

2022 年度《地球大数据支撑可持续发展目标报告》继续围绕零饥饿、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、陆地生物等六个可持续发展目标和多指标间的相互关联、权衡协调作用深入开展研究。同时，拓展经济适用的清洁能源（SDG 7）目标，并针对不同区域类型特点，开展了 SDGs 区域综合示范研究。在此基础上，持续关注中国生态环境变化，在四年案例成果基础上集成创新，对 56 个环境类指标进行综合评估，监测中国可持续发展目标进展。

本报告组织科研院所、高校等 40 多家单位 170 余名科研人员进行撰写工作，汇聚了可持续发展大数据领域的最新研究成果。中国科学院领导和机关给予了大力支持，编写组同志们付出了艰辛劳动，在此一并表示衷心感谢。

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

本报告利用地球大数据的优势和特点，围绕 SDG 2 零饥饿、SDG 6 清洁饮水和卫生设施、SDG 7 经济适用的清洁能源、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 陆地生物七个可持续发展目标的 25 个具体目标及 SDG 多指标交叉与综合，形成 42 个研究案例，从数据产品、方法模型和决策支持三方面，展示了全球、区域、国家和典型地区四个尺度的 SDG 指标监测和评估成果，为决策部门提供科学参考，是大数据支撑 SDGs 落实的创新性实践。

**2 零饥饿**

在 SDG 2 零饥饿方面，聚焦提高农业生产力和可持续粮食生产两个主题，在全球尺度，研制了 2020 年全球 30 m 分辨率耕地复种指数分布产品；在中国尺度，研制了中国农业耕层土壤碳密度时空变化和中国种植业县域碳排放数据产品；在典型地区尺度，研发了盐碱地识别算法与分级模型，实现了东北黑土盐碱地集中区近 35 年土壤盐渍化程度监测。基于以上数据分析发现，2020 年全球约 85.2% 的耕地为单季种植模式，如能将实际复种水平提升到潜在水平有望增加 2.3 亿 t 粮食产量，相当于当前全球粮食总产量的 6.4%。中国东北黑土区西部（世界三大苏打盐碱地之一）通过“盐碱地植被修复工程”、“吉林西部重大工程”等系列工程，盐碱地面积自 2000 年以来减少了 63.3%，促进了粮食增产。2015~2020 年，中国农田耕层土壤有机碳增加了 3.4%；近 10 年中国单位农业产值碳排放强度呈下降趋势，江淮地区、江汉平原和四川盆地单位面积碳排放量较高。

**6 清洁饮水和卫生设施**

在 SDG 6 清洁饮水和卫生设施方面，围绕改善水环境、提高用水效率、水资源综合管理和水生态系统变化四个主题，综合站点观测、统计调查和遥感监测等多源数据，开展了中国省级尺度 SDG 6 目标进展监测与评估，研究发现，中国地下水环境改善显著，农业用水效率显著提高，总体用水紧张程度呈下降趋势，水资源

管理工具优化提升明显，水库水面积呈增加趋势，地下水储量减少速率呈下降趋势。但从省级行政区域的角度，受不同地区自然地理条件、资源禀赋、以及经济发展水平的影响，各项指标的实现情况存在显著的空间差异。经济发达地区多面临水环境和水生态方面的挑战，经济欠发达地区的用水效率则普遍偏低。研究成果有助于摸清中国各省级行政区落实 SDG 6 进程、明确问题与差距，以及制定和改进实现 SDG 6 目标的加速策略。

**7 经济适用的清洁能源**

在 SDG 7 经济适用的清洁能源方面，聚焦电力供应、可再生能源和国际能源合作三个主题，在全球尺度，研制了全球建筑通电状况遥感监测数据产品；在中国尺度，研制了中国光伏电站遥感监测数据集、中国能源国际合作项目对发展中国家 SDG 7 影响数据集和中国太阳能利用国际培训统计数据，调查了中国可再生能源发展现状，评估了中国在可再生能源和国际能源合作等三个指标的进展。基于以上数据分析发现，2020 年全球通电建筑面积较 2014 年增加显著，通电建筑面积占比提高近 2 个百分点；中国绿色低碳能源转型进展显著，2021 年，中国可再生能源装机和发电量分别是 2015 年的 2.12 倍和 1.79 倍；中国能源国际合作帮助发展中国家实现 SDG 7 目标，增加了 80 个国家的人均用电量，中国太阳能国际培训受培训国家（地区）已达 133 个。

**11 可持续城市和社区**

在 SDG 11 可持续城市和社区方面，聚焦城镇化进程监测与评估、世界遗产保护、城市灾害与应对、城市绿色空间以及社区尺度 SDG 11 指标综合监测五个主题，在中国尺度，研制了地级市 SDG 11.5 监测指标数据集、中国社区功能分类数据产品，实现 SDG 11 四个指标的计算和评估；在全球尺度，研制了全球典型城市建成区数据集、世界遗产边界矢量数据、全球极端天气气候灾害损失数据集、全球绿度变化趋势数据集。基于以上数据分析发现，2000~2020 年全球城镇化协调发展

总体向好；2015~2020年，世界文化遗产地土地覆盖变化普遍小于1%，保护态势总体良好；《仙台框架》的实施在全球和中国均取得一定成效；中国以全球19%的城市建成区面积贡献了全球28%的城市显著变绿区域，中国城市增绿受益人口占全球受益总人口约47%；中国SDG 11.1、SDG 11.2、SDG 11.3实现情况在社区尺度上总体向好。



在SDG 13气候行动方面，聚焦灾害监测与减灾行动、气候变化长期预警、全球陆/洋碳汇估算、气候变化教育四个主题，在中国尺度，研制了土壤水分含量、防灾减灾政策数据产品，调查了气候变化教育现状，实现SDG 13气候行动四个指标的计算和评估；在全球尺度，研制了高温热浪分布、海洋热量/盐度数据集、全球陆地/大洋碳汇系列数据产品。基于以上数据分析发现，中国耕地在2021年夏秋季节遭受了较为严重的涝渍害，但通过科学田间管理并未影响粮食产量；中国及其省级政府通过颁布系列政策已经建立起较为完善的减灾体系；中国气候变化教育体系相对完善，仍需加强课程设计与实践活动。全球陆地不断升温，高温热浪频率和强度增加，海洋热含量也在不断增加，盐度差异、垂向层结有加刷分化的趋势；全球陆地、大洋的碳汇近20年来有明显增加的趋势。



在SDG 14水下生物方面，聚焦减少海洋污染、保护海洋生态系统、保护沿海区域三个主题，在中国尺度，研制了1978~2019年中国东部近海营养盐浓度分布、2016年和2020年中国滨海滩涂空间分布、2010~2020年中国近海湿地台风防护价值、2010~2020年中国沿海退围还海和退围还湿动态监测等数据产品，提出了绿潮生物量多源遥感反演模型；在区域尺度，提出了三维珊瑚礁白化热环境计算模型方法，研发了中国-东盟海域珊瑚礁白化热环境预警系统。基于以上产品、模型和系统应用分析发现，近十余年中国近海营养盐浓度显著降低，其中陆源氮、磷入海量的减少是中国近海溶解无机氮和溶解无机磷浓度降低的主要原因；中国的近海湿地在抵御台风减少灾害损失方面发挥了显著作用，近海湿地所提供的台风防护总价值在不断上升；珊瑚礁

白化热环境预警系统可以为区域内国家及时了解珊瑚礁所面临的白化环境、制定珊瑚礁保护措施提供有力科技支撑；2010~2020年中国沿海退围还海、退围还湿的速度持续增加，围填海管控和治理取得了显著成效。



在SDG 15陆地生物方面，聚焦防治荒漠化与土地退化、保护山区生态系统及外来入侵物种防控管理三个主题，在中国尺度，开展了荒漠化治理碳汇效应评估、东北黑土退化现状与风险评估、山地生物多样性保护状况评估及外来入侵物种风险评估；在全球尺度，研制了全球沙丘（地）空间分布产品，开发了大数据支持“非洲绿色长城”建设在线工具。提供了覆盖11个泛非绿色长城机构成员国高分辨率土地生产力动态产品和26项荒漠化防治关键技术，为非洲绿色长城建设提供了重要支持。基于以上数据与分析发现，中国土地退化治理成效显著，荒漠化治理碳汇效应明显；中国山地生态系统受保护比例较高，空间布局正在进一步优化；主要外来入侵物种防控效果显著，并形成了具有推广价值的防控技术体系。



在SDG多指标交叉与综合方面，聚焦SDG多指标交叉与SDGs区域综合评估两个主题，在中国省级尺度，开展了SDG多指标协同与权衡关系分析，发现过去20年，中国省级行政区SDG多指标协同与权衡关系具有显著的时空差异，大部分地区SDG 6和SDG 15更容易受到其他目标的权衡作用；中国各省份有约27%的权衡关系指标对转变为协同关系，另外有约18%的权衡关系指标对得到缓解。在中国典型省市开展SDGs区域综合评估，发现2015年以来，海南省生态文明建设取得较大进步，其中SDG 15得分较高，SDG 2和SDG 11提升显著；云南省临沧市评价的70个SDG指标中有81%已取得进展或有望实现目标；广西壮族自治区桂林市的生态旅游资源可持续发展指数由2010年的0.46提高到2020年的0.71；广东省深圳市陆地生态系统总值年均增长率为2.29%。相关研究可为中国不同特色区域科学确立优先发展目标、缓解发展中存在的SDG指标权衡问题、优化可持续发展路径提供决策参考。



## 绪 论

联合国 2030 年可持续发展议程中的 17 个可持续发展目标（Sustainable Development Goals, SDGs）构建了实现全球可持续发展的框架体系，成为世界各国的战略要务和行动目标。当前，2030 年议程进程近半，但气候变化和新冠肺炎疫情等使各国落实议程受到巨大冲击，个别目标的全球进展甚至面临倒退，需要加快实施进程才能在 2030 年实现各目标。2021 年，全球约十分之一人口受饥饿影响；由于缺乏有关河流、湖泊和地下水的水质数据，全球超过 30 亿人处于疾病感染的风险之中；全球仍有 7.33 亿人用不上电；城市成为了新冠肺炎疫情的重灾区；全球温室气体浓度、海平面上升、海洋热量和海洋酸化等四项关键气候变化指标在 2021 年创下新纪录；日益加剧的海洋酸化、富营养化和塑料污染危及数十亿人的生计；全球持续森林砍伐、土地和生态系统退化、生物多样性丧失对人类生存和可持续发展构成重大威胁（UN, 2022; Sachs *et al.*, 2022）。

科学、技术和创新将为应对上述重大挑战作出贡献，其中提高 SDG 监测与评估的数据能力，以支撑国家和地方尺度的评估，并指导精准施策是重要途径之一。联合国《2022 年可持续发展目标报告》指出，疫情推迟了世界范围内新的国家统计计划的制定，全球指标数据在地域覆盖、及时性等方面仍存在巨大差距（UN, 2022）。同时，目前的指标数据多为粗粒度的统计数值，时间分辨率多为“年”，空间分辨率多为“国家”，无法根据地理位置、人口分布、环境差异等进行有效分解，因此难以充分评估 SDG 进展区域差异并识别落后群体，从而很难有效支撑各级地方政府决策。根据经济合作与发展组织预测，若地方政府无法有效参与，169 个 SDG 具体目标中的 105 个将难以实现（OECD, 2020）。这些具体目标中，更多的是对时空变化敏感的环境类具体目标。

作为数字技术的核心组成，大数据已成为当今社会数字化转型的重要引擎之一。地球大数据是大数据重要组成部分，其以对地观测与地理空间数据为主体，具有更易获取、更新更及时、结果更客观、分辨率更高等优

势，能够突破统计数据行政区域的约束，涵盖不同时空尺度与地理位置信息，更精准评估 SDG 指标进展并及时发现问题。地球大数据分析自然与人类社会系统间复杂的交互作用和协同演进发展过程，将有助于 SDGs 的整体理解和全面实现。

中国科学院基于地球大数据科学与技术，充分发挥多学科优势，面向零饥饿、清洁饮水和卫生设施、经济适用的清洁能源、可持续城市和社区、气候行动、水下生物、陆地生物等与地表环境和人类活动密切相关的可持续发展目标，汇聚了卫星遥感影像、地理空间数据、媒体网络数据、统计信息等地球大数据，研发了大数据处理与分析关键技术及方法，并在云计算环境下实现了全球公共数据产品的研制和多尺度 SDG 指标的监测与评估，以及多指标权衡-协同效应分析等创新工作，形成了诸多亮点成果，为 SDG 进展评估、SDG 多学科研究以及多层级 SDG 决策提供了数据支持、方法借鉴和科学参考（图 1-1）。

自 2019 年起连续三年发布的《地球大数据支撑可持续发展目标报告》（以下简称《报告》），在数据产品方面，一方面为直接填补 SDG 指标监测数据缺失提供了高质量数据产品，如中国 5 岁以下儿童生长迟缓率变化数据集等；同时，也为更深入理解指标进展和驱动因素提供了补充性背景与分析数据，如全球土地利用分类长时间序列数据产品等。在方法模型方面，为更及时、更精细评估与预测 SDG 指标提供了新方法，如全球耕地种植强度高精度反演模型、全球城市不透水面快速提取方法等。在决策支持方面，为提升指标的全球协同与可比性、应对跨国界可持续发展问题提供了科学实证，如中国土地退化零增长跟踪评估及其全球贡献、国际重要湿地水体动态变化评估等。2022 年，在气候变化背景下，《报告》增加了地球大数据对“SDG 7：经济适用的清洁能源”的分析与评估，同时，探索性开展了气候变化与粮食生产交互作用、荒漠化治理的碳汇效应、全球变暖下的海洋物理环境变化等特色专题研究。

基于 2019~2022 年《报告》数据集，以联合国可



图 1-1. 地球大数据支撑 SDGs 科学流程

可持续发展目标官方描述、联合国机构及相关国际组织设定的 2030 年量化目标等作为参考标准，《报告》评估了 2010~2021 年中国在 56 个环境类可持续发展指标（UNEP, 2021a）进展情况（图 1-2）。研究形成的关于中国可持续发展目标落实进展的部分定量结论，是基于大数据处理与分析关键技术及创新方法应用的探索性成果。结果显示，2010~2015 年间，不断改善的指标有 38 个，恶化的指标有 5 个。而在 2016~2021 年间，不断改善的指标有 42 个。在 2015 年，已接近或实现 2030 目标的指标有 10 个，到 2021 年，这一数字上升到 26 个。在所有评估的指标中，中国在防灾减灾、饮用水安全、可再生能源、道路交通、森林保护方面表现突出，在温室气体排放、生物多样性保护方面还有待加强。

综上所述，截止到 2021 年，中国环境类指标相比于 2015 年（议程起始年）整体大幅改善，在 2030 年议程实施接近中期之际，在评估的中国 56 个指标中，已有近一半的环境类指标提前实现目标，为 2030 年整体实现可持续发展目标奠定了良好的基础。

中国高度重视可持续发展理念与经验分享，致力推动平衡、协调、开放、包容的全球发展新阶段。2021 年 9 月，中国国家主席习近平提出全球发展倡议，呼吁围绕落实 2030 年议程，全面推进减贫、粮食安全、气候变化和绿色发展、数字互联互通等领域合作，与世界各国一起，努力实现不让任何一个人掉队的目标。2022 年 6 月，全球发展高层对话会发表主席声明，就支持全球发展发布了成果清单，包括“开展可持续发展卫星星座计划，研制并分享可持续发展目标监测数据与信息”等，这将为推动全球 SDG 协同观测、数据共享与应用合作、加快落实 2030 年议程作出重要贡献。

同时，随着 2030 年议程中期评估临近，联合国将开启 SDG 全球指标框架全面审查与调整，在当前指标监测数据缺失仍未彻底解决的情况下，适当增加易获取、全球可比的大数据指标，将有效改善 SDG 监测与评估现状，切实支撑全球可持续发展决策。

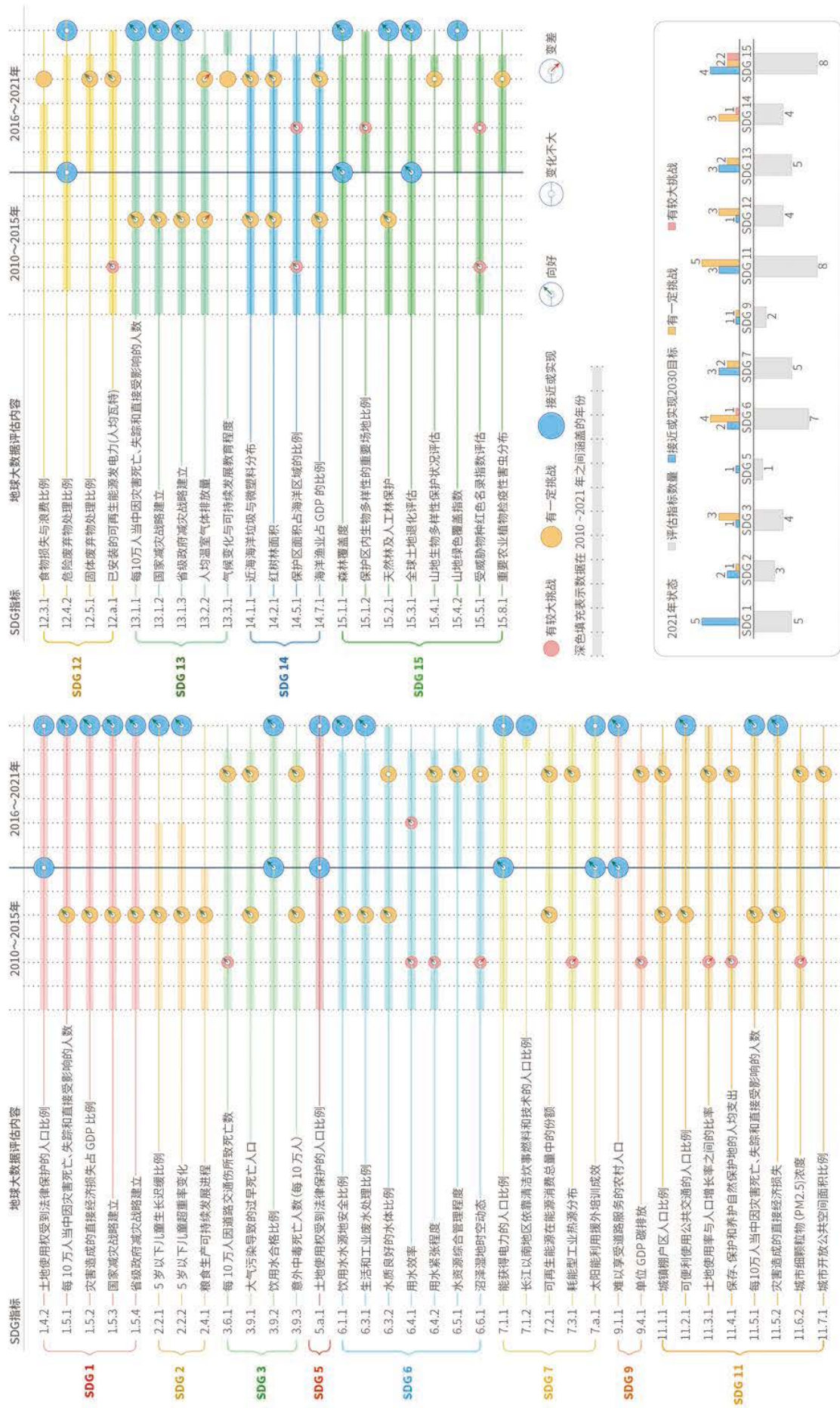


图 1-2. 基于地球大数据的中国可持续发展目标进展评估 (2010~2021 年)





SDG 2





## SDG 2 零饥饿

|            |    |
|------------|----|
| 背景介绍.....  | 13 |
| 主要贡献.....  | 14 |
| 主题研究.....  | 15 |
| 建议与展望..... | 21 |

## 成果亮点

### 提高农业生产力

全球耕地复种指数仍有提升潜力，中国东北黑土区盐碱地治理已显成效。2020 年全球约 85.2% 的耕地为单季种植模式，如能将实际复种水平提升到潜在水平有望增加 2.3 亿 t 粮食产量，相当于当前全球粮食总产量的 6.4%。中国东北黑土区西部（世界三大苏打盐碱地之一）通过“盐碱地植被修复工程”、“吉林西部重大工程”等系列工程，盐碱地面积自 2000 年以来减少了 63.3%，促进了粮食增产。



### 可持续粮食生产

中国种植业系统在“碳减排”和“碳中和”方面均具潜力。2015~2020 年，中国农田耕层土壤有机碳增加了 3.4%；近 10 年中国种植业单位产值碳排放强度呈下降趋势，江淮地区、江汉平原和四川盆地单位面积碳排放量较高。





2 零饥饿



## 背景介绍

零饥饿目标是可持续发展的基础。当前，SDG 2 全球进展已偏离原有轨道，离实现仍有差距。全球饥饿人口比例在连续五年稳定之后，仅在 2020 年一年间，就由 8.4% 增至 10.4%（FAO, 2021）。各种形式的营养不良仍是一个挑战，营养不良率从 2019 年的 8.0% 升至 2021 年的 9.8%。而日益频繁的地区冲突、不断加剧的气候变化、经济发展放缓作为三大驱动因素，仍在加速全球粮食不安全性（FAO, *et al.*, 2022）。此外，受大规模和高强度的资源环境消耗与开发影响，粮食系统正对全球水资源、生物多样性、关键生态系统等造成威胁。

2021 年 9 月，联合国召开全球粮食系统峰会，目标之一即为提升粮食系统转型重要性的全球共识，指出粮食系统转型将促进人类健康、改善地球环境，进而帮助实现全部 SDGs。联合国秘书长在峰会的致辞中表示，粮食系统的转型将在促进全球从疫情中复苏起到关键作用。转型的五个行动轨道被认为是确保所有人都能获得安全

而有营养的食品、转向可持续消费模式、促进对自然有积极影响的生产、促进公平生计，以及培养抵抗脆弱性、冲击和压力的韧性，而创新是贯穿所有行动轨道的重要变革杠杆。提高农业生产力和可持续粮食生产作为重要创新领域，是保障营养获取和促进人与自然协调的有效方式，对于降低饥饿风险、实现全球粮食安全至关重要。

过去三年报告中，我们采用地球大数据技术，针对儿童生长迟缓、耕地可持续集约化利用、粮食可持续生产等方面从中国全国尺度进行了长时序时空解析及路径分析。今年报告中，我们继续从提高农业生产力和可持续粮食生产两个主题方向，围绕 SDG 2.3 和 SDG 2.4 两个具体目标，构建影响农业生产力重要因素——耕地复种和土壤盐渍化的监测方法，并面向气候变化开展可持续粮食生产专题分析，以期发现粮食系统问题、促进粮食系统转型提供数据产品、方法模型和决策支持。



## 主要贡献

本章通过四个案例评估了全球、中国和典型地区 SDG2.3 和 SDG2.4 相关指标的进展情况，主要贡献如下（表 2-1）。

| 表 2-1 案例名称及其主要贡献 |                    |                   |                                                                                                                              |
|------------------|--------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 主 题              | 对应具体目标             | 案 例               | 贡 献                                                                                                                          |
| 提高农业生产力          | SDG 2.3            | 全球高分辨率复种格局与潜力评估   | 数据产品：2020 年全球 30 m 分辨率复种指数<br>方法模型：全球高分辨率复种指数遥感提取模型<br>决策支持：发现全球复种潜力区，为全球粮食增产提供科学决策支持                                        |
|                  | SDG 2.3<br>SDG 2.4 | 东北黑土盐碱区盐碱地变化与驱动因素 | 数据产品：1985~2020 年东北黑土盐碱区土壤盐渍化程度数据集<br>方法模型：集成分类算法及机器学习模型构建土壤电导率反演模型<br>决策支持：为盐碱地改良利用、复耕复垦提供数据支持，为农业生产潜力开发与分级评估提供参考            |
| 可持续粮食生产          | SDG 2.4            | 全球变化下中国农田土壤碳汇潜力评估 | 数据产品：2015 年和 2020 年中国农田耕层土壤碳密度及未来情景下碳密度空间格局<br>方法模型：空间大数据驱动 Agro-C 模型<br>决策支持：为面向双碳目标的种植业可持续生产提供决策支持                         |
|                  |                    | 中国种植业碳排放时空变化      | 数据产品：2010 年、2015 年、2020 年中国县域尺度种植业碳排放量<br>方法模型：融合多源数据与机器学习方法，实现中国县域尺度粮食生产系统碳排放的定量估算<br>决策支持：为理解县域尺度农业碳排放现状及制定未来“碳减排”政策提供科学依据 |





## 提高农业生产力

提高农业生产力是保障粮食安全最直接的路径，扩大耕地面积、提高耕地种植强度和运用科技手段提升单产是提高农业产出的三种方式。然而，全球众多地区后备耕地资源开发潜力有限，有限的耕地资源又受到工业化和城镇化发展带来的压力。在推广保护性耕作、培肥地力等可持续农业技术基础上，通过科学复种、挖掘耕地集约化利用潜力直接提升单位耕地面积的农业生产力，

是未来粮食增产的重要途径之一；与此同时，开展退化土壤综合治理，开发耕地后备资源，是增加农业生产力的又一重要路径。本主题聚焦耕地复种和盐碱地治理，基于地球大数据开展全球大尺度耕地复种信息提取和关键区长时序盐碱地变化监测，以期为改善农业生产力提供技术支撑和决策辅助。

## 全球高分辨率复种格局与潜力评估

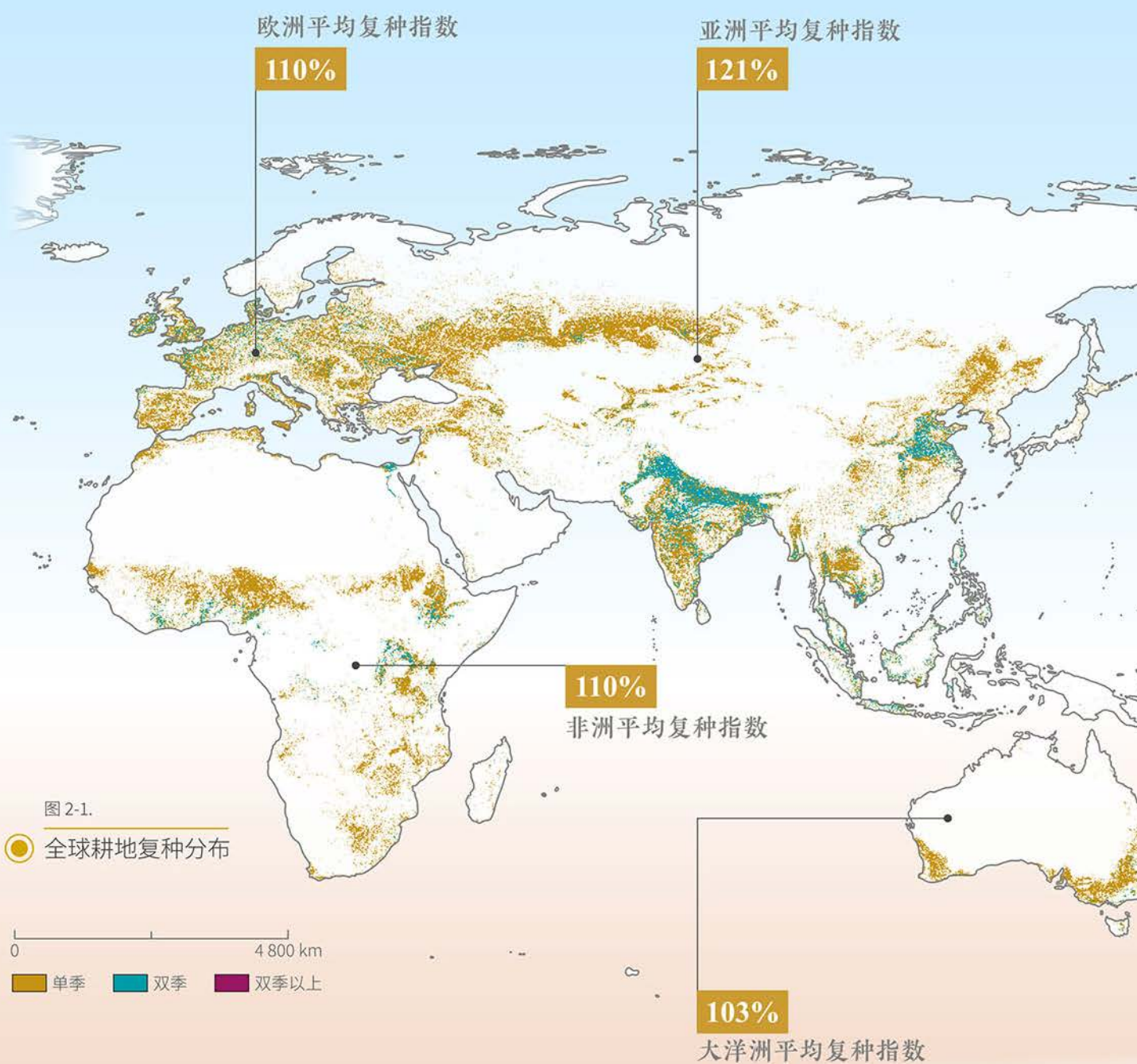
**对应目标：2.3 到 2030 年，实现农业生产力翻倍和小规模粮食生产者，特别是妇女、土著居民、农户、牧民和渔民的收入翻番，具体做法包括确保平等获得土地、其他生产资源和要素、知识、金融服务、市场以及增值和非农就业机会**

按全球农业生态分区确定复种指数监测的起始和截止时间，利用各分区监测时段内 10~30 m 分辨率海量多源卫星遥感数据，采用数据合成、时空插补和时序平滑算法，形成时空连续的归一化植被指数数据集，利用作物播种—生长—成熟收获的全生育期信号判定方法（Liu et al., 2020; Zhang et al., 2021），实现 2020 年全球 30 m 分辨率耕地复种指数制图，分析其空间格局并与潜在复种叠加，开展各国复种提升潜力分析。

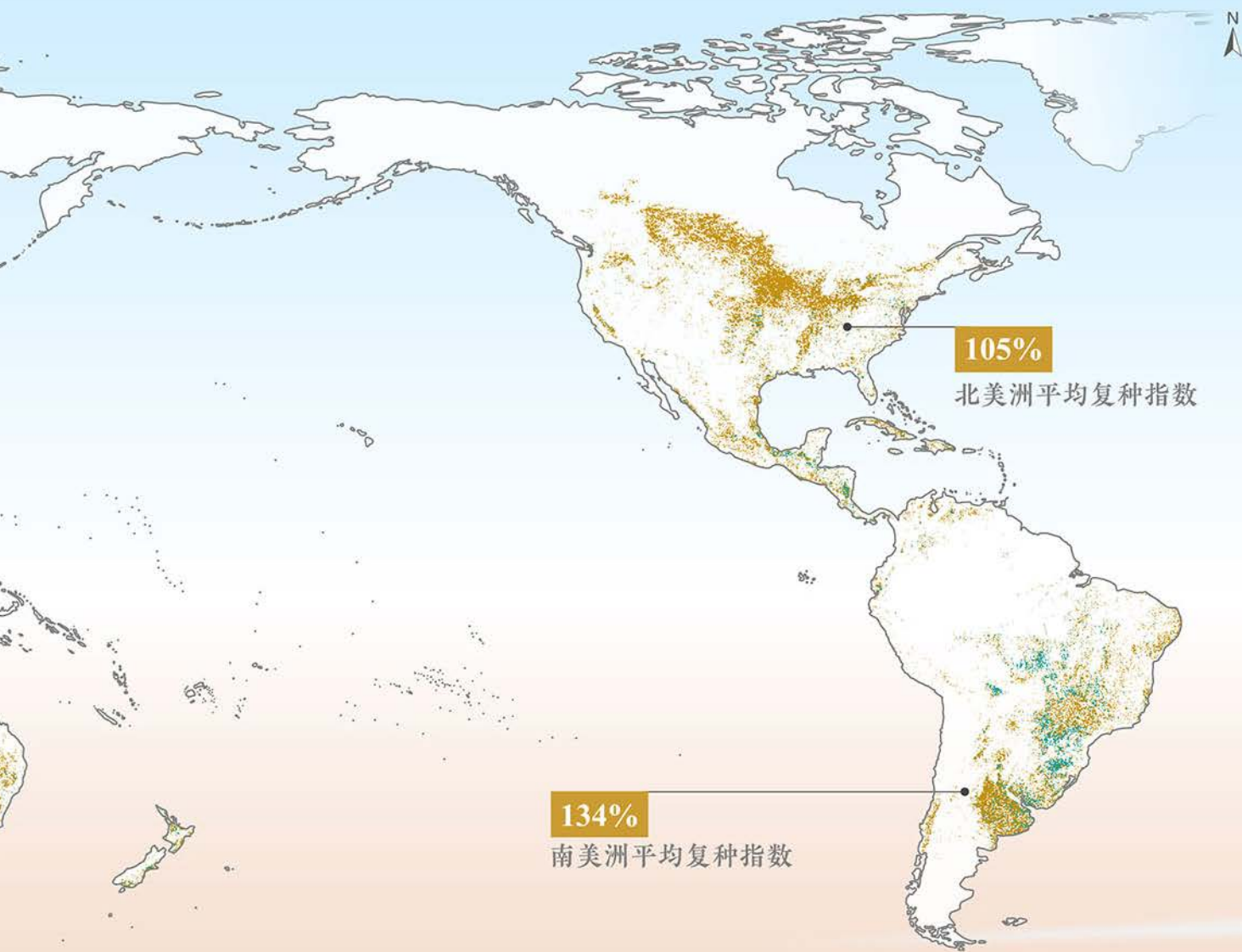
**2020 年全球约 85.2% 耕地为单季种植模式，印度河恒河平原、黄淮海平原、巴拉纳河流域、马托格罗索高原和尼罗河三角洲是全球复种最为集中的区域。**2020 年全球耕地平均复种指数为 115%，单季种植模式耕地占比约 85.2%，双季种植模式耕地占比为 14.4%，主要分布在东亚、南亚、南美洲和尼罗河三角洲等地区（图 2-1），全球双季以上种植模式耕地占比仅为 0.4%，零散分布在热带和亚热带地区。印度河恒河平原、黄淮海平原、巴拉纳河流域、马托格罗索高原和尼罗河三角洲

是全球复种最为集中的区域，复种指数高于同纬度其他地区。各大洲复种差异显著，南美洲平均复种指数最高，为 134%；亚洲平均复种指数略低于南美洲，为 121%；其次是欧洲和非洲，平均复种指数均为 110%；北美洲和大洋洲的平均复种指数最低，分别为 105% 和 103%。

**将实际复种水平提升到潜在水平有望增加 2.3 亿 t 粮食产量，相当于当前全球粮食总产量的 6.4%。**中美洲、东南亚和非洲赤道地区水热条件利于复种农业生产模式的推行，耕地复种提升潜力超过其他区域，在充分利用各区光照、温度、水条件下，区域多数国家平均复种提升潜力大于 0.75 季作物。通过将实际复种水平提升到雨养条件下的潜在水平，全球有望增加 2.3 亿 t 粮食产量，相当于当前全球粮食总产量的 6.4%。中国复种提升潜力较大的地区主要分布在长江以南，该地区经济快速发展、劳动力由农村向城市转移更为显著，未来应统筹兼顾区域经济与农业发展，通过创新科技投入提升南方农业生产的集约化水平。







## 东北黑土盐碱区盐碱地变化与驱动因素

对应目标：2.3 到 2030 年，实现农业生产力翻倍和小规模粮食生产者，特别是妇女、土著居民、农户、牧民和渔民的收入翻番，具体做法包括确保平等获得土地、其他生产资源和要素、知识、金融服务、市场以及增值和非农就业机会

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

东北黑土盐碱集中区—吉林省西部是世界三大苏打盐碱地分布区之一，占东北黑土区总面积的 19%，黑土区盐碱地面积的 80% 以上，是黑土地保护的重点区域。采用美国陆地卫星 5/7/8 系列数据，提出适用于吉林省西部的长时序盐碱地变化遥感监测模型及方法，通过多年野外调查数据，建立并验证了土壤盐渍化识别及电导率反演模型，结合政府政策分析了土壤盐渍化变化情况及驱动因素。

提出了区域盐碱地识别算法及分级模型，实现了 1985~2020 年吉林省西部土壤盐渍化程度监测。基于云平台大数据及处理程序，集成分类算法及机器学习模型，结合多年野外调查采样数据及多期卫星遥感影像数据集，通过 Box-Cox 变换、光谱参数选择、机器学习建模、精度验证，建立了长时序盐碱地土壤电导率反演模型（Li et al., 2022），实现了 1985~2020 年吉林省西部土壤盐渍化的识别及分级（图 2-2）。结果表明，1985~2020 年吉林省西部盐碱地呈现面积先增后减、盐渍化程度先恶化后减轻的趋势。

“盐碱地植被修复工程”、“吉林省西部重大工程”等有效改善了土壤盐渍化，黑土盐碱地面积减少 63.3%，促进了粮食增产。结合盐碱地面积和政府改良工程实施年限，将监测时期划分为自然状态期（1985~2000 年）和改造状态期（2000~2020 年）。自然状态期盐碱地总面积增加了 31.3%，且盐碱化程度逐渐恶化；改造状态期盐碱地面积减少了 63.3%，且盐碱化程度降低（图 2-2）。自然状态期，盐碱地增加部分中 57% 是由草地和旱地转化来的，这部分转化影响了畜牧业和农业的发展。改造状态期，“盐碱地植被修复工程”、“吉林省西部重大工程”等的实施，扭转了盐碱地面积扩大的趋势，使得大面积盐碱地在人工干预下转化为旱地（55.6%）和草地（23.5%），对粮食增产具有重要贡献。

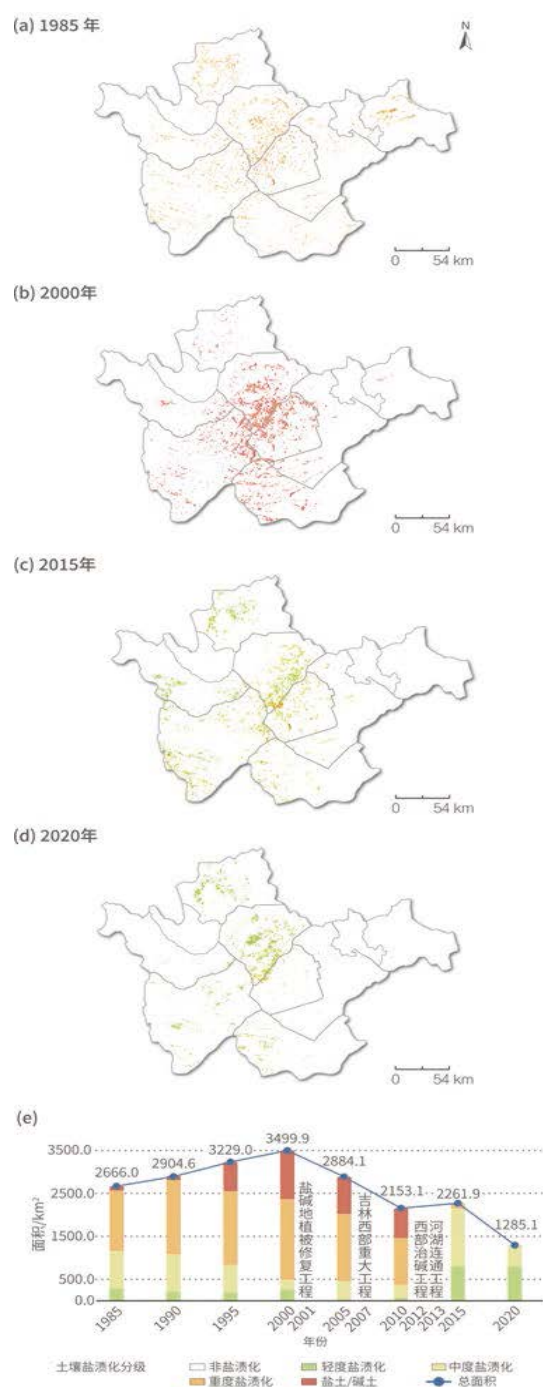


图 2-2. 1985~2020 年吉林省西部土壤盐渍化时空格局与面积变化



## 可持续粮食生产

可持续粮食生产是 SDG 2.4 目标的核心，同时也是应对气候变化和土地退化等全球挑战的有效手段。可持续粮食生产应当在适应气候变化的前提下，发展绿色低碳生产模式，以减缓其对气候变化的影响。研究显示，粮食生产系统贡献了全球近三分之一的温室气体排放，

但优化管理措施下的农田土壤能够成为重要碳汇，并可作为农作物提供更加健康可持续的生长环境。为探讨气候变化下的粮食生产系统，本主题将通过两个案例总结当前及未来农田土壤碳变化、粮食生产系统碳排放情况，为气候变化背景下实现可持续粮食生产提供决策支持。

## 全球变化下中国农田土壤碳汇潜力评估

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

Agro-C 模型是由中国自主研发的农田生态系统碳过程模型。利用中国四种粮食作物（水稻、小麦、玉米和大豆）产量统计数据对模型进行校正和验证后，模拟分析了 2015 年和 2020 年四种粮食作物生产过程中土壤碳密度的变化情况。同时，利用 FGOALS-g3（FGOALS-g3 Flexible Global Ocean-Atmosphere-Land System Model-Grid Point Version 3）气候模式的四个未来气候变化情景数据（SSP126、SSP245、SSP370、SSP585）评估了当前到 2060 年在基线和优化农田管理情景下，中国粮食作物生产的农田土壤碳汇的时空变化格局。

**2015~2020 年中国农田耕层土壤有机碳增加 3.4%。**基于自主研发的农田生态系统过程模型分析显示，2015~2020 年，中国农田耕层土壤有机碳密度均值从 41.3 t C/ha 增加到 42.7 t C/ha，增加约 3.4%。空间上总体呈现东北地区最高，黄淮海地区稍高于四川盆地的基本格局（图 2-3）。从时间变化来看，农田耕层土壤有机碳

变化主要表现为东北局部地区下降，黄淮海地区显著增加的态势。其主要的原因在于黄淮海地区冬小麦和夏玉米轮作单产较高，且冬小麦机收作业的大面积推广促进了秸秆还田比例的提升。

**未来情景显示中国农田土壤将持续体现为碳汇，但碳汇强度趋于减弱。**针对未来气候变化和管理措施变化，在秸秆还田比例、农田有机肥投入量和农田少免耕面积保持 2020 年水平和持续改进两种情景下，模型模拟显示，未来 40 年中国农田土壤持续具备碳汇功能，但碳汇强度趋于减弱。管理方式对农田土壤碳汇的影响大于气候变化的影响。基线管理情景下，中国农田土壤碳汇在 15 Tg C/a 以上；优化农田管理情景下，中国农田土壤碳汇超过 20 Tg C/a。通过优化农田管理措施，增加了作物产量，进而增加进入土壤的作物秸秆和根量，形成了中国农田土壤碳汇的正反馈，减缓气候变暖对土壤碳储量的不利影响。

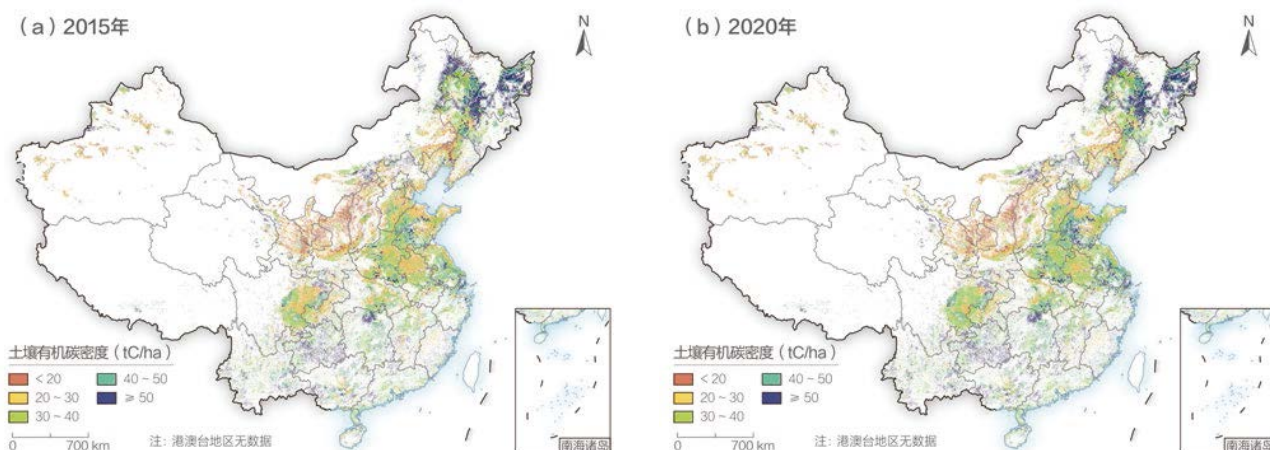


图 2-3. 2015 年和 2020 年中国农田土壤有机碳密度的空间格局

## 中国种植业碳排放时空变化

**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

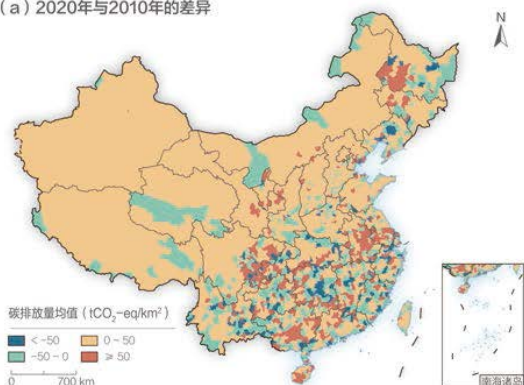
农业温室气体减排潜力因地区而异（Powelson et al., 2011），明晰其格局对提高粮食生产的可持续性、实现减排生产具有重要支撑作用。依托地球大数据技术，可以提供高分辨率的种植业碳排放时空分异格局，服务农业系统在减缓气候变暖方面的努力（郭华东，2019）。

基于地球大数据利用机器学习方法生产了 2010、2015 和 2020 年中国县域尺度农业种植碳排放数据，实现了高时空分辨率的变化监测。利用 1978~2016 年中国省域尺度农业种植碳排放量数据，考虑农作物秸秆焚烧、耕地排放、农业机械使用、氮肥生产、农药生产等过程的碳排放，以自然与人为因素为切入点，基于机器学习方法评估不同因素对省域尺度碳排放量的影响，确定了影响农业种植碳排放量的主要因素，实现了省域尺度碳排放量至 2020 年的扩展。以省域尺度碳排放量为因变量，

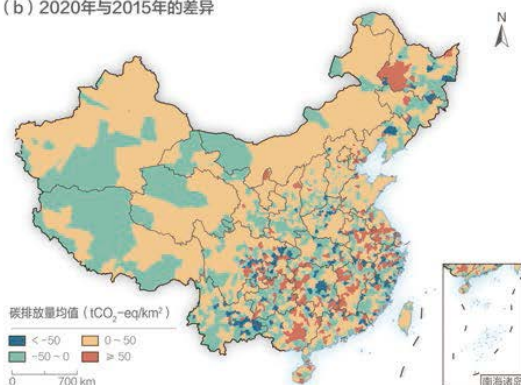
筛选后的自然与人为因素为自变量，采用随机森林算法，构建农业种植碳排放估算模型，降尺度实现县域尺度农业种植系统碳排放监测。

中国近 10 年来单位农业产值的碳排放持续下降，降幅约 45.9%，单位农业产量碳排放基本稳定；江淮地区、江汉平原和四川盆地单位面积碳排放量较高。中国农业种植系统的碳排放量表现为“东高西低、南高北低”的分布格局（图 2-4）。其中，江苏、河南、湖北、湖南、四川和广东等地区的单位种植面积碳排放量较高，超过  $200 \text{ t CO}_2\text{-eq/km}^2$  的区域主要集中在江淮地区、江汉平原和四川盆地。虽然我国粮食产量和种植业产值在 2010~2020 年间均呈增加趋势，但近 10 年单位产值的碳排放强度呈现阶段性下降趋势（图 2-4d），特别是 2017 年之后，其降幅达  $0.09 \text{ t CO}_2\text{-eq}/(10^4 \cdot \text{a})$ ；而单位产量的碳排放强度在监测期间变化不明显。

(a) 2020 年与 2010 年的差异



(b) 2020 年与 2015 年的差异



(c) 2015 年与 2010 年的差异

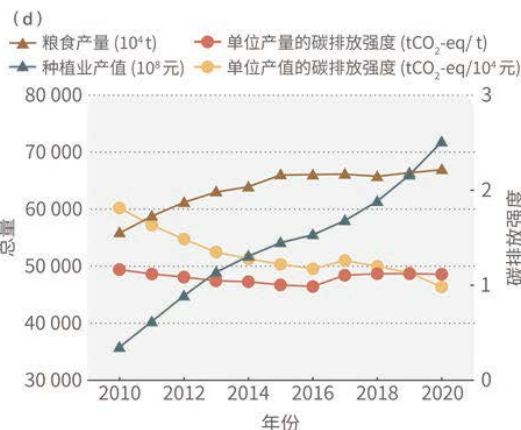
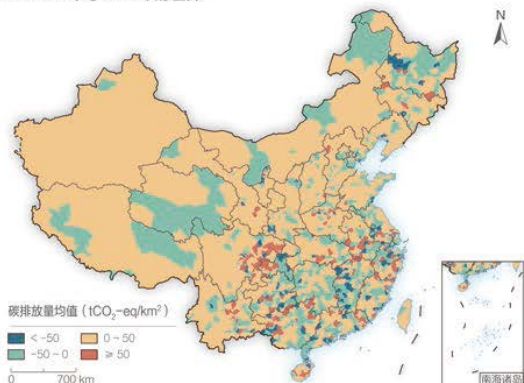


图 2-4. 2010~2020 年中国农业种植碳排放及其变化的空间格局与时序特征





## 建议与展望

本章从提高农业生产力、可持续粮食生产两个方面开展了零饥饿指标监测研究，形成了全球、中国、典型地区三个尺度的相关案例。相较于前三年的报告，今年的报告拓展了 SDG 2.4.1（土壤退化、土壤肥力相关亚指标）在典型区域尺度的监测，并针对 SDG 2.4 具体目标开展了中国尺度气候变化背景下可持续粮食生产的专题研究。同时，将耕地复种指数提取方法向全球进行了扩展应用。

基于本章研究，我们建议：

（1）针对提高农业生产力方面的指标 SDG 2.3.1，全球复种格局及潜力分析发现，全球复种提升潜力巨大的区域主要分布在热带和亚热带地区，这些地区若能充分利用光照、温度、水自然条件，可进一步提升耕地复种水平，为零饥饿目标的实现做出更大贡献。中国复种

程度和潜力均高于全球平均水平，南方地区的复种潜力明显高于北方，未来应统筹考虑区域经济可持续发展和高标准农田建设，适度强化区域农业资源禀赋利用程度，稳定区域粮食生产水平。

（2）针对可持续粮食生产方面的指标 SDG 2.4.1，研究表明气候变化在影响粮食生产系统的同时，又受到粮食生产系统的深刻影响；积极倡导可持续作物生产管理，特别是增加免耕和秸秆还田、加强肥料农药管理，可在帮助粮食系统应对气候变化的同时，为碳减排和碳中和做出贡献，缓解气候变化。

未来，我们将持续探索地球大数据在粮食安全与零饥饿监测与评估方面的能力，发现敏感区和制约因子，为提出零饥饿实现路径提供科学依据。





SDG 6





## SDG 6 清洁饮水和 卫生设施

|            |    |
|------------|----|
| 背景介绍.....  | 25 |
| 主要贡献.....  | 26 |
| 主题研究.....  | 27 |
| 建议与展望..... | 35 |

## 成果亮点

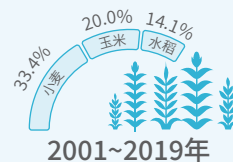
### 改善水环境

中国地下水环境改善明显。2019~2021 年，中国 10 171 组地下水监测站点水质综合评价结果以 IV 类水为主，水质稳定及变好的比例达 90%。



### 提高用水效率

中国农业用水效率显著提高、总体用水紧张程度呈下降趋势。2001~2019 年，中国小麦、玉米和水稻水分利用效率分别上升 33.4%、20.0% 和 14.1%；2015~2020 年，中国总体用水紧张程度从 66% 下降至 58%，处于中度用水紧张状态。



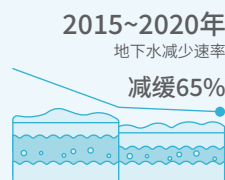
### 水资源综合管理

中国水资源管理工具优化提升明显。2017~2020 年，地下水站网和水文站网当量密度分别提升了 64.3% 和 13.3%。



### 水生态系统变化

中国内陆水体面积和地下水储量发生了显著变化。中国水库水面面积 2020 年比 2015 年增长约 7%；2005~2020 年中国地下水储量变化速率为  $(-25.56 \pm 32.8)$  亿  $\text{m}^3/\text{a}$ ，相比 2005~2014 年，中国全境和华北平原 2015~2020 年地下水储量减少速率分别减缓 65%、37%。







## 背景介绍

“为所有人提供水和环境卫生并对其进行可持续管理”是 SDG 6 的核心要义。联合国水机制（UN Water）2021 年发布的综合评估报告表明，在新冠肺炎疫情暴发之前，世界就已经偏离了 SDG 6 的正确轨道（UN Water, 2021）。全世界仍有 20 亿人没有安全管理的饮用水，36 亿人没有安全管理的卫生设施。此外，23 亿人在家里缺乏基本的肥皂和洗手设施。大多数废水排放前未经处理。世界上五分之一的河流流域正在经历快速变化，80% 的湿地生态系统已经丧失。未来 9 年，在某些领域需要加快 4 倍的速度才能按时完成 SDG 6 设定的目标（Harlin *et al.*, 2021）。

2021 年，联合国水机制发布的污水处理（SDG 6.3.1）、环境水质（SDG 6.3.2）、用水效率（SDG 6.4.1）、用水压力（SDG 6.4.2）、水资源综合管理（SDG 6.5.1）、跨界水合作（SDG 6.5.2）和涉水生态系统（SDG 6.6.1）全球单指标报告系统梳理和分析了全球范围内 SDG 6 实现进展情况。然而，报告中使用的数据仍然存在巨大的缺口。此外，国家尺度的数据在指导精准决策方面也存在很大的不足。因此，亟须从以下两个方面采取紧急行

动：一是加强国家及地方尺度上的数据收集，二是支撑决策者采取切实行动。

近年来快速发展的地球大数据技术大幅提升了 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（卢善龙等，2021）。过去三年，在地球大数据技术支撑下中国先后完成了国家尺度水质改善、用水效率提高、水资源综合管理和涉水生态系统变化监测，评估了中国实施水质、水量和水生态一体化管理的成效，但对于各项指标在国家范围不同行政区之间的差异情况不明，从而影响了研究报告成果的决策支持作用。今年的报告中，我们从环境水质、用水效率、用水压力、水资源综合管理、涉水生态系统和综合等角度系统评估了中国省级尺度 SDG 6 目标进程实现情况，研究成果对于摸清中国各省级行政区落实 SDG 6 进程、明确问题与差距、制定和改进实现 SDG 6 目标的加速策略具有重要意义。



## 主要贡献

本章通过六个案例评估了 2015~2020 年中国省级尺度 SDG 6.3、SDG 6.4、SDG 6.5、SDG 6.6 相关单指标及综合进展情况，主要贡献如下（表 3-1）。

| 表 3-1 案例名称及其主要贡献 |                                                     |                            |                                                                                                                                        |
|------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 主 题              | 对应具体目标                                              | 案 例                        | 贡 献                                                                                                                                    |
| 改善水环境            | SDG 6.3                                             | 中国各省地下水水质变化评估              | 决策支持：支持中国省级尺度地下水水质治理成效评估                                                                                                               |
| 提高用水效率           | SDG 6.4                                             | 中国三大粮食作物水分利用效率变化评估         | 数据产品：中国三大粮食作物水分利用效率数据集，时间范围 2001~2019 年，逐年，空间分辨率 1 km<br>方法模型：基于多源数据并结合作物生长过程的水分利用效率评估方法                                               |
|                  |                                                     | 2010~2020 年中国用水紧张程度变化及驱动分析 | 数据产品：中国用水紧张程度数据集，时间范围 2010~2020 年，逐月，空间分辨率 0.5°<br>决策支持：为开展气候变化影响和水资源约束情景下的产业结构调整政策制定提供科学参考                                            |
| 水资源综合管理          | SDG 6.5                                             | 中国省级水资源综合管理数据支撑能力评估        | 方法模型：水资源综合管理数据支撑能力定量评估方法<br>决策支持：支持中国省级尺度水资源综合管理数据支撑能力状态评估                                                                             |
| 水生态系统变化          | SDG 6.6                                             | 中国各省地表水 - 地下水水量变化评估        | 数据产品：2015 年和 2020 年中国水库分布数据集；中国地下水储量变化数据集，时间范围 2005~2020 年，逐月，空间分辨率 0.5°<br>方法模型：融合重力卫星与地下水位数据的协同正演模型<br>决策支持：支持中国省级尺度地表水和地下水资源开采利用量评估 |
| 综合评估             | SDG 6.1<br>SDG 6.3<br>SDG 6.4<br>SDG 6.5<br>SDG 6.6 | 2015~2020 年中国 SDG 6 进展综合评估 | 方法模型：水资源开发与保护可持续状态指数<br>决策支持：支持中国省级尺度清洁饮水与卫生设施目标进展状态评估                                                                                 |





## 主题研究

### 改善水环境

过去 40 年，中国工业化和城镇化蓬勃发展的同时，工业、农业和生活污废排放引发的水污染事件频发，成为影响人群健康、可持续发展和社会稳定的潜在风险因素。2006 年以来，中国系统规划实施了“水体污染控制

与治理科技重大专项”，地表水和地下水环境得到显著改善。本节通过分析地下水水质监测站点数据，评估了中国省级尺度上推进落实改善水质目标（SDG 6.3）的进展情况。

## 中国各省地下水水质变化评估

**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**

以 2019 年、2020 年和 2021 年“国家地下水监测工程”监测站点的水质数据为基础，依据《地下水质量标准》（GB/T 14848—2017）界限值，给出监测站点每项水质指标的评价结果，使用内梅罗指数法（倪天翔和冯柳，2018）综合单指标评价结果，计算监测站点地下水水质的综合评价 F 值。再根据 F 值对应的水质评价等级（ $I < 0.8$ ； $0.8 \leq II < 2.5$ ； $2.5 \leq III < 4.25$ ； $4.25 \leq IV < 7.2$ ； $V \geq 7.2$ ），给出监测站点地下水水质的综合评价结果。其中，I~III 类地下水化学组分含量相对较低，适用于集中式生活饮用水及工农业用水，定义为“优级”；IV 类地下水化学组分含量较高，适用于农业和部分工业用水，适当处理后可做生活饮用水，定义为“良好”；V 类地下水不宜作为生活饮用水水源，定义为“劣质”。

2019~2021 年，中国地下水水质稳定及变好的站点比率达 90% 以上。三年间，中国 10 171 组地下水监测站点水质综合评价结果以 IV 类水为主，占比约为 67.8%，其次为 V 类，占比约为 17.9%；I~III 类水约占 14.2%（表

3-2）。2019~2021 年，中国地下水水质总体状况稳定转好，其中“变好”的站点比例为 11.8%，“变差”的站点比例为 9.9%，“稳定”的站点比例为 78.3%。本研究中，“变好”指监测站点评价结果由 IV 或 V 类升为 I~III 类，或由 V 类升为 IV 类；“变差”指监测站点评价结果由 I~III 类降为 IV 类或 V 类，或由 IV 类降为 V 类；“稳定”是指单个监测站点评价结果无变化。

2019~2021 年，中国各省份地下水监测站点水质评价结果均以“稳定”为主。变化幅度大的省份分布在华北、华东，以及西北、西南部分地区（图 3-1）。



图 3-1. 2019~2021 年各省地下水监测站点水质综合评价结果变化

表 3-2 中国地下水监测站点水质评价结果占比

| 年份 | 评级   | 优级   |       |       | 良好    | 劣质    |
|----|------|------|-------|-------|-------|-------|
|    |      | I 类  | II 类  | III 类 | IV 类  | V 类   |
| 年份 | 2019 | 2.5% | 10.3% | 1.6%  | 66.9% | 18.8% |
|    | 2020 | 3.1% | 9.4%  | 1.0%  | 68.8% | 17.7% |
|    | 2021 | 3.4% | 10.2% | 1.1%  | 67.8% | 17.4% |

## 提高用水效率

根据 FAO 和 UN Water 的报告，2015~2018 年，全球用水效率整体提高了 9%，其中，工业用水效率提高 15%，农业和服务业用水效率提高 8%（FAO 和 UN Water, 2021a FAO），然而全球仍有 10% 的人口生活在高度或严重水压力的国家（FAO 和 UN Water, 2021b）。中国的水资源供需失衡问题近年来有所缓解（Chen *et al.*,

2022），但因缺乏准确、完整和最新的数据，未能客观评价用水效率的提高情况。本节通过综合卫星遥感、统计调查和模型模拟等数据成果，评估了中国在区域和省级尺度上推进落实提高用水效率目标（SDG 6.4）的进展情况。

## 中国三大粮食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**

采用基于遥感 EF-LUE（Evaporative Fraction–Light Use Efficiency）模型（Du *et al.*, 2022）估算的农田总初级生产力（Gross Primary Productivity, GPP）数据集，结合作物物候和省级农作物单产数据，计算了作物单位面积产量；采用 ETMonitor 模型（Hu *et al.*, 2015; Zheng *et al.*, 2019）及多源遥感数据和大气再分析数据 ERA5（the fifth generation ECMWF reanalysis for the global climate and weather）计算了作物蒸散耗水量（evapotranspiration, ET）；利用作物单位面积产量（单产）与蒸散耗水量的比值估算并分析了中国三大粮食作物（小麦、玉米、水稻）水分利用效率（Water-Use Efficiency, WUE）的时空分布特征。

**中国三大粮食作物水分利用效率均呈明显增加趋势。**2001~2019 年，中国三大粮食作物水分利用效率均呈明显增加趋势，其中小麦水分利用效率上升 33.4%（ $0.024 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{a}^{-1}$ ），玉米水分利用效率上升 20.0%（ $0.016 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{a}^{-1}$ ），水稻水分利用效率上升 14.1%（ $0.014 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$\cdot \text{a}^{-1}$ ）（图 3-2a）。从地理分区来看，中国三大粮食作物水分利用效率也多呈上升趋势，但上升幅度有所差异。华北、华东、华中等地区小麦水分利用效率增幅相对较大（图 3-2b）；华北、东北、西北等地区玉米水分利用效率上升相对较快（图 3-2c）；华东、华南等地区水稻水分利用效率总体呈现增长趋势（图 3-2d），而东北、华中等地区水稻主产区的水分利用效率总体变化不显著。

**作物单产增加是水分利用效率提高的主因。**通过对蒸散耗水量和单产变化对水分利用效率变化趋势的贡献率进行分析可知，中国及各大地理分区三大粮食作物的水分利用效率变化主要由作物单产提高引起，蒸散耗水量虽也多呈上升趋势，但上升幅度相对较小，对作物水分利用效率变化趋势的贡献程度小于单产变化的贡献（图 3-3）。粮食单产显著增加，单位面积耗水量没有同步显著增加，得益于农业科技进步、农业基础设施条件的大幅改善，以及节水灌溉和农业用水管理技术的提升等，有利于粮食生产的可持续发展。



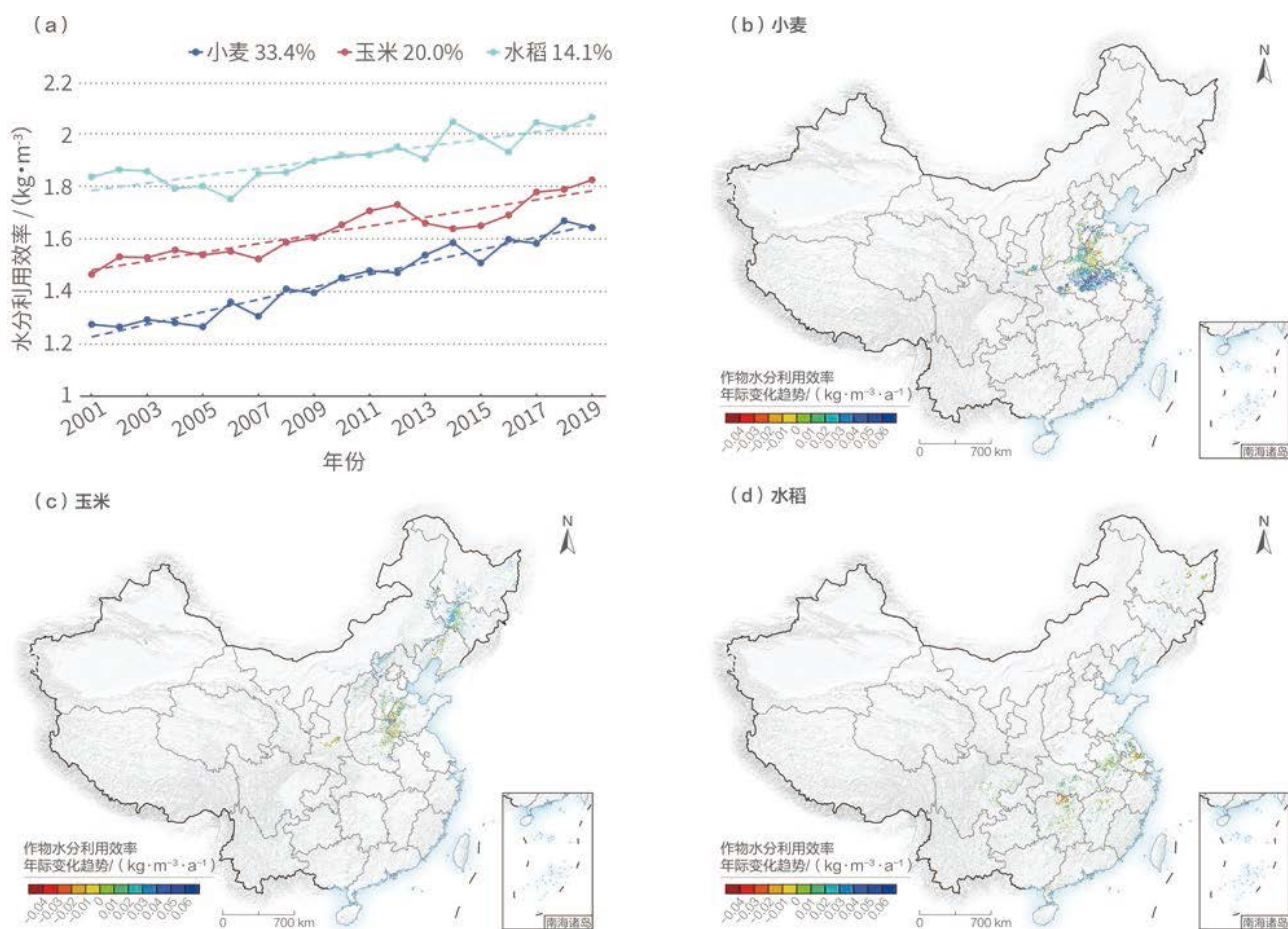


图 3-2. 2001~2019 年中国三大粮食作物水分利用效率年际变化时间过程 (a) 和空间分布 (b, c, d) (图 a 中百分比数字表示 2001~2019 年间的提升幅度)

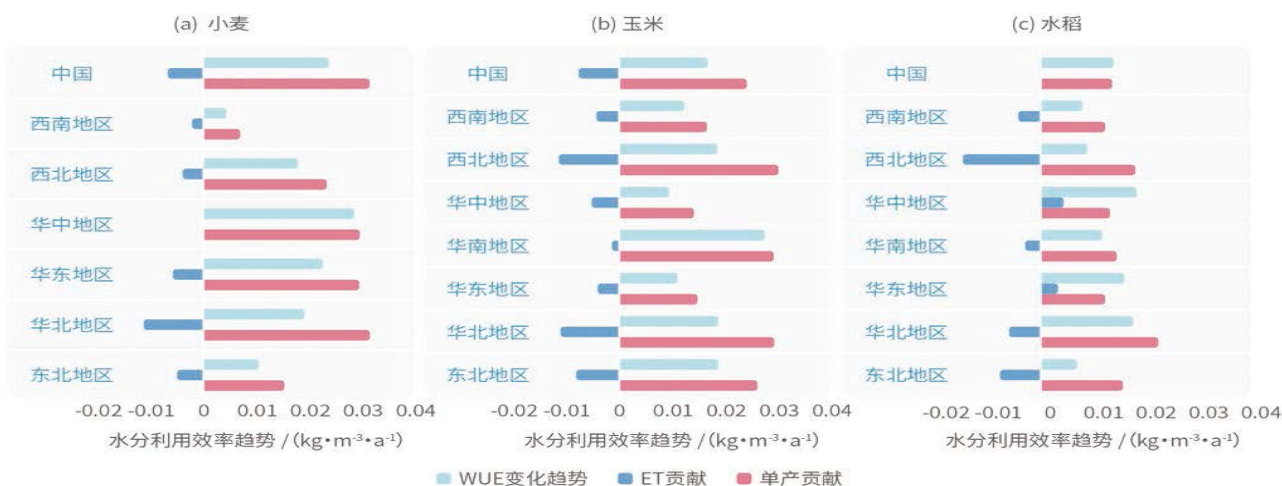


图 3-3. 2001~2019 年中国三大粮食作物单产和蒸散耗水量 (ET) 变化对水分利用效率变化趋势贡献度

注: 单产贡献度为正值表示单产趋势与水分利用效率趋势相同, 为负值则表示趋势相反; 蒸散耗水量贡献度为正值表示蒸散耗水量趋势与水分利用效率趋势相反, 为负值则表示趋势相同。单产贡献绝对值大于蒸散耗水量贡献度的绝对值表示单产变化对水分利用效率趋势的贡献度大, 反之则蒸散耗水量变化对水分利用效率变化趋势贡献度大

## 2010~2020年中国用水紧张程度变化及驱动分析

**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

根据 FAO 对 SDG 6.4.2 用水紧张程度指标定义方法（FAO，2018），用水紧张程度为主要经济部门取用的淡水总量与可用淡水资源（即在考虑到环境用水需求后的可再生淡水资源总量）的比例。其所对应的用水紧张程度等级为：0~25% 为无压力，25%~50% 为低用水紧张，50%~75% 为中度用水紧张，75%~100% 为高度用水紧张，>100% 为极度用水紧张。基于遥感数据、统计数据、模型模拟数据，以及中国水资源一级区水资源总量可利用率数据，核算了中国各省份用水紧张程度，评估了 2010~2020 年中国用水紧张程度的变化，采用因素分解法分析了气候因素和用水因素变化对用水紧张程度变化的贡献。

**2010~2020 年中国用水紧张程度呈下降趋势。**2020 年中国用水紧张程度为 58%，相较于 2015 年的 66%，用水紧张程度有所下降，但总体仍处于中度用水紧张状态。华北地区的北京、天津、河北、山西、山东、河南，华东地区的江苏、上海，以及西北地区的新疆、宁夏为极度用水紧张地区，用水紧张程度大于 100%。这些区域自产可利用水资源量不能满足区域用水需求。用水紧张程度的变化除海南为显著增加外，其他省级行政区均呈下降或不显著增加趋势。气候因素与用水量变化共同作用使得用水紧张程度发生变化，东南沿海的江苏、浙江、福建、广东用水紧张程度下降的驱动因素中，用水量下降贡献大于气候因素变化贡献；其他地区用水紧张程度变化的驱动因素中，气候因素变化贡献大于用水量变化

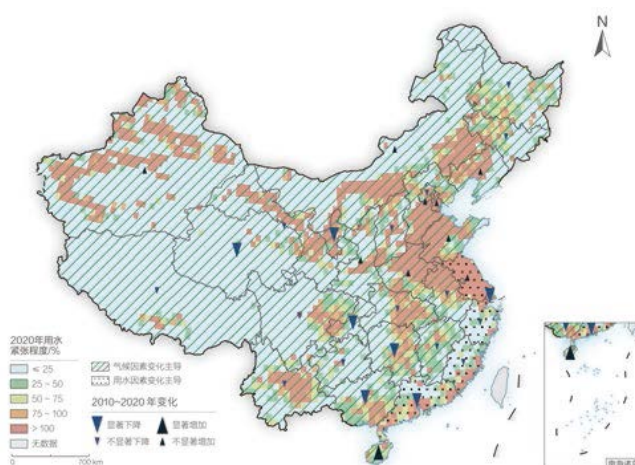


图 3-4. 中国用水紧张程度空间分布及变化

贡献（图 3-4）。气候变湿和用水量下降对中国总体用水紧张程度下降影响的贡献占比分别为 70% 和 30%。

**技术进步是抑制用水量增加的主要因素。**中国用水量变化从用水部门贡献来看，东北及长江以南地区的用水量变化主要以工业用水量下降为主，吉林、黑龙江、上海、福建、湖北、湖南、广东工业用水量对总用水量变化的驱动贡献超 50%。北方大部分省区主要以农业用水量下降为主，河北、辽宁、山东、青海、宁夏的农业用水变化贡献超过 50%（图 3-5a）。在人口、经济、技术因素驱动方面，经济与技术因素是主导，经济发展对用水量增加起推动作用，技术进步抑制用水量的增加（图 3-5b）。总体上技术进步是抑制用水量增加的主导因素。

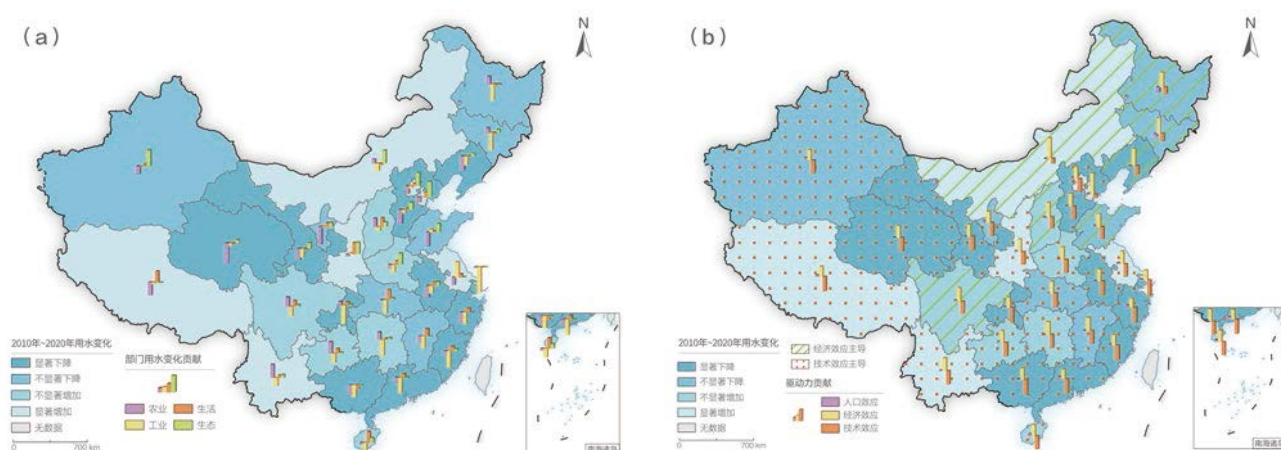


图 3-5. 中国用水量变化的驱动贡献 (a) 各部门用水量变化贡献；(b) 人口、经济、技术驱动贡献

## 水资源综合管理

根据联合国环境规划署（United Nations Environment Programme, UNEP）的评估报告（UNEP, 2021a），全球范围来看，水资源综合管理执行率远低于预期，未来需要双倍努力才能实现目标。近年来中国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行政管理机制，尤其在管理工具方面，全面实施最严格水资源管理制度，加快推进生态流量目标确定、江

河水量分配、地下水管控指标确定，严格水资源论证和取水许可管理，强化水资源监测计量体系建设，实施用水统计调查制度，对水资源综合管理起到了有力的支撑作用。本节从水资源管理数据支撑能力的角度，评估了中国在省级尺度上推进落实水资源综合管理目标（SDG 6.5）的进展情况。

## 中国省级水资源综合管理数据支撑能力评估

**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**

参考 UNEP《SDG 6 的综合监测指南——指标 6.5.1 分步骤监测法》（UNEP, 2017），结合中国水文水资源监测统计情况和水资源管理的工作内容，从水资源量管理、供用水管理、水源地管理、含水层管理、数据有效性五方面构建了水资源综合管理数据支撑能力评估指标集，并据此开展了 2017 年、2020 年中国全国及 31 个省级行政区水资源综合管理数据支撑能力评估。其中，水文站、地下水站数据来源于《全国水文统计年报》，总供用水量数据来源于《中国水资源公报》。

**2017~2020 年中国水资源综合管理各类数据支撑能力均有不同程度进展。**其中，反映供用水管理、水源地管理数据支撑能力方面，供用水量测报率、水源地水质

监测率提升明显。此外，地下水站网当量密度从 2017 年的 8.4 眼 / $10^3$  km<sup>2</sup> 提升到 2020 年的 13.8 眼 / $10^3$  km<sup>2</sup>，提升了 64.3%；水文站网当量密度提升了 13.3%。

**各省水资源综合管理数据支撑能力差异明显。**2020 年中国实现了重要水源地水质监测全覆盖，各类监测点上报完整率各省差异较小，其他指标依然存在省际不平衡现象。水文站网当量密度呈现东南大、西北小的特点，上海最大、青海最小。地下水站网当量密度呈现北方大、南方小的特点，北京最大、新疆最小。各省水资源综合管理数据支撑能力差异与各地水资源禀赋条件、社会经济发展状况、水资源开发利用特点关系密切。



## 水生态系统变化

根据 UNEP 最新评估报告，过去 5 年全球近 1/5 的流域地表水面积发生了显著变化，包括因洪水和水库建设新增的水面以及因干旱而消失的湖泊、湿地和洪泛区（UNEP, 2021b）。这一期间，中国内陆水体发生了显著变化，一方面水利工程的修建增加了大量的人工水体

（Wang *et al.*, 2022），另一方面气候变化影响下青藏高原天然湖泊面积整体呈显著增加趋势，而内蒙古高原上的湖泊呈减少趋势（Tao *et al.*, 2020）。本节从地表水面积和地下水储量变化的角度，评估了中国推进落实保护和恢复与水有关的生态系统（SDG 6.6）的进展情况。

## 中国各省地表水-地下水水量变化评估

**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**

以欧盟委员会联合研究中心（European Commission's Joint Research Centre, JRC）月度水体分布数据为基础，采用人工目视解译方法提取了 2015 年中国水库水面数据；以哨兵一号卫星影像为基础，采用随机森林分类方法提取了 2020 年中国水库水面数据（Li and Niu, 2022）；在 Chen 等（2009）、Pan 等（2017）基础上发展了融合重力恢复与气候试验（Gravity Recovery and Climate Experiment, GRACE）卫星与地下水位数据的协同正演模型，进行了中国地下水储量变化分析。

**中国水库水面面积 2020 年比 2015 年增长约 7%。**2015 年、2020 年中国水库水面面积分别为 2.25 万 km<sup>2</sup> 和 2.41 万 km<sup>2</sup>，增加了约 7%。其中，内陆河流域水库增加最多，增长占比 5%，而珠江流域减少 4%，其他流域变化幅度都在 1%~2% 范围内。

根据 2020 年结果，中国水库主要分布于长江流域，约占水库总数的 50%；淮河流域、珠江流域各占中国水库总数 10% 以上；东南诸河、松辽河流域、黄河流域、

海河流域、内陆河以及西南诸河共拥有约 25% 的水库。

**相比 2005~2014 年，2015~2020 年中国地下水减少的速率减缓 65%。**2005~2020 年中国地下水储量变化速率为  $(-25.56 \pm 32.84)$  亿 m<sup>3</sup>/a，显著（ $p < 0.05$ ）减少、增多区域分别占国土面积 27%、45%。其中，显著减少区域主要分布在黄淮海平原、内蒙古中部、西辽河流域、天山北部等长江以北地区，显著增多区域主要分布在四川盆地、云贵高原等长江以南地区（图 3-6a）。2015~2020 年，中国全境和华北平原地下水减少速率分别较 2005~2014 年减缓 65%、37%，其中，北京平原区从年均减少  $(1.17 \pm 0.04)$  亿 m<sup>3</sup> 转变为年均增加  $(0.75 \pm 0.11)$  亿 m<sup>3</sup>（图 3-6b）。

地下水储量的上述变化与水库面积和数量总体表现出较一致的空间特征。在长江流域、松辽河流域、珠江流域等水库较丰富的地区，地下水储量总体呈增加趋势；在海河流域、黄河流域、西南诸河等水库较少的区域，地下水储量总体呈减少趋势。

图 3-6.

(a) 中国2005~2020 年地下水储量变化速率空间分布

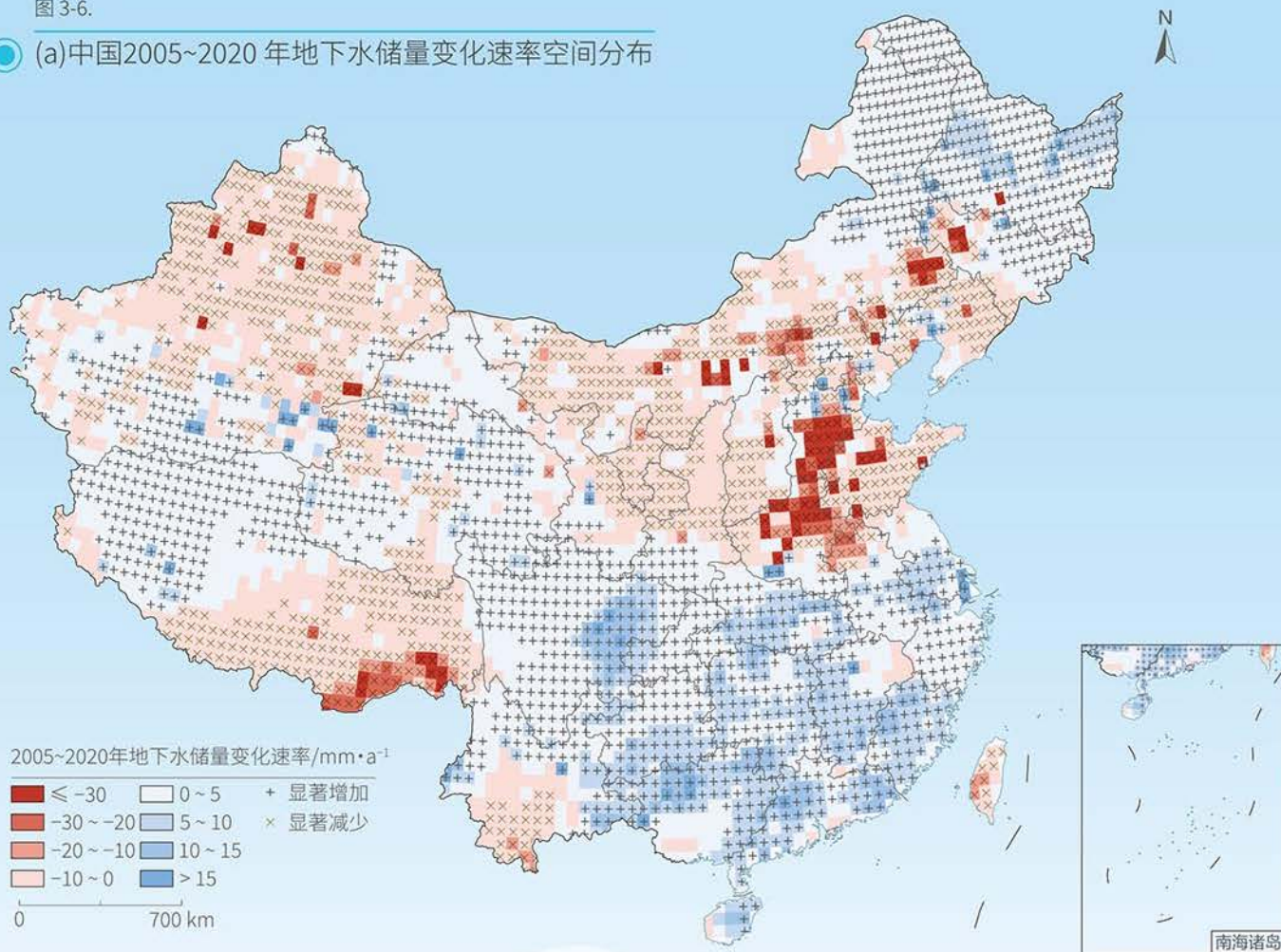
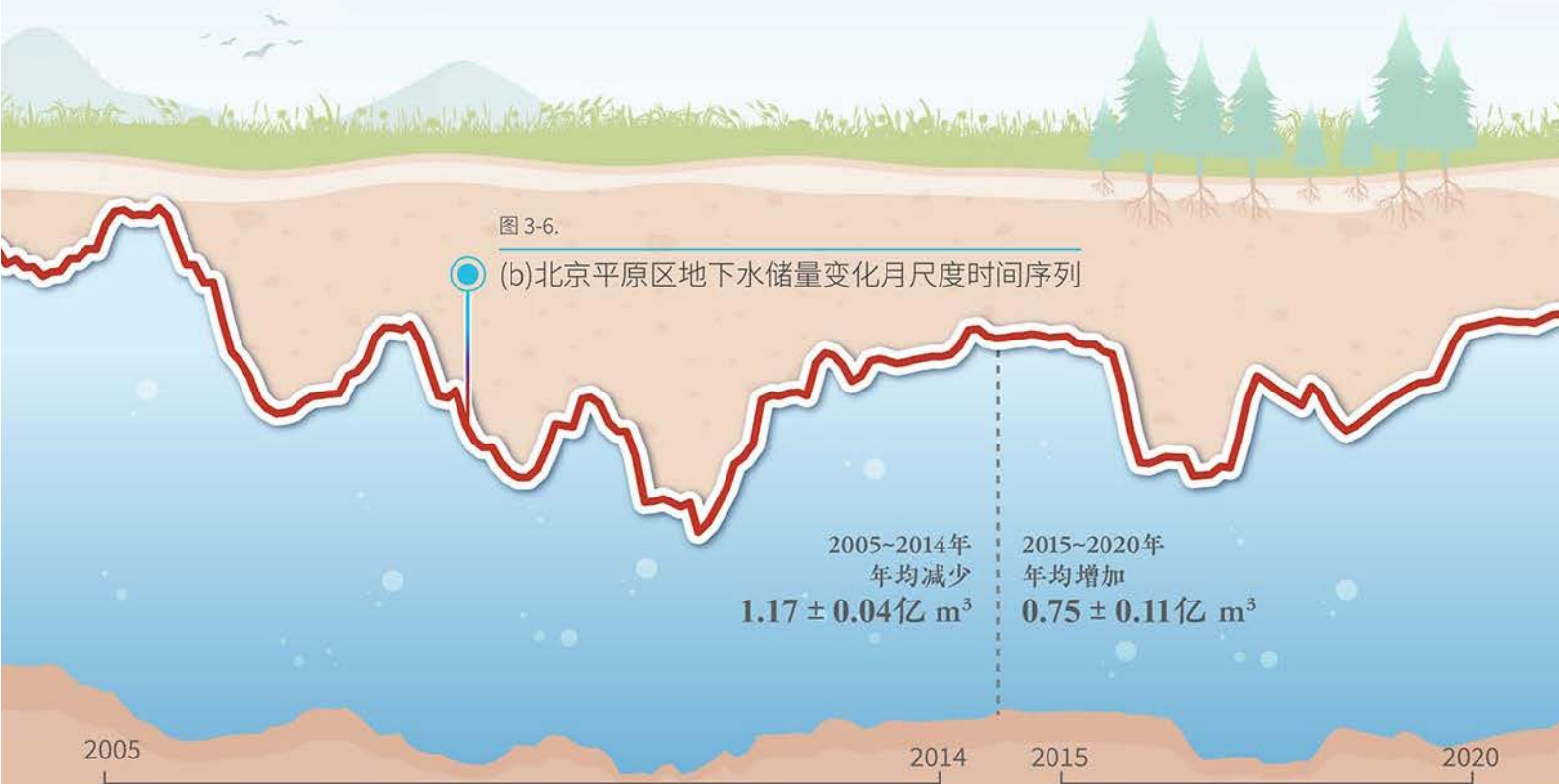


图 3-6.

(b) 北京平原区地下水储量变化月尺度时间序列





## 综合评估

## 2015~2020年中国SDG 6进展综合评估

综合利用本章各节得到的水质良好比例（SDG 6.3.2）、用水紧张程度（SDG 6.4.2）和水资源综合管理（SDG 6.5.1）数据集，结合基于各省集中式饮用水水源地水质月报数据分析获取的饮用水水质达标率（SDG 6.1.1）、《中国城市建设统计年鉴》中获取的安全处理家庭和工业废水的比例（SDG 6.3.1）、利用《中国统计年鉴》和《中国水资源公报》测算的用水效率（SDG 6.4.1），以及《中国多时期土地利用土地覆被变化遥感监测数据集》和中国科学院红树林数据集（CAS Mangroves 2.0）中提取的与水相关生态系统范围变化（SDG 6.6.1）等数据，采用各指标归一化等权重方法构建了水资源开发与保护可持续状态指数（简称“SDG 6 综合指数”），并对中国各省级行政区的变化情况进行了评估。

2015~2020 年，中国 SDG 6 各指标均取得明显进展。SDG 6 综合指数较高的区域分布在生态环境较好的西藏、贵州，以及发展速度较快的北京、山东、重庆、浙江，综合指数较低的区域多为经济欠发达区域。总体来看，2015 年 SDG 6 综合指数较低的区域分布在内蒙古、宁夏、上海等地，2020 年宁夏、内蒙古、河北、青海等地的 SDG 6 综合指数较低。中国各省级行政区的 SDG 6 综合指数均呈增加趋势，其中西藏、贵州、山东的 SDG 6 综合指数增幅明显，均超过了 50.0%，西藏的增幅达到了 78.6%（图 3-7a）。

中国各省级行政区之间水资源开发与保护可持续状态目前还存在显著差异，同时各区域间存在的问题各异，经济发达地区多面临水环境（SDG 6.3）和水生态（SDG 6.6）方面的挑战，经济欠发达地区的用水效率（SDG 6.4）则普遍偏低（图 3-7b）。



图 3-7. 2015~2020 年中国各省份 SDG 6 综合指数的变化空间分布 (a) 和单指标变化情况 (b) (注：港澳台地区数据未统计)





## 建议与展望

本章基于国家层面的统计及卫星遥感数据，分析了中国不同省级行政区的单指标（SDG 6.3.2、SDG 6.4.1、SDG 6.4.2、SDG 6.5.1、SDG 6.6.1）及综合进展情况，结果表明，2015~2020 年，中国 SDG 6 进展良好，但从省级行政区域的角度，受不同地区自然地理条件、资源禀赋以及经济发展水平的影响，各项指标的实现情况存在显著的空间差异。

基于本章研究，我们建议：

（1）针对各省级行政区 SDG 6 单指标和综合指数变化情况，结合区域水资源供给和水环境治理现状，制定与各区域经济发展水平相适应的 SDG 6 实现优化路径，以实现不同区域 SDG 6 各具体目标的协同发展。

（2）因部分指标数据不全，使得部分评估结果还存

在一定不确定性，未来宜将地方监测站网和统计调查数据纳入评估，以进一步提高评估的精细程度，从而支撑不同区域精准施策。

（3）依托本次研究中发展的基于卫星遥感的农作物用水效率和地表水水库水面与地下水储量等监测评估方法，开展全球扩展应用研究，为解决这两项指标在全球尺度的数据缺失问题提供技术解决途径。

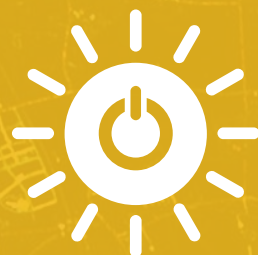
未来，在完善国家及省级行政区尺度的监测方法和数据集的基础上，将进一步探索流域尺度的监测与评估，更深入挖掘地球大数据技术在数据分解和空间关联关系分析上的优势，从而提供考虑不同空间尺度及区域水力联系特征的决策支持服务。





SDG 7





## SDG 7 经济适用 的清洁能源

|            |    |
|------------|----|
| 背景介绍.....  | 39 |
| 主要贡献.....  | 40 |
| 主题研究.....  | 41 |
| 建议与展望..... | 50 |



## 成果亮点

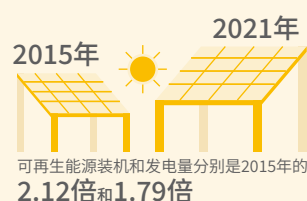
### 电力获取

全球通电建筑面积增加显著。2020 年全球通电建筑面积较 2014 年增加近 30 000 km<sup>2</sup>，通电建筑面积占比提高近 2 个百分点，117 个国家（地区）的通电建筑面积显著增加；未通电建筑面积增加的国家（地区）中超过半数处于脆弱和冲突的环境。



### 可再生能源

中国绿色低碳能源转型进展显著。2021 年，中国可再生能源装机和发电量分别是 2015 年的 2.12 倍和 1.79 倍，新冠疫情期间，中国可再生能源装机仍然保持年均 15.81% 的增长态势；中国成为全球最大的风电机组和光伏组件生产及出口国，引领全球风电、光伏发电成本下降；中国光伏产业开创了农村脱贫和西部地区生态修复的新路径，助力中国实现消除绝对贫困的目标，同时为全球摆脱贫困提供了解决方案与良好借鉴。



### 国际能源合作

中国能源国际合作帮助发展中国家实现 SDG 7 目标。中国能源国际合作项目增加了 80 个国家的人均用电量，提高了 44 个国家的可再生能源发电量占比和 49 个发展中国家的人均可再生能源装机，中国投入发展中国家的可再生能源资金超过 1 000 亿美元。中国太阳能国际培训坚持开放透明，与国际机构共同推动全球 SDG 7 目标实现，截至 2021 年受培训国家（地区）已达 133 个，其中来自非洲的受培训人员占总人数的 49.70%。





## 背景介绍

化石燃料利用产生的人为碳排放是导致全球变暖的主要原因。为应对全球气候变化，从化石能源到绿色低碳能源转型已成为全球共识。联合国为推动全球能源变革，将 SDG 7 “经济适用的清洁能源” 作为联合国 2030 年可持续发展议程的 17 项目标之一。SDG 7 从能源供应、可再生能源、能效提升和国际能源合作等四个方面设置了六大指标，确保到 2030 年实现人人获得可靠、可负担、可持续的现代能源目标。

中国坚持生态文明理念，高度重视可再生能源发展，在应对气候变化方面采取了系列措施，在清洁能源领域取得了重大成就。中国可再生能源装机已连续多年位居全球首位，风电和光伏发电产业发展推动了全球可再生能源发电的规模化应用。2020 年，中国进一步提出“二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和”的目标（以下简称“双碳”目标）。

在全球发展倡议和南南合作框架下，中国还通过投资、承建、设备供应和培训等国际能源合作，积极帮助其他国家，特别是发展中国家，为全球 SDG 7 的实现做出了重大贡献。

及时准确地跟踪与评估全球 SDG 7 进展，对各国实现 SDG 7 的政策制定和项目实施具有重要意义。国际能源署等国际机构自 2017 年起每年联合发布全球 SDG 7 跟踪报告，但目前 SDG 7 进程评估依然面临数据缺失、更新滞后等挑战。发展基于地球大数据技术的新一代 SDG 7 跟踪评估方法已成为国际热点。

本报告旨在利用遥感、地理信息系统等地球大数据技术，周期性获取和综合分析全球多源数据，改进全球 SDG 7 的地球大数据监测与评估方法，评估全球 SDG 7 各指标进展，为在全球实现 SDG 7 目标提供科学数据支撑。







## 主要贡献

本章通过五个案例评估了全球和中国在 SDG 7.1、SDG 7.2、SDG 7.a、SDG 7.b 等具体目标的进展情况，主要贡献如下（表 4-1）。

| 表 4-1 案例名称及其主要贡献 |                                          |             |                                                                                                 |
|------------------|------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 主 题              | 对应具体目标                                   | 案 例         | 贡 献                                                                                             |
| 电力获取             | SDG 7.1                                  | 全球建筑通电状况    | 数据产品：2014 年和 2020 年全球建筑通电状况遥感监测数据集<br>方法模型：全球建筑通电状况遥感监测方法<br>决策支持：为全球电气化政策制定和投资决策提供支持           |
| 可再生能源            | SDG 7.2                                  | 中国可再生能源电力   | 决策支持：总结中国可再生能源电力的发展经验，为中国可再生能源电力政策制定提供决策支持                                                      |
|                  |                                          | 中国光伏电站建设    | 数据产品：2015 年和 2020 年中国光伏电站分布数据集                                                                  |
| 国际能源合作           | SDG 7.1<br>SDG 7.2<br>SDG 7.a<br>SDG 7.b | 中国能源国际合作项目  | 数据产品：中国能源国际合作项目对发展中国家 SDG 7 影响数据集<br>方法模型：中国能源国际合作项目对发展中国家 SDG 7 影响评估方法<br>决策支持：为中国国际能源合作提供决策支持 |
|                  | SDG 7.a                                  | 中国太阳能利用国际培训 | 数据产品：中国太阳能利用国际培训统计数据集<br>决策支持：为中国太阳能利用援外培训提供决策支持                                                |



## 主题研究

### 电力获取

电力短缺是发展中国家面临的首要能源问题，2020 年全球仍有约 7 亿人无法获得电力。通电率是反映电力普及程度的 SDG 7 指标，及时准确的通电率数据对于各方实现 SDG 7.1 能源供应目标具有重要参考价值。本主题研制了 2014 年和 2020 年全球 500 m 分辨率建筑通电

状况数据集，提出了建筑通电状况的遥感监测新方法，分析了全球建筑通电状况的空间分布和变化，解决了现有通电率数据部分国家数据缺失、更新滞后等问题，提升了全球建筑通电状况的监测能力，为制定针对性的电力供应策略提供数据支持。

## 全球建筑通电状况

**对应目标：7.1 到 2030 年，确保人人都能获得负担得起的、可靠的现代能源服务**

基于全球 500 m 分辨率夜间灯光遥感数据，提出了全球建筑通电状况遥感监测方法（Gao et al., 2022a），监测了 2014 年和 2020 年全球建筑通电状况，精度达 98.10%，统计分析全球通电建筑的空间分布和时序变化规律，评估了全球实现 SDG 7.1.1 通电率目标的进展。

全球未通电建筑主要分布在非洲和亚洲，尤其是撒哈拉以南的非洲。2020 年，全球未通电建筑主要分布在非洲和亚洲（图 4-1），其中未通电建筑面积占比排名前 20 国家中 76% 分布在撒哈拉以南的非洲。要在全球实现人人均能获得电力的 SDG 7 目标，需要国际社会进一步加大对发展中国家的支持。

**2020 年全球通电建筑面积较 2014 年明显增加。**2020 年全球通电建筑面积较 2014 年增加 29 108.62

km<sup>2</sup>，通电建筑面积占比由 96.95% 增加为 98.68%（图 4-2）。根据世界资源研究所的全球电站数据库，在此期间，117 个国家（地区）通过 415 个电站的建设，使得通电建筑面积占比增加。而未通电建筑占比增加最多的 18 个国家仅建设了 17 个电站。

未通电建筑面积显著增加的国家（地区）超过一半处于脆弱和冲突的环境。32 个国家（地区）未通电建筑面积占比增加，其中 18 个国家（地区）增加显著，增幅超过 0.1%。这 18 个国家中 6 个处于中高强度冲突（World Bank, 2022），1 个国家社会环境脆弱，3 个国家发生过武装冲突（骚乱），5 个国家因新冠疫情出现经济衰退。因此，政局动荡、武装冲突、经济衰退是导致未通电建筑面积增加的主要原因之一。



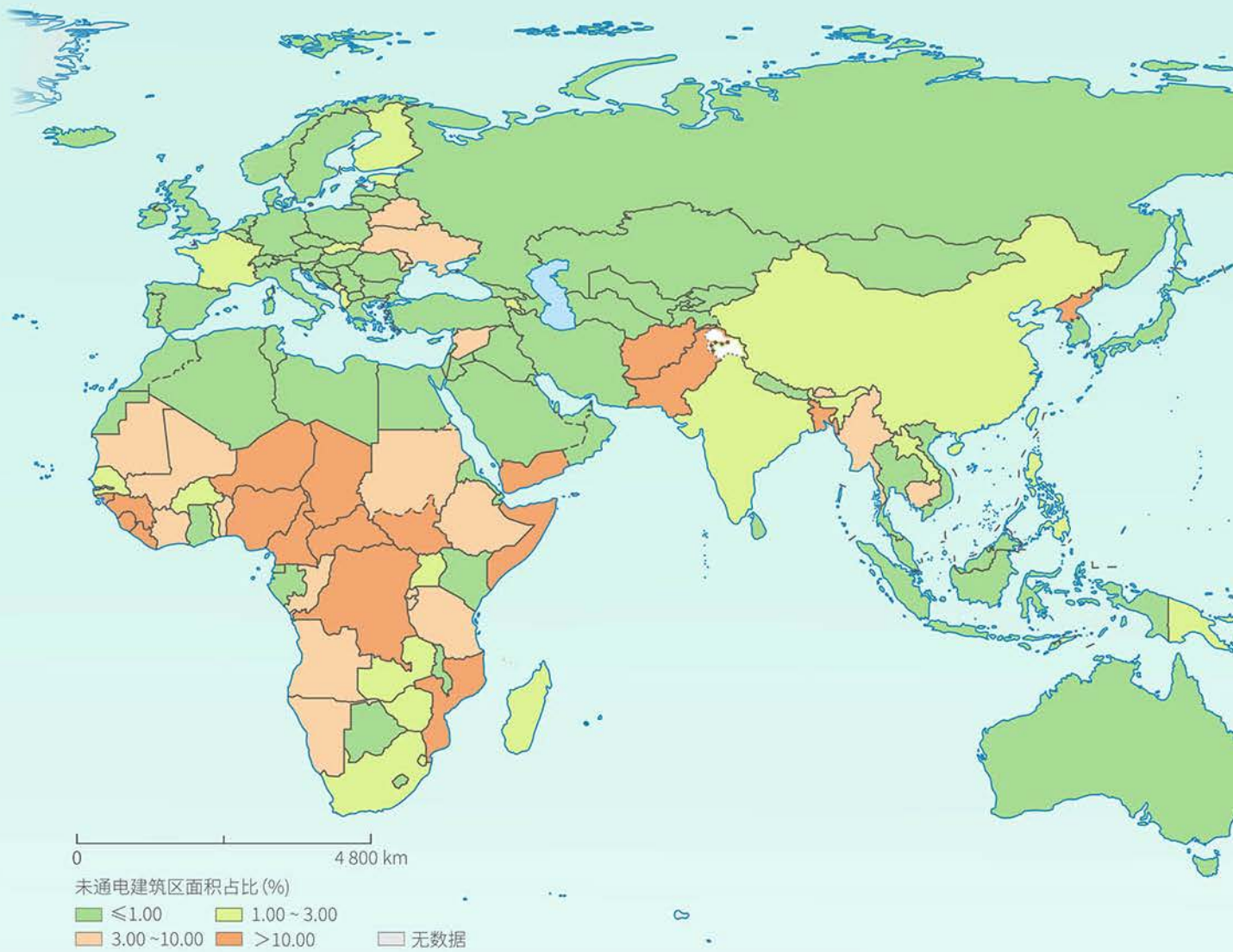
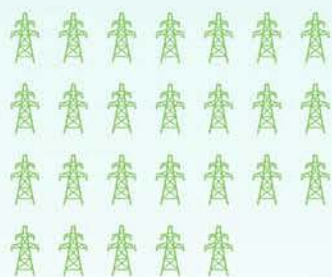


图4-1.

2020年全球未通电建筑面积占比图



415 个电站



117 个国家（地区）

通电建筑面积占比增加

2020 年  
全球通电建筑面积增加

29108.62 km<sup>2</sup>  
面积占比  
由96.95%  
增加为98.68%



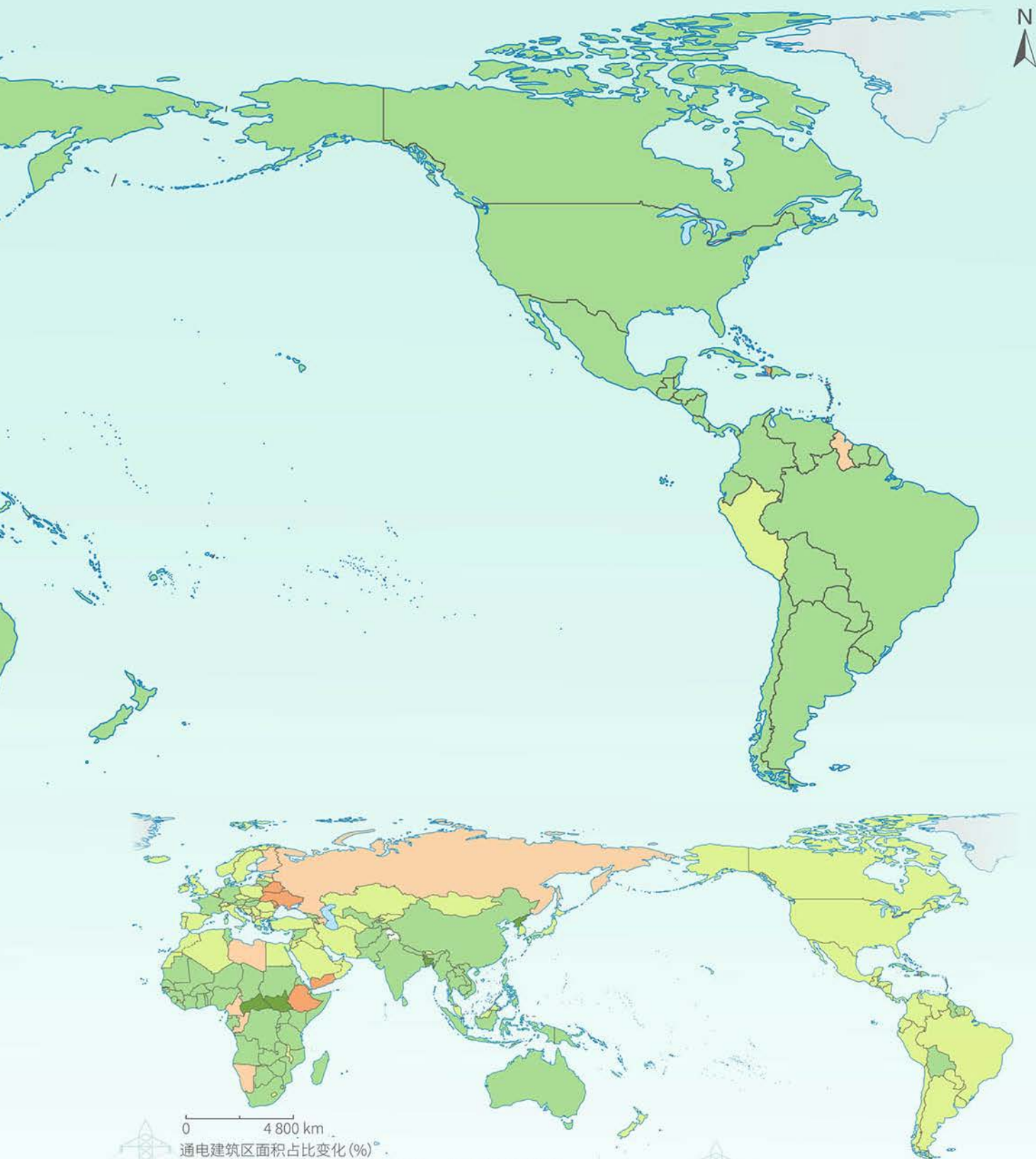


图 4-2.

2020年全球通电建筑占比较  
2014年变化





## 可再生能源

可再生能源是全球能源转型和应对气候变化的关键。2012年以来，中国提出的“推动能源生产和消费革命”战略持续推进了新时代能源发展，“双碳”目标的提出明确了中国能源转型方向。作为负责任的大国，中国不再新建境外煤电项目，大力支持发展中国家绿色低碳能源发展，为全球能源转型和绿色发展做出表率。本主题

基于地球大数据，建立了中国2015~2021年的可再生能源电力生产数据集、2015和2020年光伏电站遥感监测数据集、可再生能源政策体系数据集，综合分析了中国可再生能源电力发展情况和政策经验，为其他发展中国家推进可再生能源发展提供借鉴。

## 中国可再生能源电力

**对应目标：7.2 到2030年，大幅增加可再生能源在全球能源结构中的比例**

基于2015~2021年中国可再生能源发电装机和生产数据（中国国家能源局，2016-2022a，2016-2022b；中国电力年鉴，2016），分析可再生能源发电装机和发电量占比变化，总结可再生能源发展的政策经验，评估可再生能源电力的推广与利用进展。

**2021年中国可再生能源装机是2015年的2.12倍，占全球可再生能源装机的三分之一，助力全球能源转型。**2021年中国可再生能源装机达到10.63亿千瓦，是

2015年的2.12倍，占中国全部电力装机的44.72%（图4-3），占全球可再生能源装机的34.69%；发电量24853亿千瓦时，是2015年的1.79倍，约占全社会用电量的29.90%。其中非水可再生能源增长更加强劲，2021年累计装机是2015年的3.69倍，发电量是2015年的4.12倍。新冠疫情期间，中国可再生能源发电装机仍然保持高速增长态势，年均增长15.81%。中国可再生能源规模化发展为实现中国“双碳”目标奠定了良好基础，有力推动了全球可靠清洁能源目标的实现。

近10年来，中国陆上风电和光伏发电成本分别下降30%和75%，推动全球清洁能源转型。近10年来，中国风电和光伏产业规模稳步增长、技术水平不断提升、发电成本快速下降。陆上风电和光伏发电成本分别下降30%和75%左右。随着成本下降，中国光伏上网电价自2015年以来持续下降（中国国家发展和改革委员会，2019，图4-4），2021年已经实现平价上网（光伏上网价格和火电相同）。中国成为全球最大的风电机组和光伏组件生产及出口国，以光伏发电为例，2021年中国光伏组件产量达到18180万千瓦（港澳台地区无数数据），约占全球总产量的82.34%（中国光伏行业协会，2021）。中国可再生能源的快速发展为推动全球实现可负担清洁能源提供了有力保障。

**持续调整和完善可再生能源政策体系，为全球可再生能源电力发展提供借鉴。**政策顶层设计与规划引领中国可再生能源电力快速发展。2006年施行的《中华人民共和国可再生能源法》是促进可再生能源发展的法律基



图 4-3. 中国可再生能源电力装机及占比 (a) 和中国可再生能源电力发电量及其在全社会用电量的占比 (b)

础。后续系列政策法规的出台，为国家可再生能源规模化发展、产业技术推广与利用奠定了坚实基础。自该法律颁布实施以来，中央有关部门先后出台了 200 多项政策通知，发布了超过 660 项标准，中国各地区也制定了可再生能源发展专项规划。

根据可再生能源不同发展阶段，不断完善政策措施。中国可再生能源发展从初期的初始投资补贴和特许权招标等政策，逐步过渡到固定电价机制、保障性收购和财税金融等其他支持政策。目前风电光伏已全面进入平价上网阶段，中国将进一步完善基于可再生能源环境价值的政策支持体系，加强可再生能源绿色电力证书机制与碳交易相关政策的衔接。

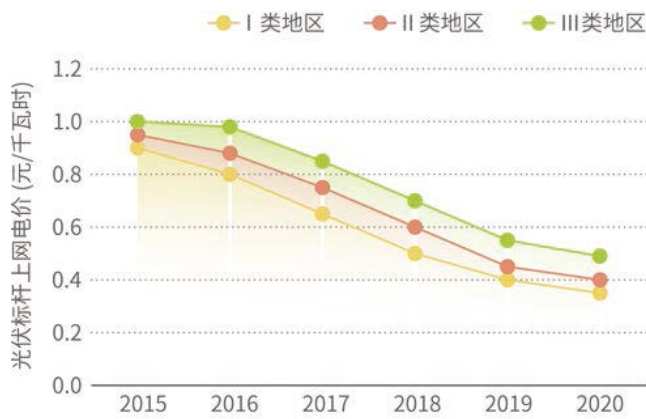


图 4-4. 中国光伏标杆上网电价变化

## 中国光伏电站建设

**对应目标：7.2 到 2030 年，大幅增加可再生能源在全球能源结构中的比例**

基于地球大数据平台和 Deeplab V3+ 深度学习网络，利用 2015 和 2020 年哨兵二号卫星影像，构建了中国光伏电站识别样本库及提取模型，分析了光伏电站的分布现状及发展趋势。基于中国财政部光伏扶贫补助目录数据，分析了光伏扶贫项目对农村经济的影响。

**中国集中式光伏电站主要分布在西北地区，开创了生态脆弱地区生态修复的新路径。**胡焕庸线东西两侧光伏电站占比分别为 43.25% 和 56.75%，集中式光伏电站多分布在沙漠、戈壁、荒漠集中的西北地区，充分利用沙漠、戈壁和荒漠资源。光伏组件可以降低风速和遮蔽阳光直射，减少 20%~30% 的地表水蒸发，同时还具有集雨功能，从而有效改善植被生存环境。中国西部“光伏治沙”项目为生态脆弱区生态环境改善做出了贡献。

2015~2020 年新增光伏电站主要分布在中国西北和华北地区，分别占比 37.54% 和 17.25%（图 4-5）。

**中国“光伏扶贫”项目为农村经济发展提供新思路。**中国开创了光伏扶贫的新路径。根据中国财政部光伏扶贫补助目录数据和国家能源局光伏扶贫效益数据，截止 2020 年底，共建设了 8.3 万座村级电站（图 4-6），覆盖 9.23 万个村，每年产生发电收益约 180 亿元，户均发电收益约 4 337 元，创造了约 125 万个就业岗位。光伏扶贫工程的成功实施为农户提供了清洁能源，提升了乡村治理能力，改善了人居环境。在光伏扶贫取得巨大成果的基础上，中国将进一步推动农村分布式光伏开发，助力乡村振兴，为广大发展中国家农村地区能源转型与经济发展提供示范。





图 4-5. 2020 年中国光伏电站空间分布现状

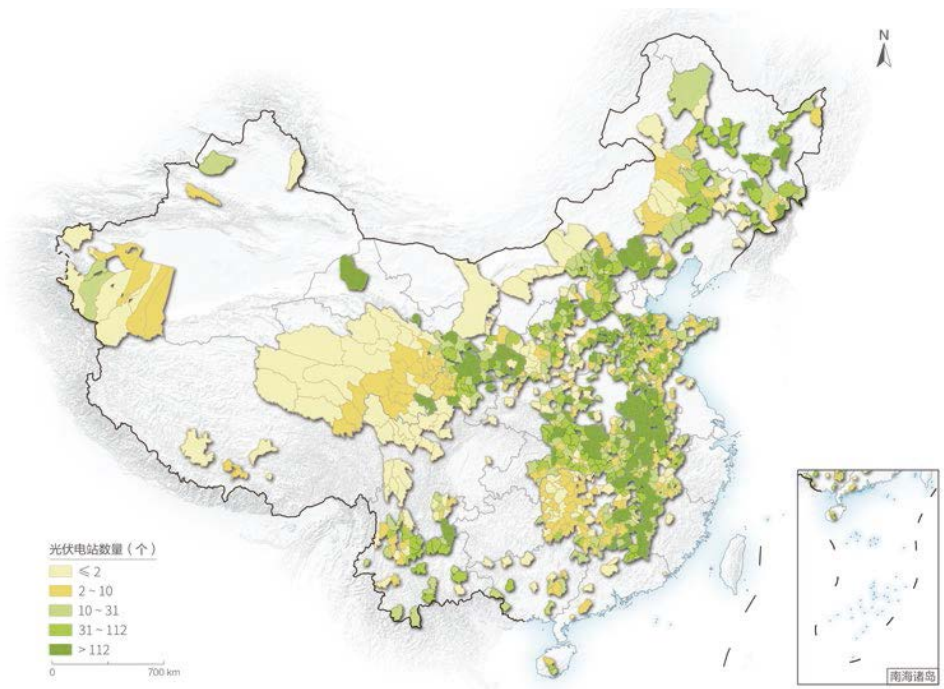


图 4-6. 中国光伏扶贫电站空间分布图

## 国际能源合作

发展中国家普遍存在能源短缺问题，同时缺乏资金和技术来实现能源自给和能源转型。要在全球实现 SDG 7 人人都可负担的现代能源服务目标，关键在于如何帮助发展中国家解决能源短缺和能源转型问题，为此，SDG 7 设立了 7.a 和 7.b 两个国际合作指标来促进发展中国家的绿色低碳能源转型。

在全球发展倡议和南南合作框架下，中国积极响应联合国 2030 年可持续发展议程中 SDG 7 相关国际合作的指标，帮助发展中国家发展清洁能源，推动全球能源绿色低碳转型。清洁能源始终是中国国际合作项目的重

点。中国积极通过投资、承建和设备供应等形式为发展中国家能源项目建设提供资金和技术，帮助发展中国家实现 SDG 7 目标。同时，中国积极通过政府间国际培训等方式，为发展中国家清洁能源发展的政策制定、产业规划、项目实施、人才培养等方面提供帮助。

本主题研发了中国能源国际合作项目对发展中国家 SDG 7 影响评估数据集和太阳能利用国际培训数据集，提出了中国能源国际合作项目对发展中国家 SDG 7 影响评估方法，评估了中国能源国际合作项目和太阳能利用国际培训对发展中国家 SDG 7 目标实现的影响。

## 中国能源国际合作项目

**对应目标：7.1 到 2030 年，确保人人能获得负担得起的、可靠的现代能源服务**

**7.2 到 2030 年，大幅增加可再生能源在全球能源结构中的比例**

**7.a 到 2030 年，加强国际合作，促进获取清洁能源的研究和技术，包括可再生能源、能效，以及先进和更清洁的化石燃料技术，并促进对能源基础设施和清洁能源技术的投资**

**7.b 到 2030 年，增建基础设施并进行技术升级，以便根据发展中国家，特别是最不发达国家、小岛屿发展中国家和内陆发展中国家各自的支持方案，为所有人提供可持续的现代能源服务**

基于世界银行的全球人口和人均用电量数据，世界资源研究所的全球电站数据库和自主研发的中国能源国际合作项目数据集等，采用地球大数据空间统计分析方法，评估了中国能源国际合作项目对发展中国家 SDG 7 实现的影响。中国以投资、承建或者设备供应等方式在

80 个国家参与了 437 个能源国际合作项目（Gao et al., 2022b），对促进发展中国家实现 SDG 7 目标贡献显著（图 4-7）：这些项目增加了发展中国家的电力装机和人均用电量，提高了发展中国家的人均可再生能源装机和发电量占比，2000~2020 年中国投入发展中国家的可再生能



图 4-7. 中国能源国际合作项目对 80 个国家 2015 年与 2020 年 SDG 7 指标的贡献



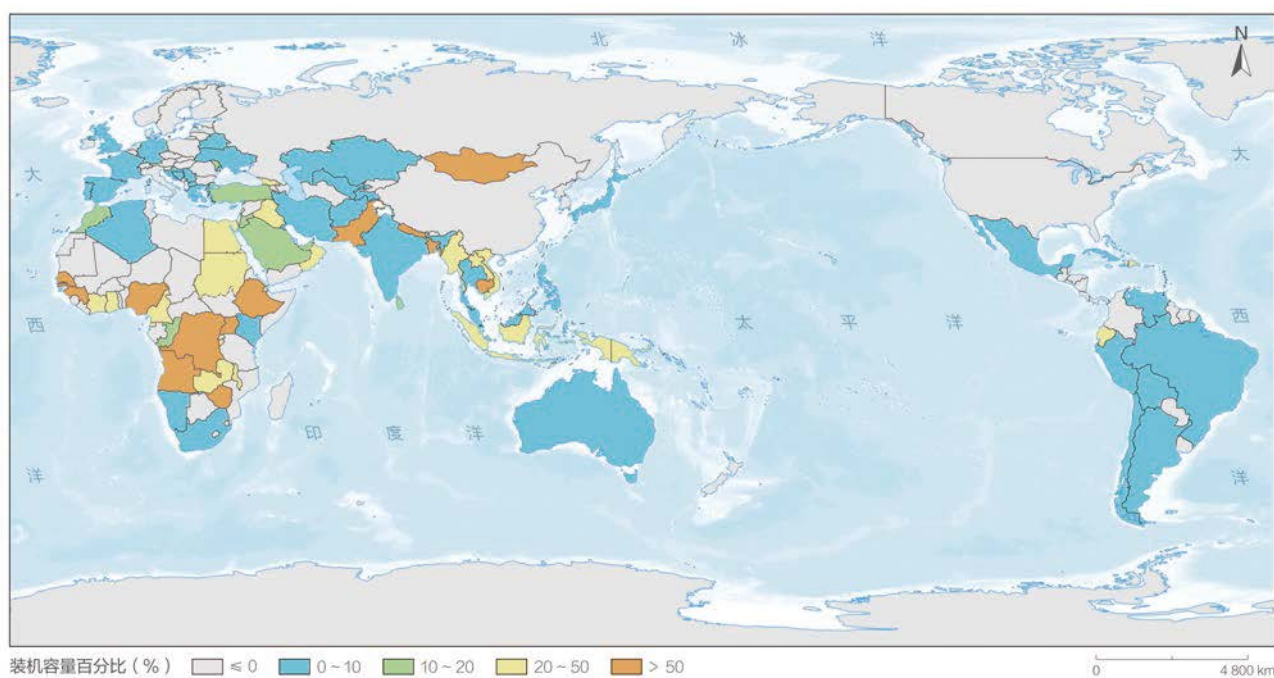


图 4-8. 2000~2019 年中国能源国际合作项目装机容量占所在国总装机容量的比值

源资金超过 1 000 亿美元。

**帮助发展中国家解决电力短缺问题，提高全球电力供应能力。**中国能源国际合作项目在安哥拉、几内亚等 13 个国家总装机容量的占比超过 50%；在缅甸、赞比亚等 20 个国家总装机容量的占比超过 20%（图 4-8）；可满足埃塞俄比亚、巴基斯坦等 32 个国家新增电力需求，助力这些国家解决电力短缺问题；增加了 80 个国家的人均用电量，其中 10 个国家的人均用电量增加超过 400 千瓦时。

**帮助 44 个国家提升可再生能源占比，促进全球能源绿色低碳转型。**中国能源国际合作项目中可再生能源电站数量占比达 51.26%，装机占比 41.35%。中国能源国际合作项目提高了 44 个国家的可再生能源发电量占比，平均提高幅度为 3.70%，填补了沙特阿拉伯等 5 个国家可再生能源电站的空白。2020 年，中国能源国际合作项目可再生能源电站装机是 2015 年的 1.37 倍。

**投入发展中国家的能源资金将以可再生能源为主，支持发展中国家清洁能源开发利用。**根据全球发展政策研究中心的中国海外能源融资数据库，2000~2020 年，中国国家开发银行和中国进出口银行中国海外能源融资金额达 2 346 亿美元，其中可再生能源直接投资占比 42.75%。在能源电站方面的直接投资金额 803 亿美元，其中可再生能源投资占比 38.73%。2021 年，中国国家主席习近平宣布中国将不再新建境外煤电项目，可再生能源投资将成为中国境外能源投资的主要类型。

**显著提高了 49 个发展中国家的人均可再生装机容量，帮助发展中国家能源转型。**中国能源国际合作项目中可再生能源电站总装机达 8 542 万千瓦，分布在 55 个国家，其中 49 个为发展中国家，人均可再生能源装机为 26.90 瓦；使得 12 个国家人均可再生能源装机增加超过 50 瓦，最高增加量达 189.78 瓦。

## 中国太阳能利用国际培训

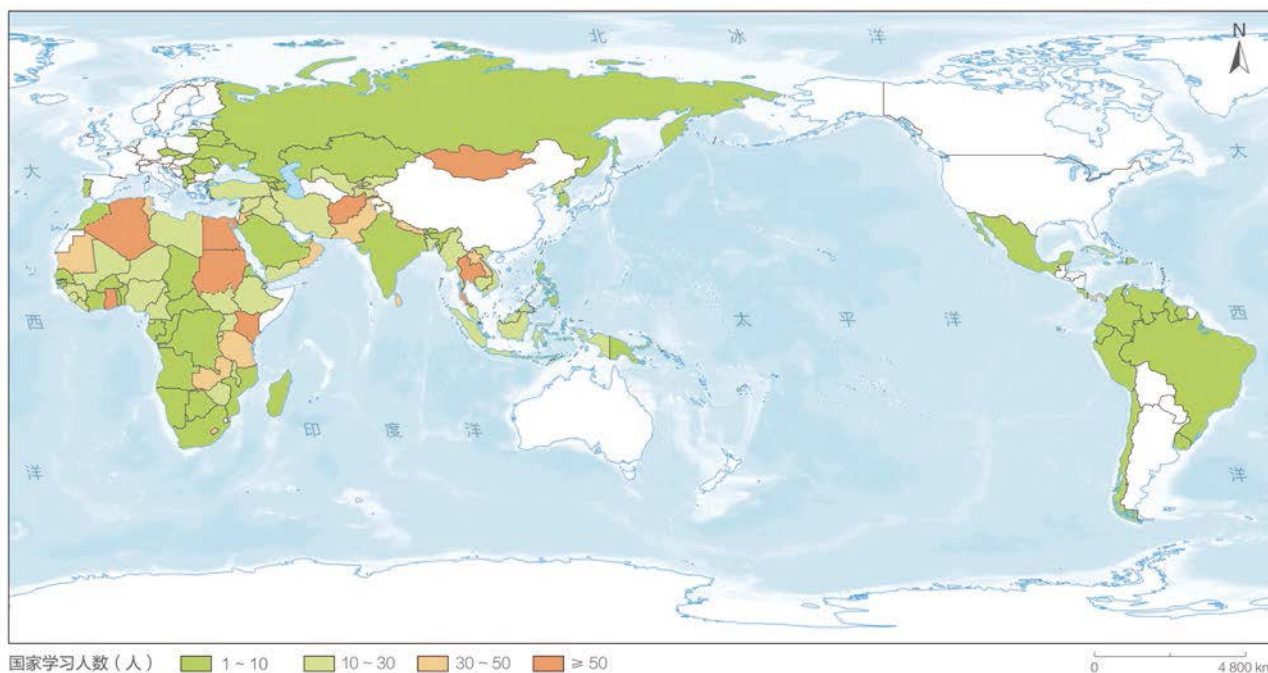
**对应目标：7.a 到 2030 年，加强国际合作，促进获取清洁能源的研究和技术，包括可再生能源、能效，以及先进和更清洁的化石燃料技术，并促进对能源基础设施和清洁能源技术的投资**

参考中国商务部、科技部等援外培训主办机构工作，结合承办单位甘肃自然能源研究所 1991~2021 年太阳能利用援外培训统计数据，研制了中国太阳能利用国际培训数据集，分析了参加中国太阳能利用国际培训国家和人员的全球分布情况，评估了中国援外培训对太阳能利用国际合作的影响。

**中国太阳能利用援外培训国家遍布全球，促进与发展中国家的合作。**截至 2021 年，中国对外培训国家和地区达 133 个，其中发展中国家占比 93.23%；培训约 2 000 人次，其中非洲国家人数占为 49.70%（图 4-9）。通过培训，120 个国家的政要、使节和专家 3 200 余人对中国

培训机构进行了访问，中国与 50 多个国家签订了合作协议，帮助发展中国家实现可持续发展目标。

**坚持开放透明，与联合国等机构和组织共同推动全球 SDG 7 落实。**中国太阳能利用国际培训项目始终坚持开放透明，广泛汇聚国际力量，与联合国开发计划署等十多家国际机构和组织开展合作，与联合国工业发展组织合作的“国际太阳能技术转移和促进中心”项目是该组织 50 周年时与中国政府合作的六大成就之一；成功组织了 240 余名国际组织官员和专家来华为学员讲座或技术交流（图 4-10），推广应用适用产品，拓展国际合作。



↑ 图 4-9. 1991~2021 年中国太阳能援外培训人员和国家分布



↑ 图 4-10. 学员参观中国光伏电站





## 建议与展望

本章围绕 SDG 7，从电力获取、可再生能源和国际能源合作三个主题，研究了 SDG 7 地球大数据监测与分析方法，评估了全球和中国 SDG 7 指标进展。结果表明，近年来，全球和中国 SDG 7 进程已取得了显著进展。

基于本章研究，我们建议：

（1）地球大数据支持 SDG 7 能力有待进一步提升，应加强大数据可持续发展设施建设。地球大数据技术在 SDG 7.1 和 SDG 7.2 等具体目标监测方面具备向全球推广的潜力，可为全球 SDG 7 指标的监测提供数据支撑。但受卫星遥感数据空间分辨率的限制，部分评估结果还存在进一步提升的空间。未来应发展可持续发展卫星星座，进一步提升地球大数据支持可持续发展目标的支撑能力。

（2）发展可再生能源是应对气候变化和实现全球能源转型的关键，各国应制定有力的可再生能源发展支持政策。中国能源转型经验表明，国家政策对可再生能源发展至关重要。要在全球实现 SDG 7 目标和能源转型，需各国制定促进可再生能源发展的产业政策，共同维护有利于可再生能源发展的国际环境，促进全球绿色低碳

发展。

（3）新能源电站建设是解决发展中国家能源短缺问题的重要途径，发展中国家应大力发展可再生能源。全球未通电建筑面积主要分布在发展中国家。能源电站建设是 117 个国家未通电建筑面积减少的主要原因。发展中国家可充分利用风能和太阳能等可再生能源资源分布广泛、易于开发利用等特点，积极开展可再生能源电力建设。

（4）全球发展伙伴关系对发展中国家实现 SDG 7 目标至关重要，国际社会应进一步加大对发展中国家的支持。发展中国家普遍缺乏发展可再生能源的资金和技术。中国能源国际合作项目在发展中国家实现 SDG 7 目标中发挥重要作用。要在全球实现 SDG 7 目标，需要国际社会加强对发展中国家的关注和支持。

风电和光伏发电等新能源成本已和传统化石能源相当。未来，新能源将逐步成为全球各国能源系统主力，大幅降低全球能源系统碳排放，显著增强各国能源自主能力。





库布齐沙漠光伏电站多谱段遥感影像图（卫星数据源：高分2号 成像时间：2022年3月31日）





# SDG 11





## SDG 11 可持续城市 和社区

|            |    |
|------------|----|
| 背景介绍.....  | 55 |
| 主要贡献.....  | 56 |
| 主题研究.....  | 57 |
| 建议与展望..... | 66 |



## 成果亮点

### 城镇化进程监测与评估

全球城镇化协调发展总体向好，全球城市土地利用效率指标由2000~2005年的1.65下降到2015~2020年的1.31，但是土地城镇化速度仍超过人口城镇化速度。



全球城镇化协调发展  
总体向好

### 世界遗产保护

2015~2020年，564项世界文化遗产地土地覆盖变化普遍小于1%，保护态势总体良好，土地覆盖变化对文化遗产保护的正/负向作用分析发现，作用趋势与人均国内生产总值高度相关。



2015-2020年  
世界文化遗产地  
土地覆盖变化  
<1%

### 城市灾害与应对

《2015~2030年仙台减少灾害风险框架》实施后，全球因极端灾害年均受灾人口和死亡人口数量显著减少，但直接经济损失指标增加幅度较大；中国的SDG 11.5.1（受灾和死亡人数）和SDG 11.5.2（直接经济损失）两项监测指标均呈现明显下降趋势。



中国的SDG11.5  
两项指标明显下降  
11.5.1 (受灾和死亡人数)  
11.5.2 (直接经济损失)

### 城市绿色空间

中国以全球19%的城市建成区面积贡献了全球28%的城市显著变绿区域。全球范围内共有约3.1亿人直接受益于城市显著变绿，中国的受益人口约占全球受益总人口的47%。



城市显著变绿  
受益人口约占全球受益总人口的  
47%

### 社区尺度 SDG 11 指标综合监测

中国SDG 11.1、SDG 11.2、SDG 11.3实现情况在社区尺度上总体向好。2015~2020年，中国主要城市原有棚户区的常住人口下降30.8%，体现棚户区改造成效显著、人居环境改善；各类社区的交通便利度平均提升2.9%，惠及人口增加0.19亿；各类社区的容积比平均增长8%，综合反映社区土地利用效率提高。



中国SDG  
11.1  
11.2  
11.3



## 背景介绍

城市是经济增长的引擎，贡献了约 60% 的全球生产总值。同时，城市是应对气候变化的重要场所，城市产生的碳排放量约占全球碳排放总量的 70%，资源使用量约占全球总量的 60% 以上。联合国可持续发展目标第 11 项为“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”（SDG 11），该目标提出，通过让城市继续蓬勃发展、改善资源利用、减少污染与贫穷等方式克服城市面临的拥挤、缺乏资金、基础设施破坏等挑战。但是，截止到 2022 年，全球城市平均固体废物收集率为 82%，城市受控设施管理的平均城市固体废物收集率为 55%；全球 117 个国家和地区的 6 475 个城市中只有 3% 的城市空气质量未超过世界卫生组织（World Health Organization, WHO）最新空气质量指南中的限值。

随着对地观测和大数据技术的发展与进步，基于遥感、统计和地理信息相结合的地球大数据方法在 SDG 11 指标监测评估中发挥着重要作用，逐渐在城市大气环境、土地可持续利用、社会经济等可持续性评价方面得到了广泛应用。在联合国 SDGs 的不断推进过程中，相关研究工作已逐渐从指标体系的构建转移到过程的监测和评估。

本章在前三年报告基础上，围绕城镇化进程监测与评估、世界遗产保护、城市灾害与应对、城市绿色空间以及社区尺度 SDG 11 指标综合监测五个主题，利用地球大数据方法开展了 SDG 11 相关指标的监测与评估，并在社区尺度开展了中国部分城市 SDG 11 指标综合监测。





## 主要贡献

本章通过六个案例评估了全球和中国两个尺度 SDG 11.3、SDG 11.4、SDG 11.5、SDG 11.7 四个具体目标及中国典型城市社区尺度 SDG 11.1、SDG 11.2、SDG 11.3 综合进展情况，主要贡献如下（表 5-1）。

表 5-1 案例名称及其主要贡献

| 主 题                | 对应具体目标                           | 案 例                                | 贡 献                                                                                                                                              |
|--------------------|----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 城镇化进程监测与评估         | SDG 11.3                         | 2000~2020 年全球城市土地利用效率综合评估          | 数据产品：2000~2020 年 5 期全球 1 702 个城市（人口超过 30 万）建成区数据集<br>决策支持：为全球城市可持续发展提供决策参考与建议                                                                    |
| 世界遗产保护             | SDG 11.4                         | 世界遗产地土地覆盖变化监测与遗产保护评估               | 数据产品：2020 年度的世界遗产边界矢量数据<br>方法模型：世界遗产地土地覆盖变化与遗产可持续发展监测评估方法<br>决策支持：完善 SDG 11.4 指标体系                                                               |
| 城市灾害与应对            | SDG 11.5                         | 2000~2021 年全球极端天气气候事件评估            | 数据产品：2000~2021 年全球极端天气气候灾害损失数据集<br>决策支持：为《仙台框架》中期审查提供数据信息支持，并为制定国家气候安全和极端事件应对策略提供参考                                                              |
|                    |                                  | 2010~2021 年中国地市级自然灾害 SDG 11.5 指标监测 | 数据产品：2010~2021 年中国 337 个地级市 SDG 11.5 监测指标数据集<br>决策支持：为城市进一步提升防灾抗灾能力提供信息支持和决策参考                                                                   |
| 城市绿色空间             | SDG 11.7                         | 全球大城市绿度变化与受益人口                     | 数据产品：2001~2021 年全球 250 m 分辨率绿度变化趋势数据集<br>方法模型：使用非参数估计模型计算每个城市的绿度变化趋势与显著性水平，根据显著变绿的城市面积与城市建成区总面积的比值计算城市显著变绿比率<br>决策支持：为广大发展中国家的城市可持续发展监测提供低成本解决方案 |
| 社区尺度 SDG 11 指标综合监测 | SDG 11.1<br>SDG 11.2<br>SDG 11.3 | 中国主要城市的社区可持续发展指标精细化监测              | 数据产品：2015、2020 年中国社区功能分类数据产品，以及中国社区可持续发展评价指标数据产品<br>决策支持：服务中国主要城市的科学化、精细化社区治理                                                                    |



## 主题研究

### 城镇化进程监测与评估

可持续的城市发展需要量化城市用地扩张和人口增长之间的关系。SDG 11.3.1 土地使用率与人口增长率之间的比率（Ratio of Land Consumption Rate to Population Growth Rate, LCRPGR）是评估城市土地利用效率的重要

指标。为了解决该指标可用数据缺失的问题，本主题从全球尺度，开展城市土地利用效率监测与评估，从而为全球城市可持续发展提供决策参考与建议。

### 2000~2020年全球城市土地利用效率综合评估

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

本案例自主生产了 2000~2020 年共 5 期全球 30 m 城市不透水面产品，按照联合国人居署推荐采用的建成区定义将不透水面转换成建成区标准化产品（Jiang et al., 2021; 2022），结合对应时期《世界城市化展望》提供的全球 1 702 个人口 30 万以上城市建成区人口数据，计算 SDG 11.3.1 指标，对全球城市土地利用效率进行综合比较、分析和评估（图 5-1）。

**全球城镇化协调发展总体向好，但是土地城镇化速度仍超过人口城镇化速度。**2000~2020 年全球典型城市不同 LCRPGR 类别城市数量比例显示，2015~2020 年土地消耗率仍快于人口增长率，但相较于 2000~2005 年，全球城市土地扩张和人口增长朝着协调方向发展。其中，土地消耗率为人口增长率的 1 倍以上（ $LCRPGR > 1$ ）的城市占比从 65.10% 下降至 63.57%；人口增长率大于土地消耗率（ $0 < LCRPGR < 1$ ）的城市从 28.91% 增长至 30.90%；人口负增长（呈现  $LCRPGR < 0$ ）的城市从 6.00% 下降至 5.52%。

2000~2020 年全球典型城市 LCRPGR 指标的变化显示，全球

城市土地利用效率指标由 2000~2005 年的 1.65 下降到 2015~2020 年的 1.31，表明全球城镇化协调发展趋势良好，但是土地城镇化速度仍超过人口城镇化速度。

**全球城镇化区域差异明显，欧洲土地城镇化速度明显快于人口城镇化速度。**2000~2020 年全球各大洲典型城市 LCRPGR 指标的变化显示，在不同时期，除亚洲外，欧洲、南美洲、北美洲、非洲以及大洋洲的 LCRPGR 指标均呈现下降趋势。以 2015~2020 年为例，结果排序呈现欧洲（2.76）> 亚洲（1.59）> 北美洲（1.41）> 非洲（1.13）、南美洲（1.13）> 大洋洲（1.01）的格局，表明欧洲地区土地消耗率明显超过人口增长率。

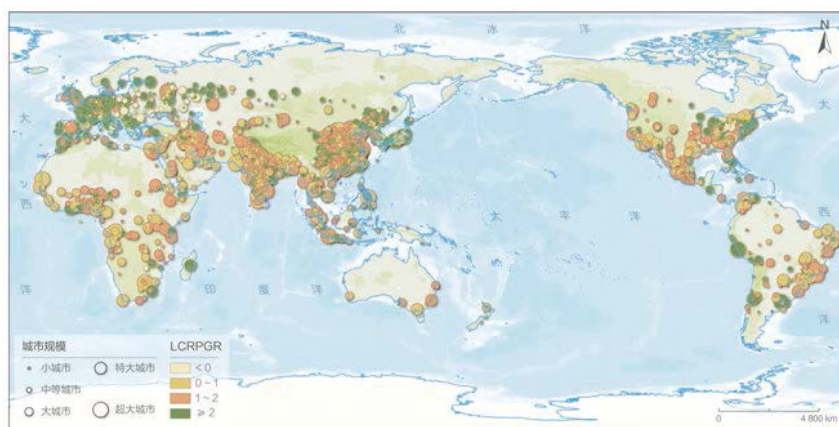


图 5-1. 2000~2020 年全球城市 LCRPGR 指标变化



## 世界遗产保护

进一步努力保护和捍卫世界文化和自然遗产是 SDG 11 可持续城市与社区的具体目标之一。当前，该具体目标监测与评估存在数据缺失、指标单一等问题。结合数据的可用性，本主题选择了世界自然与文化遗产地土地

覆盖变化监测与遗产保护评估案例，探索世界遗产可持续发展进展监测与评估的新方法，为世界遗产保护与管理提供有益参考。

## 世界遗产地土地覆盖变化监测与遗产保护评估

**对应目标：11.4 进一步努力保护和捍卫世界文化和自然遗产**

基于全球土地覆盖数据集及高分辨率卫星遥感影像数据，采用面向对象图像分析（Object-Based Image Analysis, OBIA）方法（Tang et al., 2022），提取 2010~2020 年世界自然与文化遗产地土地覆盖的变化信息；构建“与人类活动相关的土地覆盖变化面积占保护范围面积的百分比”评估指标，定量刻画遗产保护状态的变化；揭示了世界文化遗产地土地覆盖正负向变化趋势与社会经济发展水平的内在关联；为世界遗产保护与可持续发展评估提供科学数据和技术手段。

**全球世界自然遗产地边界区域人类活动相关土地覆盖变化百分比普遍小于 5%，需重点关注边界区域人工设施等扰动。**选取全球 173 项世界自然遗产地和混合遗产地遗产区边界两侧 2 km 为监测区域，分析发现 2010~2020 年 90% 的遗产地及其边界区域与人类活动相关的土地覆盖变化小于 5%。进一步分析变化百分比最大

的 20 项遗产地，发现边界区域人工设施增加明显。

**全球世界文化遗产赋存环境保护总体良好，保护态势与国家社会经济发展水平高度关联。**选取全球 564 项世界文化遗产地作为研究区域，分析发现 2015~2020 年 90% 的遗产地保护范围内（遗产区和缓冲区）土地覆盖变化小于 1%；相较于遗产区，缓冲区土地覆盖变化百分比明显增大（图 5-2）。

通过对 2015~2020 年世界文化遗产地正向（环境整治、博物馆修建）与负向（建设侵占、无序开发）土地覆盖变化的识别与国别尺度统计分析，发现了文化遗产地保护态势与人均国内生产总值（Gross Domestic Product, GDP）的内在关联，欠发达国家或地区文化遗产保护压力尤为突出，揭示社会经济发展对世界文化遗产地可持续发展的促进作用，即随着人均 GDP 增长，世界文化遗产地保护态势呈正向发展。

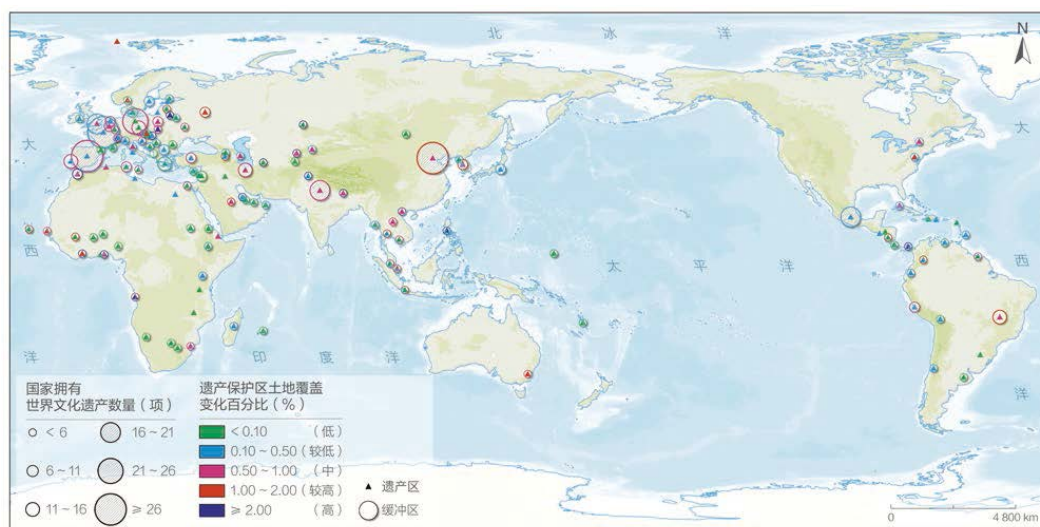


图 5-2. 2015~2020 年世界文化遗产保护范围内（遗产区和缓冲区）土地覆盖变化百分比

## 城市灾害与应对

每十万人因灾害死亡、失踪和直接受灾人数，以及因灾害造成的直接经济损失是 SDG 11.5 的重要指标，也是联合国《2015~2030 年仙台减少灾害风险框架》（简称《仙台框架》）的核心指标。近三十年来，全世界在

减轻灾害损失方面有所进展，但气候变化和快速城市化带来的极端天气气候灾害对全球的灾害应对提出了新的挑战。分析比较《仙台框架》实施前后的监测指标变化对于推动 SDG 相关指标的的实现具有重要参考意义。

## 2000~2021 年全球极端天气气候事件评估

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

本案例通过综合考虑致灾因子强度和灾情的极端性，基于极端天气气候事件的判定标准，对全球灾害事件进行多源数据融合和筛选，分析了 2000~2021 年全球极端天气气候事件的时空分布与变化特点。

**2000~2021 年全球极端天气气候事件以极端洪涝、热带气旋、极端高温以及寒潮和冬季风暴事件为主。**2000~2021 年，极端洪涝、热带气旋、极端高温以及寒潮和冬季风暴事件分别占全球极端天气气候事件总数的 51%、20%、14% 和 9%，是影响全球的主要极端天气气候事件类型（图 5-3）。

《仙台框架》实施后，全球极端天气气候事件年均

**受灾人口和年均死亡人口较实施前大幅减少。**2016 年，《仙台框架》开始实施，全球极端天气气候事件年均受灾人口和年均死亡人口较《仙台框架》实施前（2000~2015 年）分别减少了 42.2% 和 78%，年均每十万人口受灾数和死亡数总体均显著低于《仙台框架》实施前的水平。

**全球极端天气气候事件年均直接经济损失及其 GDP 占比较《仙台框架》实施前显著增加。**2016~2021 年，由于经济暴露量快速增加，全球极端天气气候事件年均直接经济损失是《仙台框架》实施前的 4 倍，年均直接经济损失 GDP 占比是实施前的 2.5 倍，直接经济损失指标增加幅度较大。

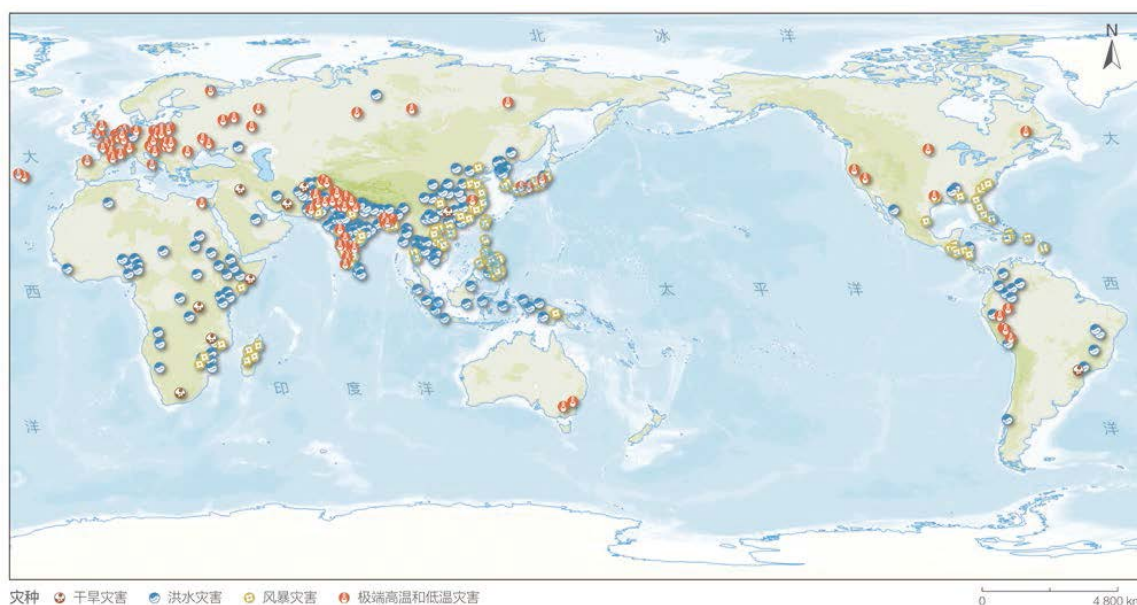


图 5-3. 全球极端天气气候事件分灾种空间分布图（2000~2021 年）



## 2010~2021年中国地市级自然灾害SDG 11.5指标监测

**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

本案例所用数据包括 2010 年以来中国地市级受灾人口、死亡失踪人口、直接经济损失、年末总人口、GDP 年度统计数据，2016~2020 年县域年末总人口、地区生产总值（Gross Regional Product, GRP）和台风灾情数据集。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，进而评估 SDG 11.5 的实现进展。

**2010 年以来中国 SDG 11.5 的两项监测指标均呈现明显下降趋势。**2021 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 2010~2020 年均值分别下降 58.2%、54.7%、50.8%，下降趋势明显。但是，极端灾害事件对局地影响偏重，河南极端暴雨、青海玛多地震等重大灾害事件对当地经济社会发展造成一定影响。

相较于《仙台框架》实施前，2016~2021 年中国年

均每十万人受灾人口、每十万人死亡失踪人口、年均直接经济损失占 GDP 比重均大幅下降。《仙台框架》实施后（2016~2021 年），中国年均每十万人受灾人口、年均每十万人死亡失踪人口、年均直接经济损失占 GDP 比重较实施前（2010~2015 年）水平分别下降 57.7%、64.8%、48.3%，降幅显著。中国为《仙台框架》目标实现作出了积极贡献。

**台风灾害对沿海城镇化地区影响总体呈减轻趋势。**2016 年以来，中国综合防灾减灾和城市抵御自然灾害能力建设持续发挥成效，台风灾害对东南沿海地区的相对影响总体呈减轻趋势，但华东、华南沿海城镇化程度较高的区域，人口和经济密度高，台风灾害影响的集聚效应明显，应持续加强应对极端台风事件的风险管理能力（图 5-4）。

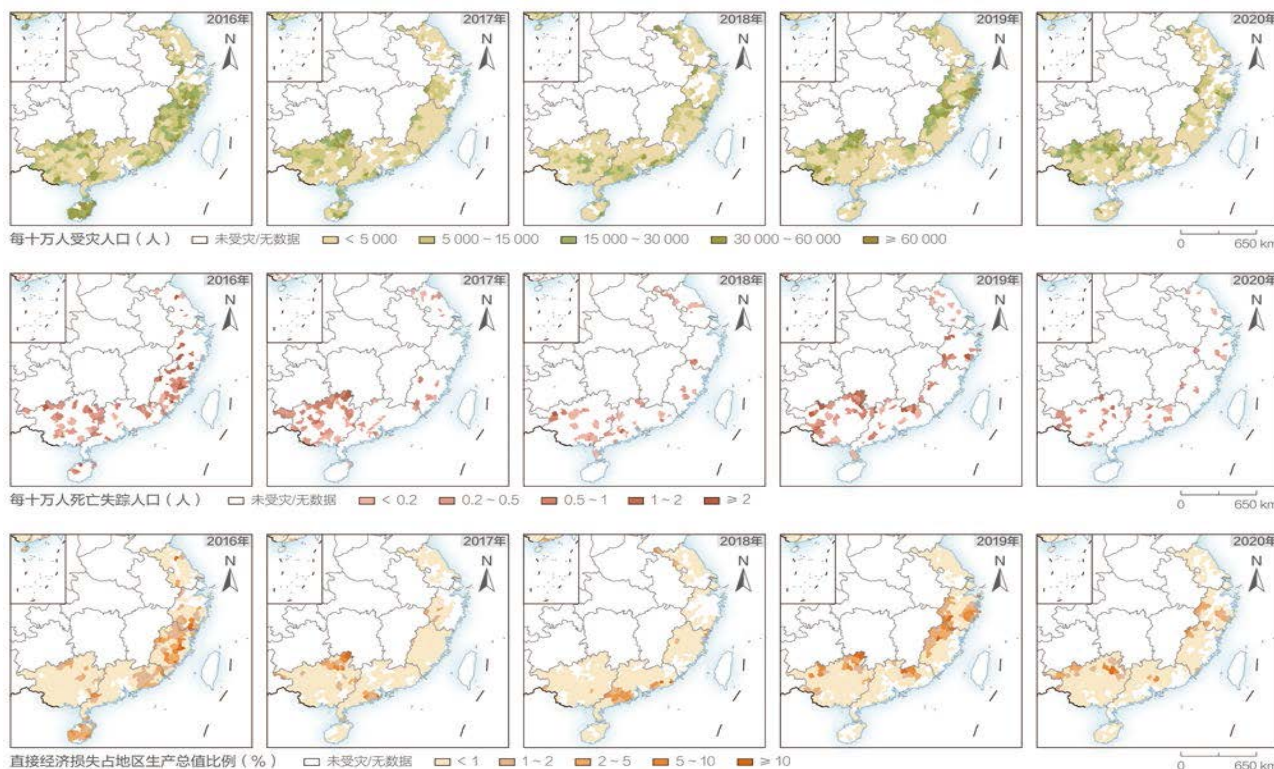


图 5-4. 2016~2020 年中国东南沿海台风灾害县域 SDG 11.5 监测指标总体变化趋势图

## 城市绿色空间

城市绿色空间是城市生态系统的重要组成部分，也是 SDG 11.7 中的重要指标。本研究从全球视角，开展主要城市的绿度变化和受益人口评估，在全球城市化进程

不均衡的背景下，突出中国城市生态文明建设的成就，并为全球城市可持续发展监测提供低成本解决方案。

## 全球大城市绿度变化与受益人口

**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**

本案例对 2001~2021 年全球城市化进程中城市环境变化的不均衡性进行梳理，评估城市变绿的直接受益人口，为全球城市可持续发展监测提供低成本解决方案，为中国城市生态文明建设提供数据支撑。

使用美国 Terra/Aqua 卫星中分辨率成像光谱仪（Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS）2020 年土地利用变化数据，在全球范围内共筛选出了 1 783 个城市或城市群（统称为“城市”）。使用 2001~2021 年 MOD13Q1 增强型植被指数（Enhanced Vegetation Index, EVI）数据，计算了城市像素的年最大绿度的变化趋势和显著性水平（Sun *et al.*, 2020），分析了每个城市显著变绿的城区面积占比。将显著变绿区域与人口数据（WorldPop、LandScan、GPW V4）进行叠加分析，估算了城市显著变绿的直接受益人口（Giles-Corti *et al.*, 2016）。

**中国城市显著变绿的面积全球最多。**2001~2021 年全球 1 783 个城市的显著变绿比率与直接受益人口空间分布如图 5-5 所示。在全球范围内，城市显著变绿比率较高的城市（图中蓝、绿点）主要分布在东亚、欧洲和北美洲的美国东部地区，零星地分布在非洲、大洋洲和南美洲。在 1 783 个城市中，316 个中国城市的建成区面

积只占全球城市建成区面积的 19%，却贡献了全球 28% 的显著变绿的城区面积。

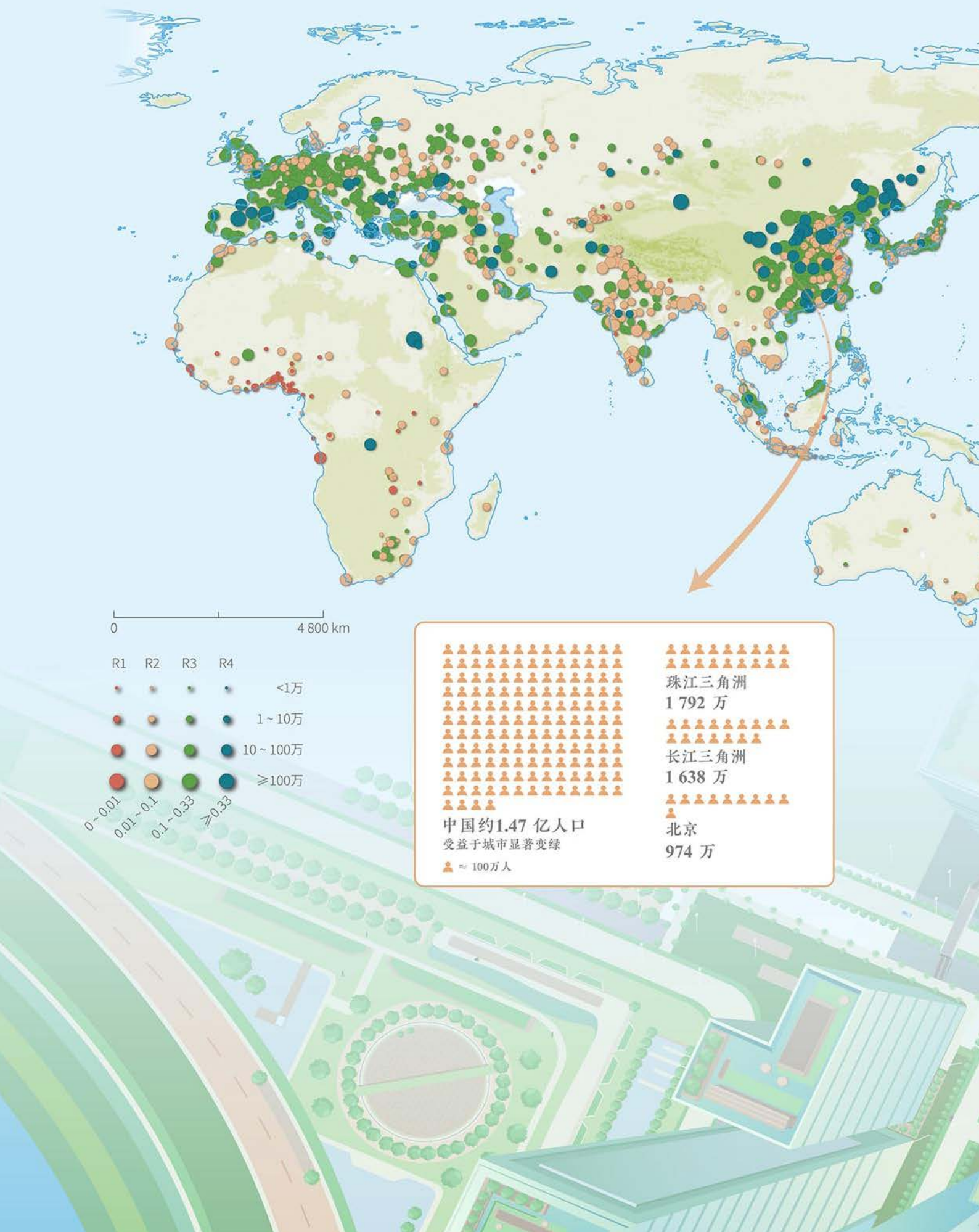
**中国因城市显著变绿的受益人口占全球近一半。**全球范围内，因城市显著变绿的直接受益人口共约 3.1 亿。各大洲的受益人口占比分别为：亚洲（71%）、欧洲（12%）、北美洲（8%）、南美洲（6%）、非洲（3%）、大洋洲（0.4%）（图 5-6a）。其中，中国约 1.47 亿人口受益于城市显著变绿，约占全球受益人口的 47%。其中，珠江三角洲（1 792 万）、长江三角洲（1 638 万）和北京（974 万）成为全球因城市显著变绿而受益人口最多的城市。

**城市生态环境改善与收入水平关系密切，中高收入国家改善最为显著。**根据世界银行划分的收入水平，按城市显著变绿比率的平均值从高到低排序，分别是中高收入水平国家（15.45%）、高收入水平国家（14.00%）、低收入水平国家（11.78%）和中低收入水平国家（9.79%）（图 5-6b，柱状图）。以 2019~2021 年的平均最大绿度表征当前城市的环境状态（图 5-6b，折线图），发现高收入水平国家城市的平均最大绿度最高（0.40）；与此相对，中高、中低和低收入国家城市的平均最大绿度分别为 0.35、0.35 和 0.30，城市环境仍有很大的提升空间。

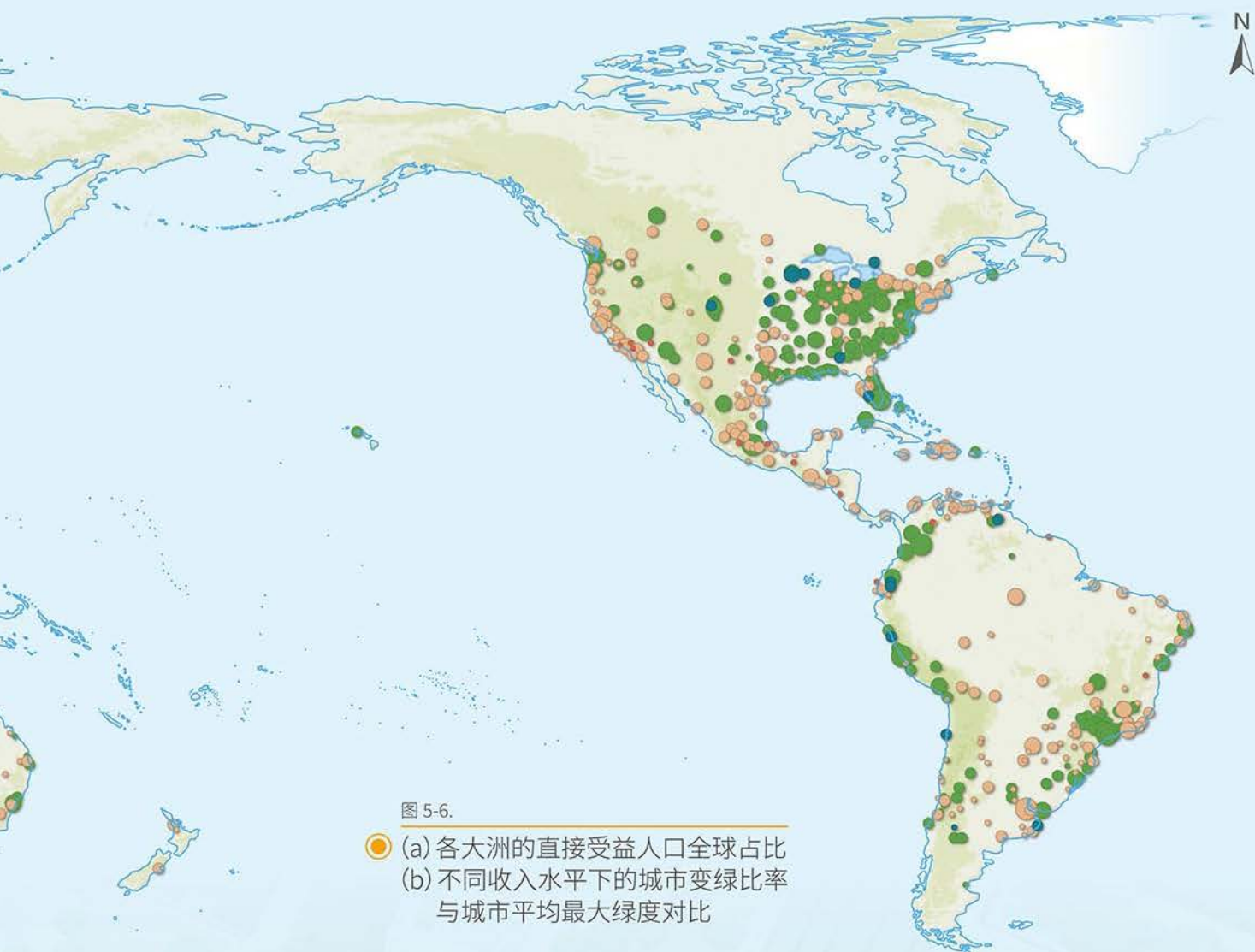


图 5-5.

● 全球城市显著变绿比率与直接受益人口空间分布









## 社区尺度SDG 11指标综合监测

城市可持续发展是影响全球可持续发展目标实现的重中之重，城市可持续性评价是度量城市可持续发展水平的标尺，是实现城市可持续发展的基础。现有的 SDG 11 目标监测评估方法关注城市尺度，但忽略了城市内部的异质性，不利于开展精细化评价和形成因地制宜决策。

因此，我们探索社区尺度 SDG 11 指标精细化监测与综合评估，为中国典型城市提供全覆盖、多指标、细粒度的社区可持续发展指标体系数据产品，服务科学化、精细化城市规划与社区治理。

## 中国主要城市的社区可持续发展指标精细化监测

**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

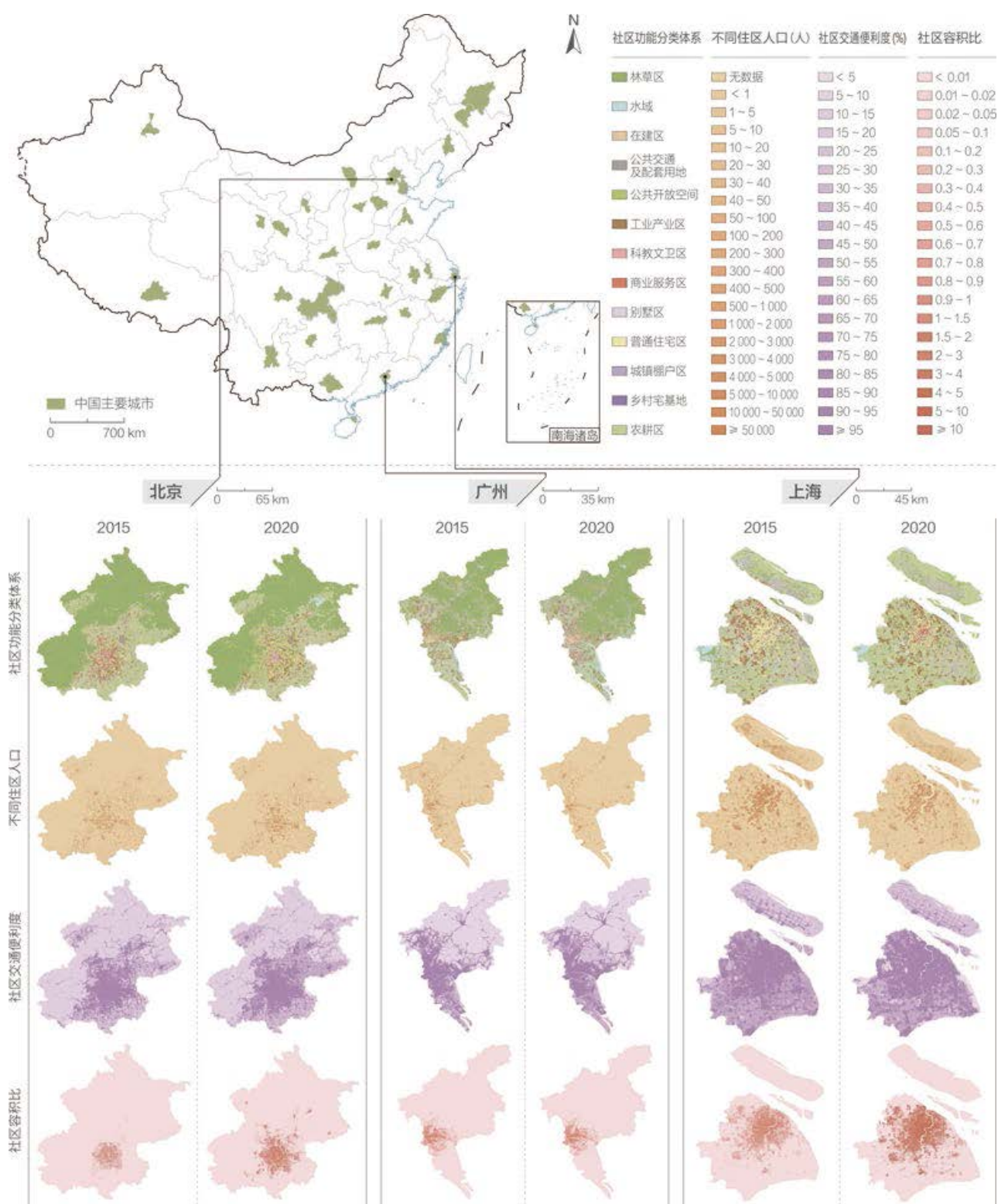
本案例以城市内部的社区功能空间为基本单元，建立社区尺度 SDG 11 指标监测体系。具体来说，即通过耦合社区景观和全球城市边界（Global Urban Boundaries, GUB）数据，优化提取具有相似物理结构和社会经济服务的社区单元，并精细识别其功能类型，研制社区功能分类数据产品。在每一社区单元内部，基于多源数据提取多类城市要素及其空间分布，定义三类社区可持续发展指标体系和计算方法。（1）不同住区人口指标：耦合社区功能分类数据和 WorldPop 人口数据，提取不同住区人口占比，结合《中国城市建设统计年鉴》中城区人口数据计算不同住区的常住人口，并重点关注棚户区常住人口（本案例中棚户区是指城市规划区范围内，建筑高度较低、建筑密度较大、斜路或断头路较多、使用年限久、配套设施不健全的连续区域）；（2）社区交通便利度指标：基于交通兴趣点数据，构建短途通勤站点（公交站、地铁站、停车场）的 500 m 缓冲区和长途旅行站点（飞机场、火车站）的 1 000 m 缓冲区，形成交通便利服务区域，进而与社区功能分类数据叠加，计算每个社区的交通便利度；（3）社区容积比指标：耦合社区功能分类数据和建筑物数据，依据社区内建筑底面积 × 层数 / 社区面积计算社区容积比。本案例为中国 31 个主要城市（省会直辖市）提供全覆盖（1 341 万个社区、51 万 km<sup>2</sup>）、多指

标（3 类 SDG 11 指标）、多时期（2015~2020 年）、细粒度（2 m 分辨率、13 类社区）的社区可持续指标数据产品（图 5-7），服务因地制宜的社区规划与治理。研究发现：

**2015~2020 年中国主要城市的棚户区常住人口显著减少。**针对 SDG 11.1 所关注的棚户区，2015~2020 年中国主要城市原有棚户区的常住人口由 2 202.5 万人减少至 1 524.2 万人，减少 678.3 万人，下降 30.8%，体现中国主要城市的棚户区改造成效非常显著、人居环境改善。

**2015~2020 年中国主要城市的社区交通便利度及惠及人口提升。**期间中国主要城市中几乎所有社区的交通便利度都有上升（除水域外），各类社区的交通便利度平均提升 2.9%，其中在建区和开放公共空间的交通便利度提升最为明显，达 20% 以上。面向 SDG 11.2，中国主要城市的社区交通便利惠及人口增加 0.19 亿人。

**2015~2020 年中国主要城市的土地利用率提高。**社区容积比综合表征社区内建筑物的密度与高度，精细化、全面化反映社区尺度土地使用情况。针对 SDG 11.3，发现 2015~2020 年中国主要城市的社区容积比平均提升 8%，表明在社区尺度上中国主要城市的土地利用率显著提升。



↑ 图 5-7. 2015~2020 年中国主要城市的社区功能分类与可持续指标计算结果





## 建议与展望

本章从全球和中国尺度分析了城镇化进程监测与评估、世界遗产保护、城市灾害与应对和城市绿色空间四个主题的进展情况，并在中国典型城市社区尺度开展了棚户区、社区交通便利度、社区容积比三个指标的动态监测与分析。

基于本章研究，我们建议：

（1）针对 SDG 11.3.1 城市土地利用效率指标，研究发现 2000~2020 年全球城镇化协调发展总体向好。建议合理规划城市土地扩张，优化土地资源配置，避免低水平扩张以及低效利用。

（2）针对 SDG 11.4.1 世界遗产保护指标，研究发现土地覆盖变化对文化遗产保护的正 / 负向作用趋势与人均 GDP 高度相关。建议按照《世界遗产公约》和《实施〈世界遗产公约〉操作指南》加强世界遗产 SDG 指标的监测与评估，重点关注并妥善解决全球中等收入国家与地区在世界遗产保护与社区发展之间的矛盾与冲突。

（3）针对 SDG 11.5.1、SDG 11.5.2 城市灾害指标，研究发现《仙台框架》的实施在全球和中国均取得一定成效，但全球共同应对极端灾害的必要性和紧迫性依旧存在，需要持续将减轻灾害风险作为城市、社区发展，以及经济、社会和环境政策的核心考量。

（4）针对 SDG 11.7.1 城市开放公共空间指标，研究发现中国以全球 19% 的城市建成区面积贡献了全球 28% 的城市显著变绿区域，并且中国的城市增绿受益人口约占全球受益总人口的 47%。建议在快速的城市化进程中，尤其对发展中国家应加强城市规划，增加绿色基础设施投入。

（5）针对社区尺度 SDG 11 指标综合监测，研究发现中国 SDG 11.1、SDG 11.2、SDG 11.3 实现情况在社区尺度上总体向好，但不同社区的 SDG 11 评价指标存在差异，建议关注并完善社区尺度 SDG 11 监测与评估，加强不同社区之间均衡可持续发展。尤其是 SDG 11.1，研究发现中国棚户区改造成效显著，主要城市的棚户区面积减小、棚户区人口占比持续降低；但因城市建成区面积扩大，2020 年中国主要城市的棚户区人口仍占城市常住人口的 5.2%，因此还需坚持棚户区改造政策，持续改善城市人居环境。

未来，需要了解可持续城市化的变革过程，将持续探索以地球大数据为代表的数字技术在可持续城市和社区监测与评估方面的能力，从而为 SDG 11 目标实现在填补数据空缺、扩展指标体系、支撑政府决策等方面提供实施路径和科学依据。









SDG13





## SDG 13 气候行动

|            |    |
|------------|----|
| 背景介绍.....  | 71 |
| 主要贡献.....  | 72 |
| 主题研究.....  | 73 |
| 建议与展望..... | 83 |



## 成果亮点

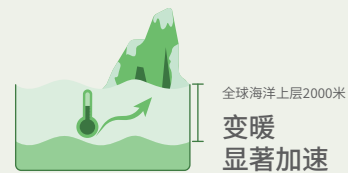
### 灾害监测与减灾行动

气候相关灾害极端性增强，中国减灾政策逐步完善。2011~2020 年，全球受热浪影响范围增加约 5%；2021 年中国涝渍害影响面积约为往年同期 2.6 倍，通过科学田间管理等措施有效弥补了作物产量损失；中国已经依据《仙台框架》建立了完整的国家减灾体系，通过和执行地方减轻灾害风险体系的省级政府比例达到 100%。



### 气候变化长期预警

全球海洋物理环境变化加剧。全球海洋上层 2 000 m 变暖速率显著加速，海洋盐度“咸变咸，淡变淡”的变化趋势明显，对海洋生态环境和可持续发展造成长期威胁。



### 全球陆 / 洋碳汇估算

全球陆地、大洋生态系统碳汇能力增强。近 20 年，全球陆地净生态系统生产力呈显著增加趋势；全球大洋碳汇强度受厄尔尼诺-拉尼娜影响波动较大，但 2008 年以来大洋碳汇呈不断加强趋势。



### 气候变化教育

中国应对气候变化的教育政策体系相对完善，师生均对气候变化议题高度认同并在生活中自觉实践，教学设计与实践活动仍有待加强。





## 背景介绍

气候变化正引发全球陆地、海洋和大气难以预知的反应，对可持续发展和生态环境具有持久、深远的影响（WMO, 2022）。依据国际灾害统计数据库 EM-DAT 发布的数据，过去 20 年，全球极端天气导致的灾害数量和经济损失显著增加。减缓气候变化需要各个国家采取最紧迫的行动，减少温室气体排放，并通过森林保护、土壤管理、碳捕获等增加碳汇（IPCC, 2022）。

为应对气候变化对人类可持续发展的威胁，SDG 13 设立为“采取紧急行动应对气候变化及其影响”（以下简称“气候行动”），并将增强抵御自然灾害的能力、减少温室气体排放应对气候变化、增加气候变化的教育和预警等作为具体目标。中国积极响应气候行动，实施“双碳”和防灾减灾战略。2022 年中国发布的《国家适应气

候变化战略 2035》提出，通过提升气候变化监测、预警和应对能力，在 2035 年基本建成气候适应型社会。

目前气候行动在所有 17 个可持续发展目标中，数据缺乏最为严重（UN, 2021）。为此，本章通过地球大数据方法体系，重点针对灾害监测与减灾行动、气候变化预警、全球陆/洋碳汇估算、气候变化教育四个主题研制气候行动进展监测数据产品，并开展时空分析，为应对气候变化提供决策支持。

相比以往三年的报告，今年的报告进一步拓展了大数据的广度、空间尺度和指标内涵，评估了 SDG 13 中国四个指标进展，研制了全球尺度灾害、碳汇数据产品，以期应对和适应气候变化做出更多贡献。





主要贡献

本章通过七个案例，在中国和全球尺度评估了 SDG 13.1、SDG 13.2、SDG 13.3 三个具体目标进展情况，主要贡献如下（表 6-1）。

| 表 6-1 案例名称及其主要贡献 |          |                               |                                                                                                              |
|------------------|----------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 主 题              | 对应具体目标   | 案 例                           | 贡 献                                                                                                          |
| 灾害监测与减灾行动        | SDG 13.1 | 中国涝渍害时空分布及其对农作物的影响            | 数据产品：2016~2021 年融合中国 2075 个土壤水分自动站观测数据和被动微波遥感的土壤水分日产品<br>决策支持：2021 年中国涝渍害农田受灾面积约为往年的 2.6 倍，通过精细田间管理可有效弥补产量损失 |
|                  |          | 全球热浪变化及其影响分析                  | 方法模型：以相对与绝对阈值结合方法判断高温热浪强度和频率及其影响人口数量                                                                         |
|                  |          | 气候行动目标下中国防灾减灾政策计量评价           | 数据产品：中国防灾减灾政策数据集<br>决策支持：中国已围绕《2015~2030 年仙台减少灾害风险框架》构建了较为完整的减灾体系                                            |
| 气候变化长期预警         |          | 全球增暖下的海洋物理环境变化                | 数据产品：1955~2021 年全球海洋热含量、盐度、层结格点数据集<br>决策支持：全球变暖导致的海洋物理环境变化严重威胁海洋生态系统及其可持续发展                                  |
| 全球陆 / 洋碳汇估算      | SDG 13.2 | 近 30 年来全球大洋碳收支变化趋势            | 数据产品：1992~2020 年全球大洋表层海水 $p\text{CO}_2$ 数据集<br>方法模型：全球大洋吸收大气 $\text{CO}_2$ 通量的估算方法                           |
|                  |          | 2000~2020 年全球陆地净生态系统生产力时空变化分析 | 数据产品：2000~2020 年全球陆地净生态系统生产力产品                                                                               |
| 气候变化教育           | SDG 13.3 | 中国气候变化教育传播现状调查                | 决策支持：中学师生对气候行动的了解还需要进一步提升                                                                                    |



## 灾害监测与减灾行动

气候变化导致洪涝、高温热浪等自然灾害强度和频率大幅增强。涝渍害是涝害和渍害的统称，因大量降雨后未能及时排水而出现积水（涝害），或土壤水分长期处于过湿或过饱和状态（渍害），造成作物生长不良、严重减产的农业气象灾害；高温热浪是一种远超出当期气候态的持续性高温导致的极端天气气候事件。本主题

融合卫星遥感和地面站点数据，评估近年来中国涝渍害、全球热浪带来的影响，分析其对人类生活造成的风险。

中国致力于全面提升全社会抵御自然灾害的综合防范能力。把握中国防灾减灾政策特征，及时评价与监测中国建立防灾减灾体系进展，对国家防灾减灾救灾能力建设具有重要意义。

## 中国涝渍害时空分布及其对农作物的影响

**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**

本案例融合了中国 2 075 个土壤水分自动站点的观测数据和土壤湿度主被动（Soil Moisture Active and Passive, SMAP）卫星 L3 级 9 km 土壤水分日产品，得到 2016~2021 年中国的高精度表层土壤（0~10 cm）体积含水量逐日数据集，精度为 79%。利用田间持水量数据（Wu et al., 2021）计算土壤表层相对含水量，以连续 10 天土壤相对含水量大于等于 90% 为标准，叠加耕地分布数据得到涝渍害的影响区（不含水稻种植区）。依据土壤含水量数据，重点分析了涝渍害最为严重的 2021 年耕地受影响情况。

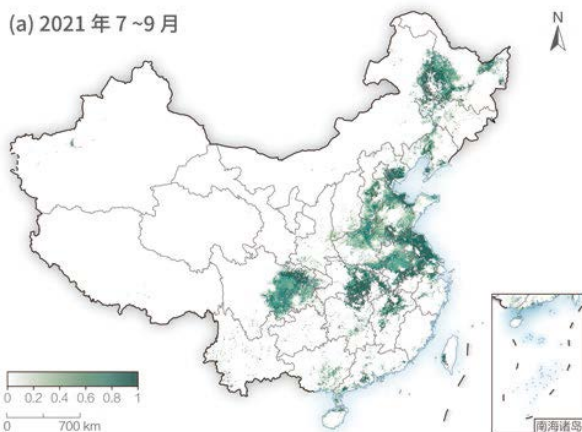
2021 年 7~9 月中国耕地涝渍害面积约为 2016~2020 年同期平均水平的 2.6 倍。2021 年 7~9 月中国耕地发生涝渍害的区域面积占到耕地总面积的 90% 左右，耕地涝

渍害面积明显高于其他年份，约为 2016~2020 年平均水平的 2.6 倍。我国东北及华北地区涝渍害较为严重（图 6-1a），对夏玉米等作物的生长产生不良影响。

2021 年 10~12 月中国耕地涝渍害面积大于往年同期，并影响小麦播种。2021 年 10~12 月河北、河南、山东、安徽耕地发生涝渍灾害的面积较 2016~2020 年明显增加，2021 年 10~12 月耕地涝渍害总面积约占耕地总面积的 66.7%（图 6-1b）。10~12 月是冬小麦播种和出苗的时期，涝渍害会导致土壤处于淹水状态而无法播种。

为减轻涝渍害影响，2022 年春季华北各省深入开展“科技壮苗”等行动，深入田间管理，有效提高了小麦单产，最终华北夏粮生产未受影响。

(a) 2021 年 7~9 月



(b) 2021 年 10~12 月

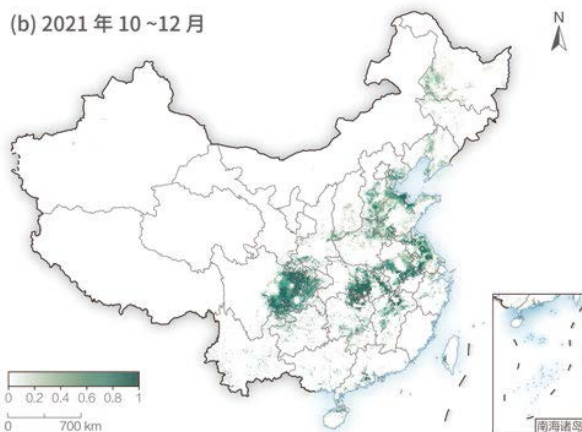


图 6-1. 2021 年 7~9 月和 10~12 月耕地涝渍害天数占研究期总天数比值分布图



## 全球热浪变化及其影响分析

**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**

本案例使用卫星数据与气象台站数据，综合绝对与相对阈值方法对全球高温热浪事件开展空间统计，监测近 10 年的全球高温热浪影响程度和范围，进而评估全球人口遭受热浪影响的人数（SDG 13.1.1）空间分布信息。采用高温日连续超过 3 天以上为 1 次热浪事件的判别标准，根据统计区间年度热浪次数超过 10 次、15 次和 20 次分别定义热浪危害程度为一般、较强和超强。

2011~2020 年，全球受 30 天高温热浪影响的陆地面积增加约 5%，且 2019 年达到了峰值。利用全球卫星和台站观测数据分析了 2011~2020 年全球热浪空间分布格局，结果显示 10 年间全球热浪影响范围总体呈扩大趋势，其中 2011 年 25.5% 的陆地区域暴露在 30 天热浪影响下，2020 年该比例上升到了 29.7%，2019 年达到峰值 31%，

为 10 年中影响范围最大的年份。全球热浪频发地区主要位于大洋洲、亚洲西南部，以及非洲南部和北部等，其中北纬 20° 是北半球热浪发生频次最高区域，而南纬 18° 和 23° 附近为南半球热浪频繁发生区域。

2011~2020 年，全球每 10 万人中直接受一般危害程度热浪影响约 6 300 人，受较强危害程度热浪影响约 1 200 人。全球 33% 陆地区域的热浪灾害发生频率在增加，以大洋洲和非洲南部增加最为明显（图 6-2）。空间统计表明，2011~2020 年全球平均每年 4.7 亿人受一般危害程度热浪影响，受较强危害程度热浪影响的人口近 9 000 万人，而受超强危害程度热浪影响达 170 万人，即每 10 万人中直接受一般危害程度热浪影响的达 6 300 人。

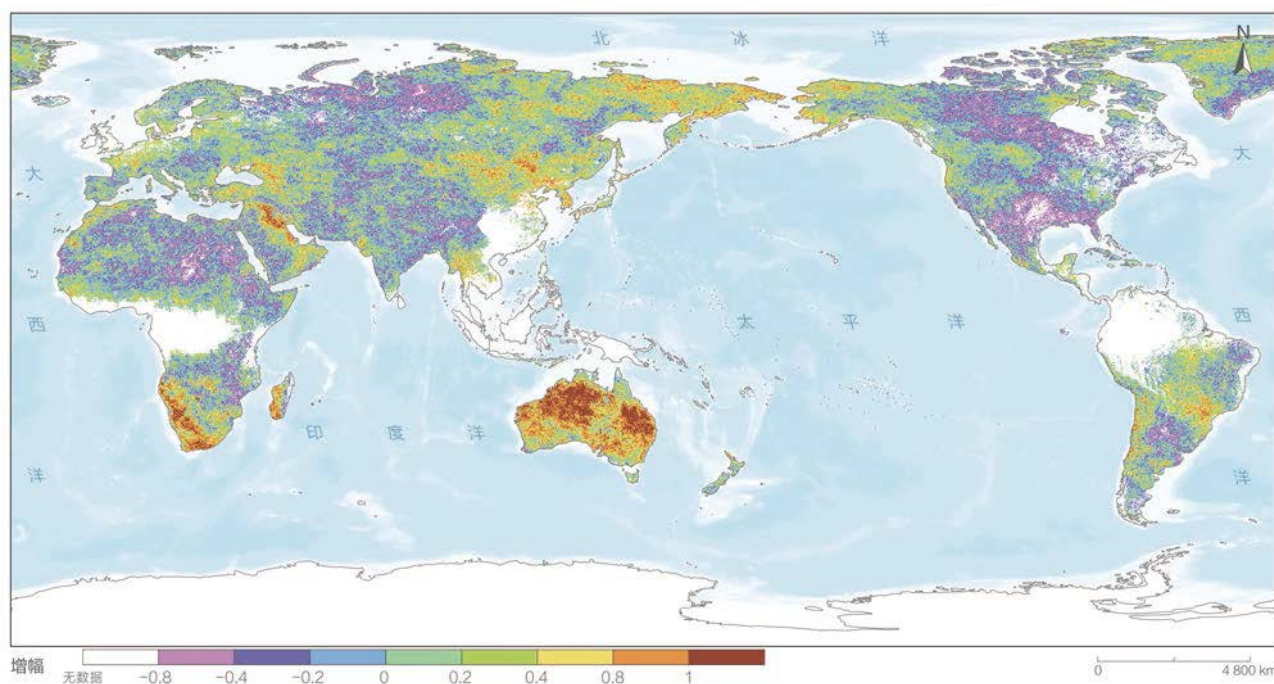


图 6-2. 2011~2020 年全球热浪发生频率的变化趋势

## 气候行动目标下中国防灾减灾政策计量评价

**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**

通过建立 2010~2022 年中国国家级和省级的防灾减灾政策数据集，结合《仙台框架》的四个优先行动领域，统计分析防灾减灾政策的特征变化规律，进而评估中国国家减灾战略（SDG 13.1.2）和地方减灾战略（SDG 13.1.3）指标的实施进展。

**中国在《仙台框架》后积极执行减轻灾害风险战略。** 2010~2022 年，中国颁布国家级防灾减灾政策 185 篇，省级政策 909 篇。中国积极响应《仙台框架》，在 2016 年颁布国家级战略规划类政策数量最多。截至目前，中国 31 个省份和新疆生产建设兵团（港澳台数据未统计）颁布了战略规划类政策，依照国家减轻灾害风险战略通过和执行地方减轻灾害风险战略的省级政府比例达到 100%。

相较于 2010~2015 年，2016~2020 年综合灾害政策

数量增加明显，面向的灾害种类更加全面。

**中国依据《仙台框架》构建了较为完整的减灾体系。**

2010~2022 年，国家级和省级防灾减灾政策措施分布基本一致，覆盖《仙台框架》的四个优先领域，以增强风险意识和加强备灾能力为主，对应《仙台框架》“理解灾害风险”和“加强备灾以作出有效响应，并在复原、恢复和重建中让灾区‘重建得更好’”等优先领域。

相较于 2011~2015 年，2016~2020 年国家积极推动《仙台框架》实施落实，尤其注重加强灾害风险治理与加强备灾能力，制定了一系列政策措施，如提高风险管理能力、加强预警平台建设，显示出中国防灾减灾战略从注重灾后救助向注重灾前预防转变、从应对单一灾种向综合减灾转变、从减少灾害损失向减轻灾害风险转变（图 6-3）。

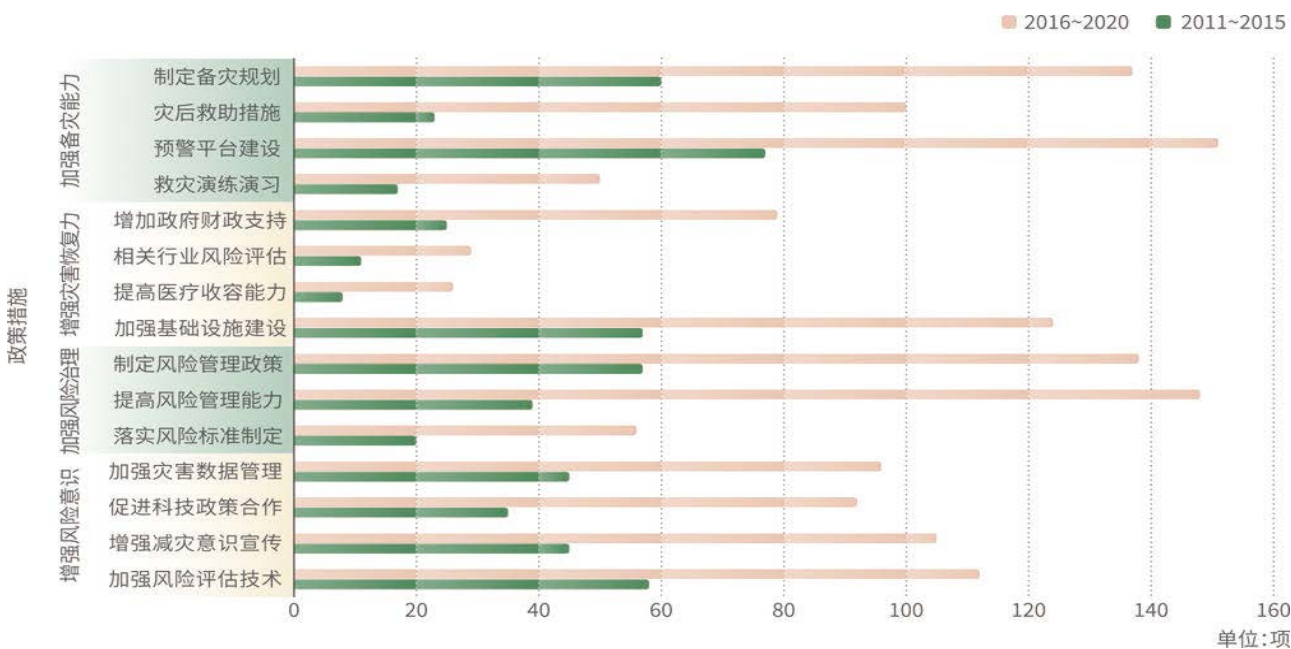


图 6-3. 2011~2015 年、2016~2020 年中国防灾减灾政策措施对比



## 气候变化长期预警

海洋变暖导致台风、飓风等极端气候事件增加，也是全球海平面上升的一个重要原因。随着海洋变暖和层结加剧，海洋碳吸收效率下降，导致更多的  $\text{CO}_2$  留在大气中，加剧全球变暖。同时，更强的海洋层结会抑制海

洋垂向溶解氧输送，导致海洋内部的氧含量进一步减少，威胁海洋生物的生存，对海岛国家、沿海国家可持续发展构成威胁。

## 全球增暖下的海洋物理环境变化

**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**

基于全球海洋温度、盐度现场观测数据集，进行数据质量控制，构建温度、盐度格点分析数据，进而计算热含量、盐度差指数、层结（Cheng et al., 2022）。利用基于动态样本的集合最优插值方法，将数据插值为  $1^\circ \times 1^\circ$  水平分辨率的格点化数据集，对海洋参数的时空变率有较高的重构精度（Cheng et al., 2017）。综合海表卫星遥感观测（海表高度、温度和风场）与 Argo 浮标观测资料，利用卷积长短期记忆神经网络重建了一套全新的长时序全球海洋次表层遥感数据集（Su et al., 2021; 2022）。基于以上数据集，开展气候变化对海洋物理环境的影响分析。

**全球海洋上层 2 000 m 变暖显著加速，海洋盐度“咸变咸、淡变淡”的变化趋势明显，海洋垂向层化显著增强。**1955~2021 年全球上层 2 000 m 海洋热含量（Ocean Heat Content, OHC）呈显著增加趋势（图 6-4），增加速率为  $5.7 \times 10^{22} \text{ J/10a}$ 。1991~2021 年，全球海洋热含量增加速率为  $9.5 \times 10^{22} \text{ J/10a}$ ，是 1955~1990 年增暖速率的 4 倍。

1955~2021 年，全球上层 2 000 m 海洋的高 - 低盐度差异增大 1.6%，显示海洋盐度“咸变咸、淡变淡”的变化趋势（图 6-4）。

1955~2021 年，全球海洋上层 2 000 m 的层结加强了 5.3%（图 6-4）。层结增加主要是由于上层海洋的增暖速度要比深层海水更快，盐度的变化也有一定贡献（Li et al., 2020）。

**全球增暖下各大洋盆都显著升温暖化，中深海增暖信号在增强，越来越多的热量被中深海吸收和存储。**1993~2020 年全球海洋上层 2 000 m 温度的空间变化趋势（图 6-5）与垂向演变特征表明，近 30 年全球增暖下各

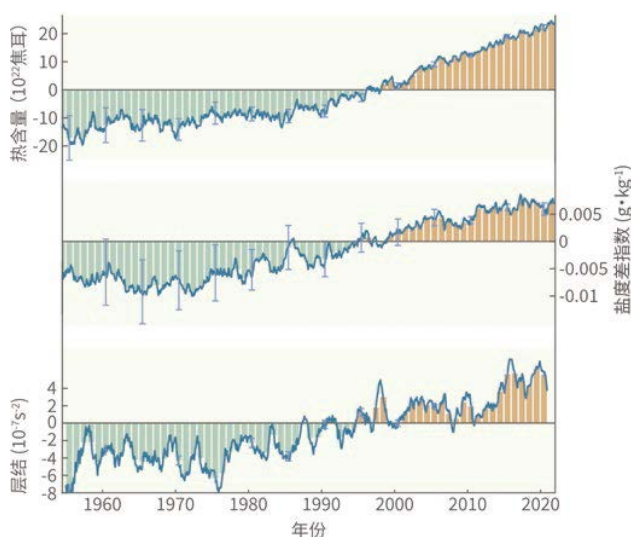


图 6-4. 1955~2021 年全球海洋上层 2 000 m 热含量、盐度差指数、层结变化

大洋盆都显著升温暖化，且全球海洋暖化存在一定的空间异质性。海洋增暖信号呈现显著的从上层向中深层延伸的垂向演变特征，说明全球增暖下越来越多的热量被中深海吸收和存储，中深海在调节地球系统能量平衡上发挥越来越重要的作用。

**全球增暖导致的海洋物理环境变化将长期威胁海洋生态系统及其可持续发展。**全球气候变化影响下海洋物理环境正在发生系统性的变化。需要重视的是，海洋对大气温室气体增加的响应较为缓慢和滞后，过去的碳排放导致的海洋变暖、层结增加等影响将持续至少数百年之久（Abraham et al., 2022），这凸显了海洋在实现 SDG 目标和应对气候变化过程中的重要作用。

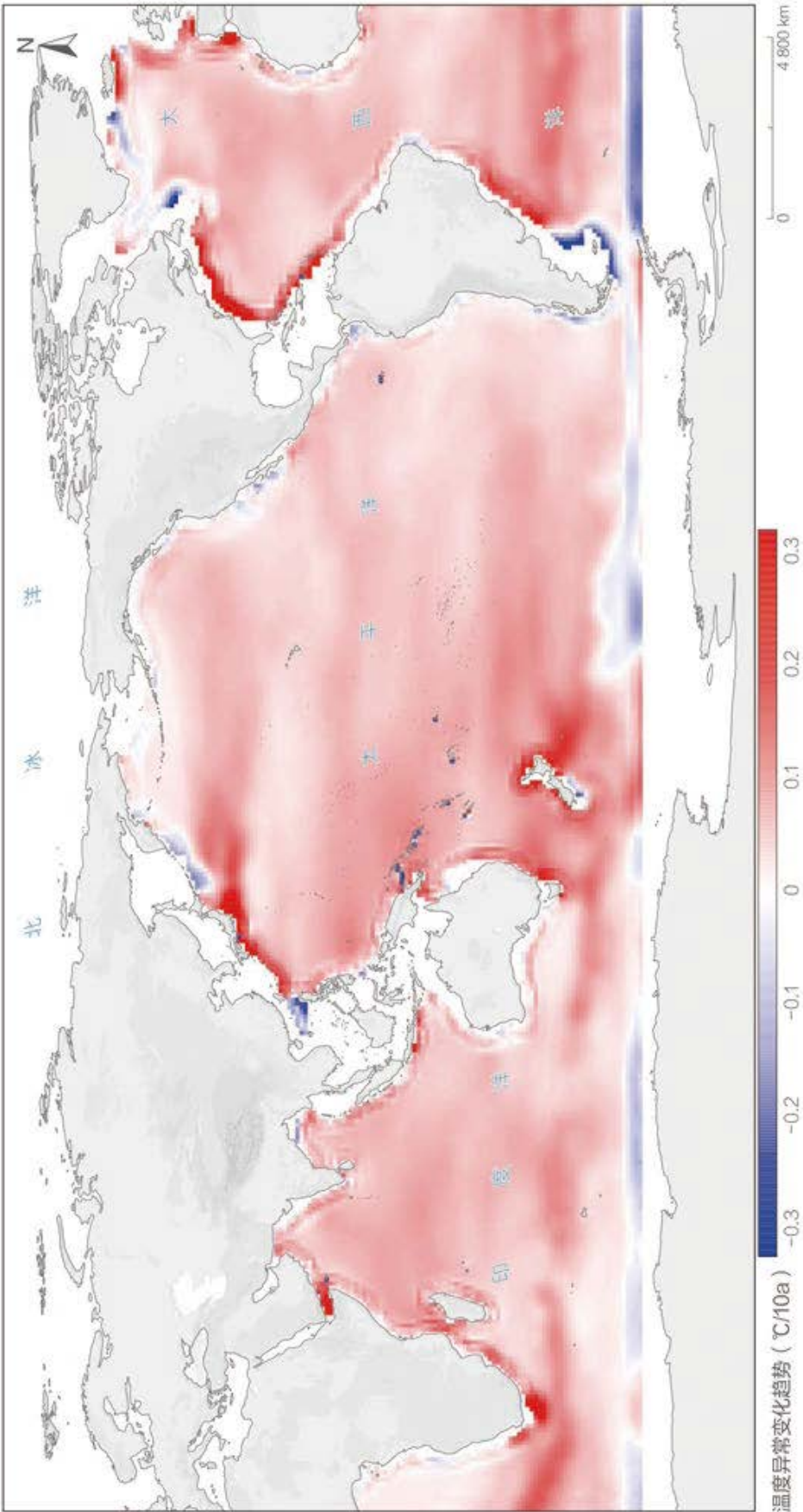


图 6-5. 1993~2020 年全球海洋上层 2 000 m 温度异常变化趋势（基准：1993~2012）



## 全球陆/洋碳汇估算

随着全球平均气温和温室气体浓度的上升，陆地和海洋生态系统对全球碳中和能发挥什么作用值得关注。陆地净生态系统生产力（Net Ecosystem Productivity, NEP）和表层海水二氧化碳分压（partial Pressure of Carbon Dioxide,  $p\text{CO}_2$ ）分别是定量估算陆地和海洋生态

系统碳汇强度的重要参数，但目前对二者的研究还存在很大的不确定性。本主题充分利用地球大数据技术，开展全球陆/洋生态系统碳汇方面的研究，并对这些碳收支关键参数的时空变化趋势和驱动机制进行定量分析，为应对气候变化提供方法和数据支持。

## 近30年来全球大洋碳收支变化趋势

**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**

综合运用自组织映射神经网络和逐步前反馈神经网络算法构建一种重建表层海水  $p\text{CO}_2$  格点数据的机器学习算法，并据此重构 1992~2020 年全球大洋  $1^\circ \times 1^\circ$  月平均表层海水  $p\text{CO}_2$  格点数据（Zhong et al., 2022），进而估算全球大洋碳通量，分析近 30 年来全球大洋碳收支变化趋势。

表层海水  $\text{CO}_2$  分压与大气  $\text{CO}_2$  浓度的升高并不完全同步。1992~2020 年全球大洋表层海水  $p\text{CO}_2$  的变化（图 6-6）显示，表层海水  $p\text{CO}_2$  随大气  $\text{CO}_2$  浓度的升高而升高，但二者升高的幅度并不一致。2000 年以后，表层海水  $p\text{CO}_2$  增速明显低于大气，导致海-气间的  $p\text{CO}_2$  差越来越大。在不同海域表层海水的  $p\text{CO}_2$  和增速明显不同。印度洋的表层海水  $p\text{CO}_2$  最高，北冰洋的最低；北冰洋  $p\text{CO}_2$  的增速最慢，南大洋  $p\text{CO}_2$  的增速最快。正是表层海水  $p\text{CO}_2$  的高低和增速的差异，导致了全球大洋不同海域碳汇能力的差异。

大洋碳汇强度受厄尔尼诺-拉尼娜影响发生较大的波动，2008 年以来持续增强。1992~2020 年全球大洋年平均碳汇强度为 1.61 Pg C/a。主要的碳汇区域集中在温带海域和北大西洋近极地海域，赤道太平洋是最主要的碳源区域（图 6-7）。

近 30 年来，虽然全球大洋整体上表现为大气  $\text{CO}_2$

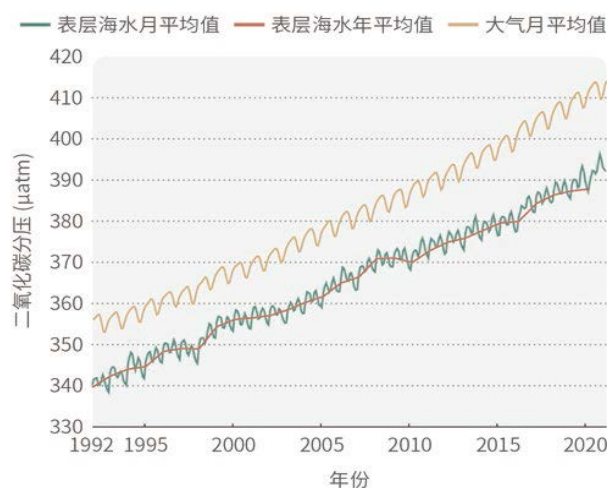


图 6-6. 近 30 年来大洋表层海水  $p\text{CO}_2$  的变化趋势

的汇，但其强度并未随大气  $\text{CO}_2$  浓度的升高而持续增强，而是发生较大的波动。主导全球大洋碳汇波动的最主要区域是太平洋，其次是南大洋。其波动主要受厄尔尼诺-拉尼娜事件对赤道太平洋区域碳源的影响，赤道东太平洋上升流增强，深层高浓度的溶解无机碳被输送到表层，导致该区域碳源增强，进而导致整个大洋的碳汇减弱。在 2008 年后，持续增强的印度洋、大西洋和南大洋碳汇主导着全球大洋碳汇持续增强。从 2008 年到 2020 年，全球大洋碳汇增加了 0.98 Pg C/a，达到 2.22 Pg C/a。

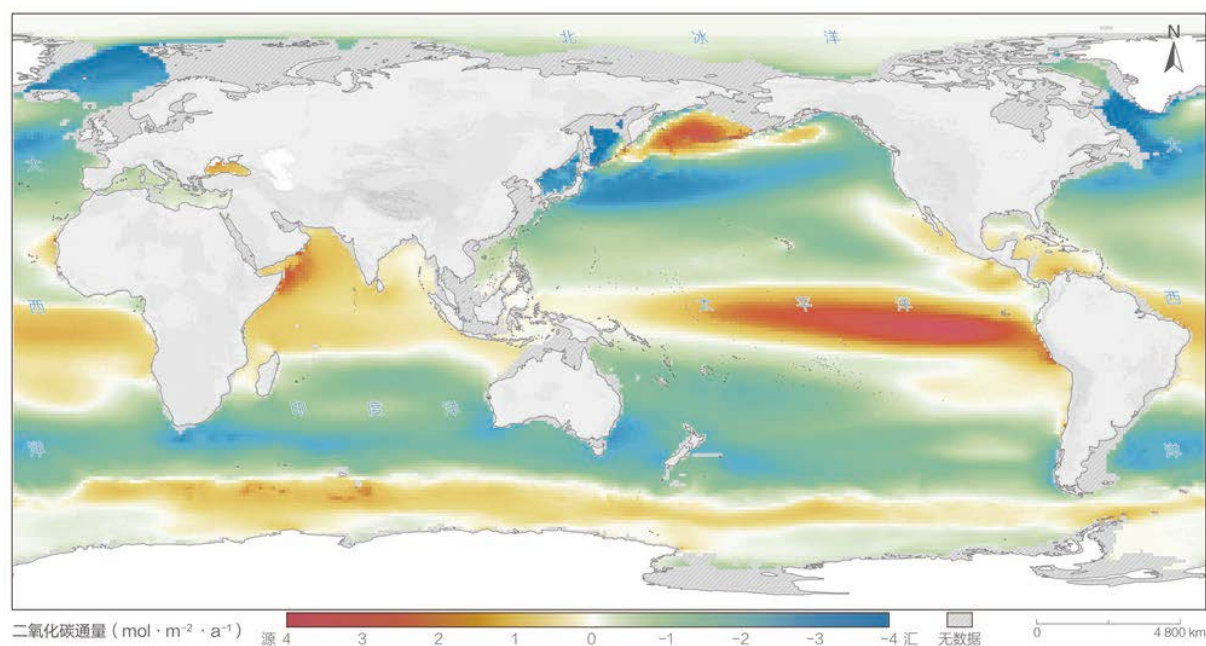


图 6-7. 1992~2020 年全球大洋平均 CO<sub>2</sub> 通量分布

# 2000~2020年全球陆地净生态系统生产力时空变化分析

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

基于全球通量网观测数据和影响净生态系统生产力时空变化的环境因子数据，采用空间大数据驱动的随机森林模型对全球陆地 NEP 进行估算（Huang *et al.*, 2021），生产了 2000~2020 年全球陆地 NEP 数据产品（空间分辨率 1 km，未考虑采伐、火灾等干扰因素的影响）。结合趋势分析和检验估算 NEP 的时间变化趋势，采用偏相关方法分析 NEP 对气候和土地覆盖因子的响应。

2000~2020 年全球陆地 NEP 的高值区位于热带、亚热带、寒温带森林分布区。2000~2020 年全球陆地年平均 NEP 的空间分布格局存在明显差异（图 6-8），其中，热带 NEP 总量最大，占全球总量的 69.9%，其次是温带（20.6%）、寒带（7.8%）和极地（1.4%），最小的是干旱气候区（0.3%）。

2000~2020 年全球陆地 NEP 呈显著增加趋势。

2000~2020 年，全球陆地 NEP 总量呈显著增加趋势（0.05Pg C/a,  $p<0.05$ ），其中热带 NEP 增加幅度最大，其次是干旱区、寒带和温带，极地 NEP 呈现非显著减小趋势。近 20 年，全球 NEP 增加区域的面积大于减少区域的面积，其中显著增加区域占总面积的 22%，显著减少区域仅占总面积的 10%。

全球陆地 NEP 时空变化主要受到温度升高和森林覆盖率增加的影响。在全球尺度上，NEP 与空气温度和森林覆盖率之间呈显著相关性，表明近 20 年全球陆地 NEP 增强主要是由于全球温度升高和森林覆盖率增加所致。通过偏相关系数的对比分析，发现热带地区和干旱地区 NEP 的变化更多受到气候因子影响，极地气候区更多受到土地覆盖因子影响，而温带气候区受到气候和土地覆盖因子的共同影响。



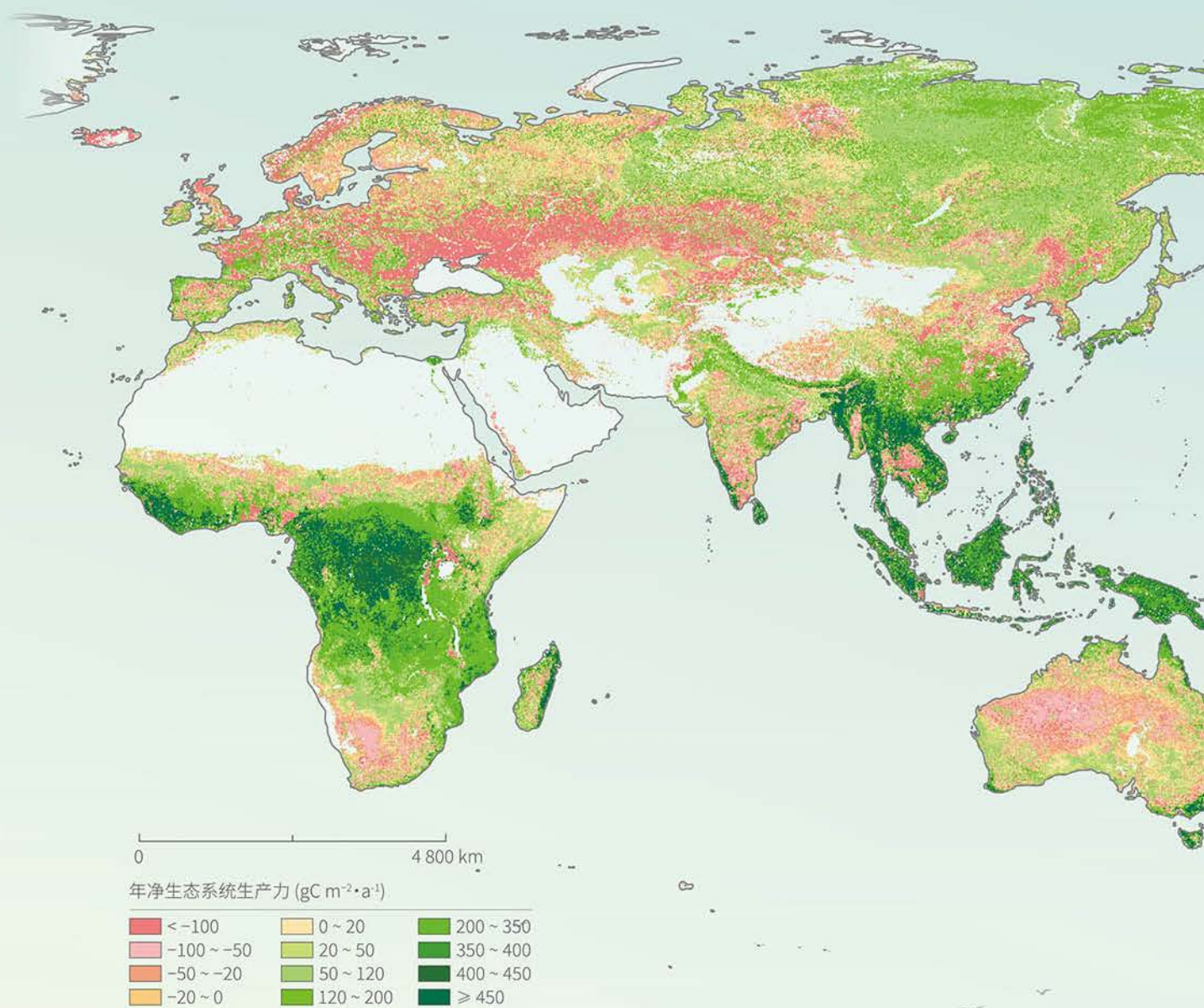
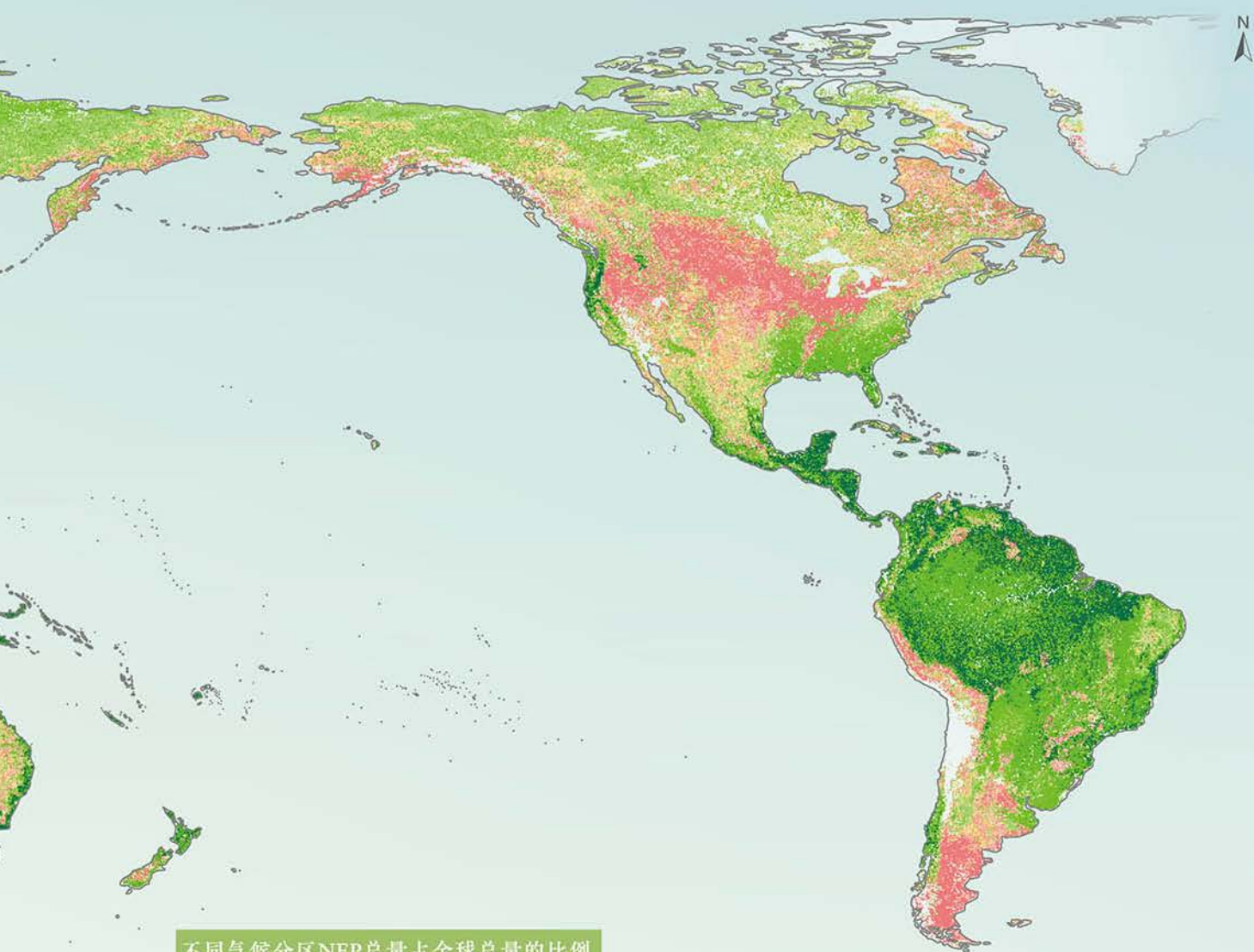


图 6-8.

2000~2020 年全球陆地年平均净生态系统生产力的空间分布格局





不同气候分区NEP总量占全球总量的比例



69.9%

热带



20.6%

温带



7.8%

寒带



1.4%

极地区



0.3%

干旱区





## 气候变化教育

以气候变化教育影响青少年，使他们自愿改变以减轻碳足迹，是落实联合国可持续发展目标的重要举措。在学生中普及基本的气候知识，加强气候变化教育，有助于未来更好地面对气候变化的长期挑战。

### 中国气候变化教育传播现状调查

**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**

近年来，中国倡导绿色发展，大力推进碳达峰、碳中和，已形成多部委出台政策、学校依据市情校情开展教育实践的生态文明教育基本面。为了解气候变化教育在中国教育政策、课程融入、教师教育和学生评估等方面的现状，研究团队于2022年5月在中国开展问卷调查，评估气候行动在中国基础教育阶段教与学、认知与行动、未来参与意愿等情况。案例采用方便抽样方法，经互联网进行问卷发放与数据采集，共获取7~9年级有效学生问卷3675份、教师问卷486份。

**大众媒体与社交网络是促进师生了解气候变化信息的重要渠道。**基础教育阶段教师多数毕业于师范类院校，因气候变化知识的专业性，使教师掌握相应知识具有一定难度。学生获取气候变化知识大多依赖媒体传播，但学生主动学习意识较强。整体来看，气候变化相关教学设计与实践活动仍有待加强。

**师生所在城市自然、经济环境会对其关注气候变化行动带来显著差异。**气候行动教师参与度评估全国平均分为69.6（分值区间0~100），其中华东地区70、西北地区72.6、其他地区67.5。学生参与度评估全国平均分为67.7，其中华东地区68、西北地区68.3、其他地区66。根据差异性检验，西北地区教师评估结果相对高

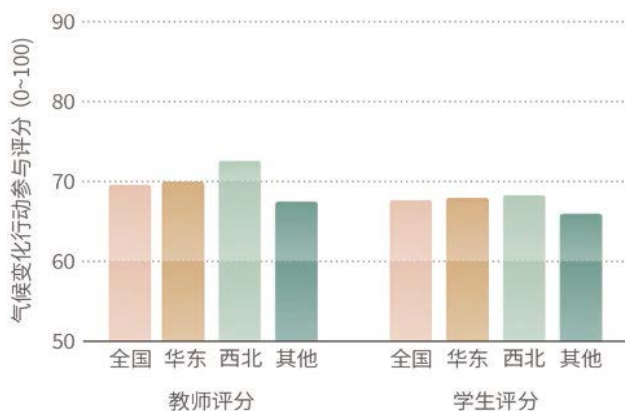


图 6-9. 2022 年中国师生参与气候变化评估分值

于其他地区（图 6-9）。通过对甘肃、宁夏等省份师生访谈可知，因西北地区自然环境较恶劣，师生对气候变化感知和保护意识更强。

**完善教育政策并形成系统化教学资源是强化气候变化教育传播的关键。**教师作为知识传播的主体，因其缺少气候变化相关培训，会间接影响科学知识的传播。但整体来看，虽然师生对气候行动等具体目标的了解、理解还需要进一步提升，但均对气候变化议题高度认同并在生活中自觉实践。



## 建议与展望

本章围绕 SDG 13 气候行动的灾害监测与减灾行动、气候变化长期预警、全球陆/洋碳汇估算、气候变化教育四个主题，通过地球大数据方法，实现 SDG 13 中四个指标（灾害影响 SDG 13.1.1、国家减灾战略 SDG 13.1.2、地方减灾战略 SDG 13.1.3、气候变化教育 SDG 13.3.1）在中国进展的监测；同时研制了全球气候变化、碳收支数据产品，为气候行动提供决策支持。

基于本章研究，我们建议：

（1）针对 SDG 13.1.1、SDG 13.1.2、SDG 13.1.3，研究表明中国涝渍害在极端年份影响面积达到常年的约 2.6 倍，全球陆地高温热浪频次和强度增加。虽然中国已经建立了较为完善的减灾体系，但对短期气候灾害的防御以及长期变化的预警不容忽视。未来仍需提高抗灾能力，增加科技手段。

（2）针对 SDG 13.2.2，研究表明随着全球变暖、森

林覆盖率以及大气 CO<sub>2</sub> 浓度增加，全球陆地和海洋的碳汇能力也在增加。这些变化一方面体现了继续执行植树造林政策的必要性，也不能忽视海洋碳汇增加可能导致海洋酸化的风险，未来需要关注陆地海洋生态系统变化的系统性问题。

（3）针对 SDG 13.3.1，气候变化与可持续发展教育关系到我们的未来，目前仍有不足，需强化政策制定，加强对气候变化教育科学内容的梳理，并带动学生深化气候行动实践。

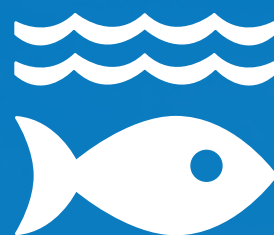
地球大数据在监测 SDG 13 指标进展过程中体现出了明显的优势。未来，需要探索更多温室气体的监测方法；通过样本调查的方式分析气候变化与可持续发展的教育程度，可能无法体现庞大教育人群的真实情况，未来仍需探索新的大数据方法，获取更普遍的样本。





SDG14





## SDG 14 水下生物

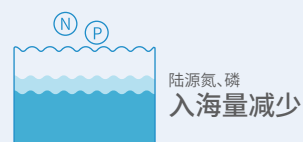
|            |    |
|------------|----|
| 背景介绍.....  | 87 |
| 主要贡献.....  | 88 |
| 主题研究.....  | 89 |
| 建议与展望..... | 96 |



## 成果亮点

### 减少海洋污染

近十余年来，中国近海营养盐浓度显著降低，其中陆源氮、磷入海量的减少是中国近海溶解无机氮和溶解无机磷浓度降低的主要原因。



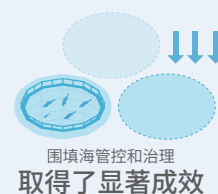
### 保护海洋生态系统

中国近海湿地的台风防护减灾生态功能价值中位值为 1 406 万元 / km<sup>2</sup>；研制的中国 - 东盟海域珊瑚礁白化热环境预警系统为区域内国家及时了解珊瑚礁所面临的白化环境、制定珊瑚礁保护措施提供了有力的科技支撑。



### 保护沿海区域

2010~2020 年，中国沿海退围还海、退围还湿的速度持续增加。2010~2015 年、2015~2018 年、2018~2020 年中国沿海围海养殖年均退出面积分别约 3.72 km<sup>2</sup>、4.77 km<sup>2</sup>、21.62 km<sup>2</sup>，围填海管控和治理取得了显著成效。





## 背景介绍

海洋覆盖了地球表面的 71%，是地球上最大的生态系统，也是世界上 80% 以上生物的家园。SDG 14 作为联合国 2030 年可持续发展议程及其 17 个变革性目标的组成部分，强调必须保护和可持续利用海洋和海洋资源。但是从全球范围来看，SDG 14 大部分具体目标的实施效果并不理想。2021 年 4 月联合国《第二次全球海洋综合评估》报告显示：自 2015 年以来，来自人类活动的许多压力继续使包括红树林和珊瑚礁等重要栖息地在内的海洋生态系统退化（UN，2021）。2022 年 7 月，联合国海洋大会通过里斯本宣言，呼吁加大基于科学和创新的海洋行动力度，以应对当前的海洋紧急情况。

地球大数据已成为我们认识海洋的“新钥匙”和知识发现的“新引擎”，主要来源于具有空间属性的大型

海洋科学实验装置、探测设备、遥感传感器、社会经济观测及计算机模拟过程。近年来，中国相关研究机构、高校和政府部门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丰富的实践经验。

在过去三年的报告中，我们针对典型海域富营养化、近海海洋垃圾与微塑料、红树林、典型海湾生态系统健康、近海筏式养殖和滨海养殖池等方面，在中国和典型地区尺度进行了长时间序列的动态监测及综合评估。今年的报告中，我们围绕减少海洋污染、保护海洋生态系统、保护沿海区域三个主题，进一步完善 SDG 14 相关指标监测方法，构建相应技术和模型体系，提供精细化监测评估产品，以期更好地促进 SDG 14 目标的实现。





## 主要贡献

本章通过六个案例，开展中国及周边区域 SDG 14.1、SDG 14.2、SDG 14.5 相关指标监测与评估，主要贡献如下（表 7-1）。

表 7-1 案例名称及其主要贡献

| 主 题      | 对应具体目标   | 案 例                    | 贡 献                                                                                                                                           |
|----------|----------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 减少海洋污染   | SDG 14.1 | 中国近海营养盐变化与趋势分析         | <b>数据产品：</b> 1978~2019 年中国东部近海营养盐的现场观测数据集<br><b>决策支持：</b> 为中国近海富营养化防控与综合决策提供信息支持                                                              |
|          |          | 中国近海绿潮生物量高精度遥感监测       | <b>数据产品：</b> 中国近海绿潮生物量的时空数据集<br><b>方法模型：</b> 绿潮生物量多源遥感反演模型                                                                                    |
| 保护海洋生态系统 | SDG 14.2 | 中国滨海滩涂的高精度动态监测         | <b>数据产品：</b> 2016 年和 2020 年 10 m 分辨率中国滨海滩涂空间分布数据集<br><b>方法模型：</b> 基于最大光谱指数合成（Maximum Spectral Index Composite, MSIC）算法和大津（Otsu）算法的滨海滩涂全自动提取方法 |
|          |          | 中国近海湿地的台风防护减灾生态功能价值评估  | <b>数据产品：</b> 2010 年、2015 年和 2020 年全国近海湿地台风防护价值数据集<br><b>方法模型：</b> 台风防护减灾对数线性环境经济评估模型                                                          |
|          |          | 中国 - 东盟海域珊瑚礁白化热环境监测与预警 | <b>数据产品：</b> 中国 - 东盟海域珊瑚礁白化热环境监测与预警数据集<br><b>方法模型：</b> 珊瑚礁白化热环境计算模型<br><b>决策支持：</b> 为海域内珊瑚礁环境评价、保护和政策制定提供支持                                   |
| 保护沿海区域   | SDG 14.5 | 中国退围还海和退围还湿动态监测        | <b>数据产品：</b> 2010~2015 年、2015~2018 年、2018~2020 年中国沿海退围还海、退围还湿 1:10 万比例尺矢量数据产品<br><b>决策支持：</b> 支持围填海管控和治理效果评估                                  |



主题研究

减少海洋污染

中国沿海地区人口密集、经济发展迅速，海洋环境污染防治面临着严峻挑战。中国政府高度重视海洋污染防治与治理，出台了一系列相关法律和法规，为预防和减少各类海洋污染奠定了良好的基础。目前联合国 SDG 14.1 关于营养盐污染的监测数据主要通过叶绿素 a 的相关值来体现，考虑到中国近海富营养化和营养盐时空分

布的复杂性，本主题基于地球大数据系统分析了中国近海营养盐浓度和结构随时间的变化及其控制因素，提供了中国近海绿潮生物量的高精度监测方法，通过对营养盐和绿潮生物量的精细刻画为 SDG 14.1 目标的实现提供更好支持。

中国近海营养盐变化与趋势分析

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

以 1978~2019 年中国东部近海各形态营养盐的现场实测数据、全国化肥施用量、污水排放量、污水处理率和污水总氮、总磷排放量的统计数据为基础，通过线性回归和二次回归分析营养盐的长期变化，运用全球营养物运输模型（Integrated Model to Assess the Global Environment - Global Nutrient Model, IMAGE-GNM），综合分析河流入海、大气沉降和海水养殖等外部来源对中国近海总氮、总磷的贡献及其长期变化趋势。

近十余年来中国东部近海营养盐浓度显著降低。中国东部近海不同营养盐长期变化趋势显示，近十余年来，溶解无机氮（Dissolved Inorganic Nitrogen, DIN）、溶解无机磷（Dissolved Inorganic Phosphorus, DIP）、活性硅酸盐浓度显著降低。N/P 比值持续增加，且显著高于雷德菲尔德化学计量比（Redfield ratio N:P=16:1）。以南黄海为例，变化趋势如图 7-1 所示。

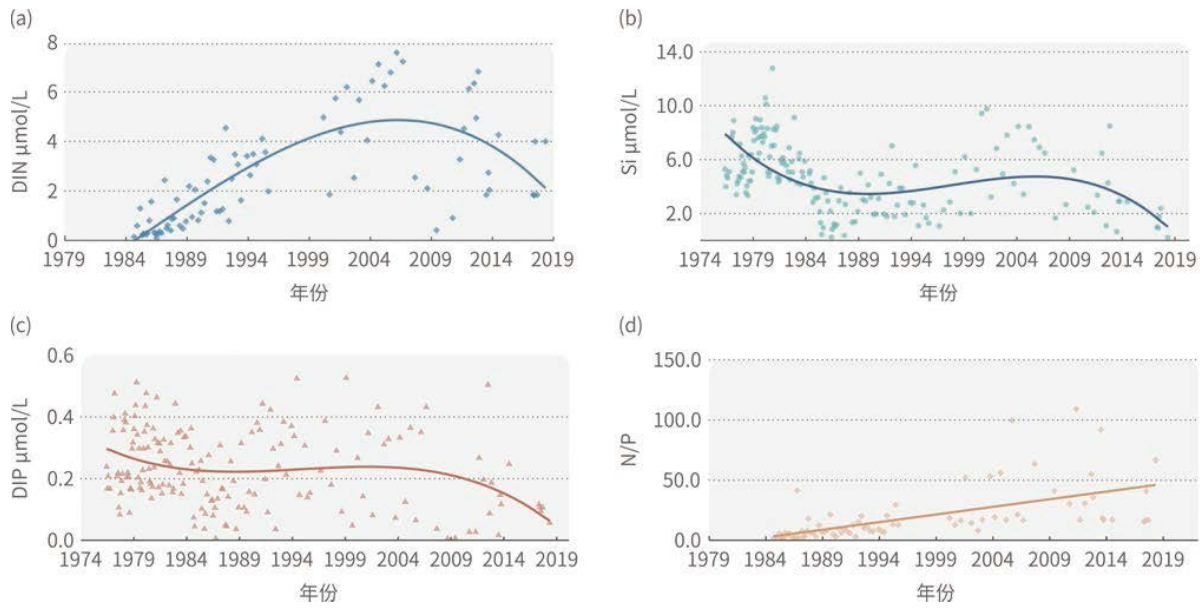


图 7-1. 南黄海各营养盐的长期变化



**陆源氮、磷入海量的减少是中国近海氮、磷浓度降低的主要原因。**基于 IMAGE-GNM 模型，综合分析外部来源包括河流入海、大气沉降和海水养殖对总氮、总磷的贡献，结果显示中国近海营养盐的浓度和结构与陆源输入高度相关，在所有外部来源中，河流输送为最主要来源。以长江实测数据进行验证，长江入海氮、磷通量减少的变化趋势与近海溶解无机氮和溶解无机磷浓度降

低的变化趋势一致，说明了该分析结果的合理性。近十余年来，中国遵循绿色发展理念，化肥施用量略有降低，污水排放量增速放缓，污水处理率已达 95% 以上（图 7-2a）。2016 年全国污水总氮、总磷的排放量比 2015 年分别降低了 1/2 和 4/5，2016 年以后污水总氮、总磷排放量较低，且保持稳定（图 7-2b）。中国近海营养盐污染整治成效显著。

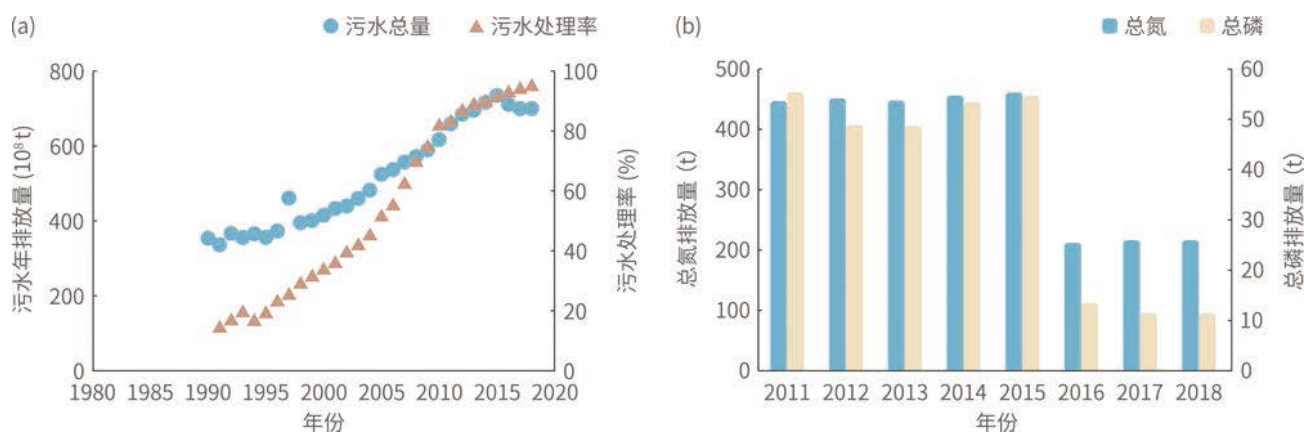


图 7-2. 中国污水年排放量、污水处理率、总氮排放量、总磷排放量的年际变化

## 中国近海绿潮生物量高精度遥感监测

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

绿潮生物量是准确刻画近海绿潮灾害时空分布格局与演变趋势的重要参数。本案例基于中国海洋一号 C/D 卫星（HY-1C/D）数据等多源光学遥感资料，提出适用于不同卫星数据的近海绿潮生物量估算模型与方法，生产高精度近海绿潮生物量遥感监测数据产品，可为海洋与海岸带生态环境的精准管理提供信息支持。

**提出适用于不同空间分辨率遥感数据的近海绿潮生物量估算方法。**针对 HY-1C/D 卫星海岸带成像仪（Coastal Zone Imager, CZI）、美国 MODIS、欧洲空间局哨兵二号卫星多光谱成像仪（MultiSpectral Instrument, MSI）等光学遥感数据特点，基于绿潮生物量变化模拟与观测验证数据，本案例提出了适用于不同载荷数据的绿潮生物量光学遥感估算模型和计算方法（Hu et al., 2019; Lu et

al., 2019; 刘锦超 等, 2022）。该方法能够有效降低绿潮监测结果的不确定性、减少面积参数所包含的尺度效应差异，为海洋富营养化的环境量化与评估提供精确参考（图 7-3）。

**研发高时空分辨率绿潮生物量数据产品。**基于 2019~2021 年 CZI 数据和 MODIS 数据进行协同监测，生产中国近海绿潮生物量时空数据产品。该产品不仅具有较高的时间分辨率，还具有精细的空间分辨率，可以较好地反映中国近海绿潮生物量的年内变化（图 7-4），展现绿潮生物量的空间分布格局与变化趋势。尤其针对绿潮小斑块的精细监测，可以刻画近海绿潮的消与转移过程，为近海绿潮灾害的监测和预警提供信息支撑。

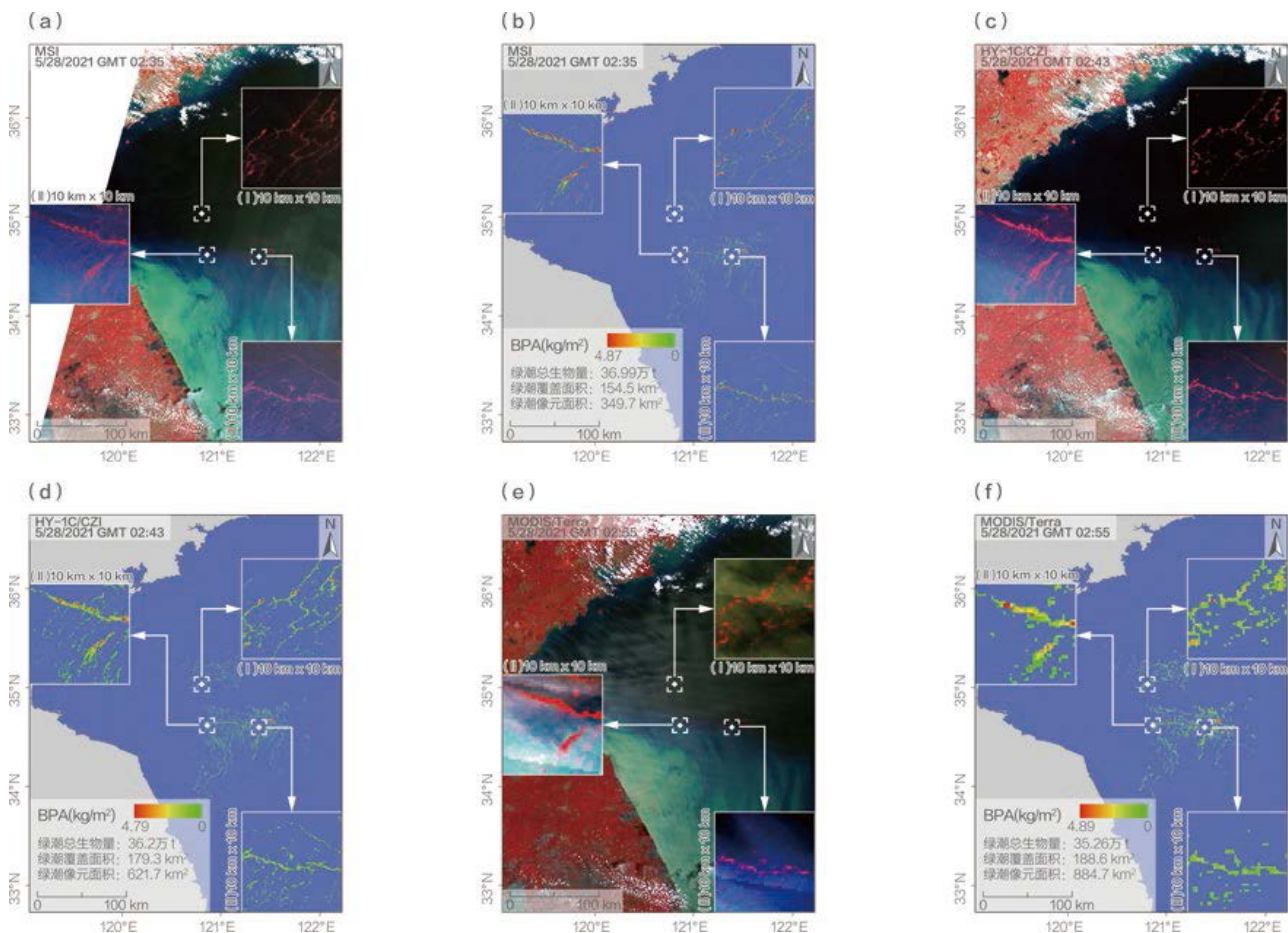


图 7-3. 2021 年 5 月 28 日中国黄海绿潮准同步 MSI、CZI、MODIS 假彩色合成影像及绿潮生物量单位面积分布图  
(a) MSI 假彩色合成图像 (R: 865 nm, G: 665 nm, B: 560 nm); (b) 基于 MSI 数据估算的绿潮生物量单位面积图; (c) CZI 假彩色合成图像 (R: 825 nm, G: 650 nm, B: 560 nm); (d) 基于 CZI 数据估算的绿潮生物量单位面积图; (e) MODIS 假彩色合成图像 (R: 859 nm, G: 645 nm, B: 555 nm); (f) 基于 MODIS 数据估算的绿潮生物量单位面积图; 插图用于 MSI、CZI 和 MODIS 对比分析的绿潮影像及其生物量单位面积图

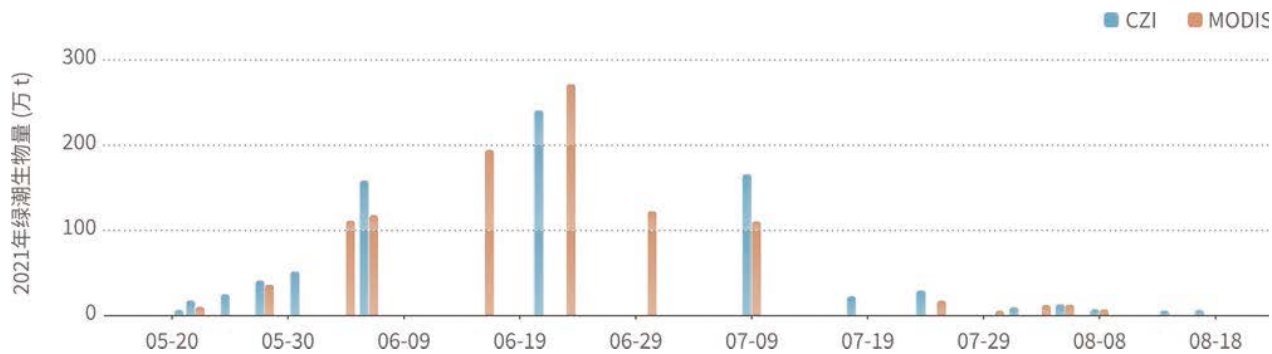


图 7-4. 2021 年中国近海绿潮生物量的协同监测



## 保护海洋生态系统

2022 年全球 SDG 指标的最新层级分类表显示，SDG 14.2.1（基于生态系统的方法管理海洋区域的国家数量）仍处于有方法无数据（Tier II）的状态。本主题通过地球大数据技术弥补监测数据缺失，实现中国滨海

滩涂精准动态监测，客观评估中国近海湿地的台风防护减灾生态功能价值，并对导致中国 - 东盟海域珊瑚礁白化的热环境要素进行监测预警。

## 中国滨海滩涂的高精度动态监测

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

滩涂，包括潮间带泥滩、岩石和沙滩，是海洋和陆地环境之间的过渡地带。它们不仅提供独特的生态系统服务，如抵御风暴潮、维护海岸线、净化水质和促进碳封存，还为候鸟、鱼类和其他海洋生物提供重要栖息和繁殖场所。对滨海滩涂开展准确、翔实的遥感监测，获取其高精度动态监测数据是海岸带精细化管理、落实相关 SDGs 的重要决策依据。

**研发 10 m 空间分辨率的中国滨海滩涂动态监测数据产品，精度达 92% 以上。**滨海滩涂是最大和最小潮位之间的非植被区域，监测的关键是获得最高和最低潮间范围。为此，本案例以 10 m 分辨率密集时序 Sentinel-2 影像为数据源，构建了基于最大光谱指数合成（MSIC）算法和天津（Otsu）算法的滩涂全自动提取方法。利用该方法，首次研发了 10 m 空间分辨率的中国滨海滩涂高精度动态监测数据产品。根据实地调查样点生成的误差矩阵和亚米级高分辨率数据进行精度验证，2016 年和 2020 年中国滨海滩涂监测的总体分类精度分别为 92% 和 94%。

**2016~2020 年沿海各省（自治区、直辖市）滨海滩涂面积变化趋势不同。**中国滨海滩涂广泛分布于各个河口周边，其中，辽河、海河、黄河、长江、珠江河口滩涂面积较大。2020 年，中国滨海滩涂面积最大的省份是江苏（约占全国滨海滩涂总面积的 24%），其次是山东和辽宁，这三个省滩涂面积约占全国滨海滩涂总面积的

50%。江苏滨海滩涂斑块面积大、向海纵深广阔；福建基岩岸线较多，滩涂斑块小，沿海呈狭长分布（图 7-5）。2016~2020 年间，沿海各省（自治区、直辖市）滨海滩涂面积呈现不同的变化趋势，山东、广东、海南、辽宁、台湾和福建沿岸滩涂斑块略有萎缩，浙江、江苏、广西、天津、河北和上海沿岸滩涂斑块略有增加。



图 7-5. 2020 中国滨海滩涂空间分布图

## 中国近海湿地的台风防护减灾生态功能价值评估

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

基于全国的土地利用与土地覆盖变化（Land-Use/Cover Change, LUCC）和长时间序列（1989~2020 年）台风灾害、经济损失、人口、GDP 等要素数据集，利用对数线性环境经济模型（Costanza *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2019），定量评估单位面积的近海湿地（包括沿海各省 LUCC 中的河渠、湖泊、水库、坑塘、滩涂、滩地、沼泽）台风防护减灾生态服务功能价值，综合每年台风袭击中国沿岸的频率，估算全国近海湿地每年在抵御台风、保护财产、减少灾害损失方面的经济价值。

**中国近海湿地的台风防护减灾生态功能价值的中位值为 1 406 万元 /km<sup>2</sup>。**近海湿地在台风防护减灾方面具有显著的社会效益和经济价值。尤其在全球气候变化情况下，极端天气气候事件呈现多发态势，登陆中国沿岸的台风趋多趋强，近海湿地台风防护减灾生态功能将会发挥更大的作用。基于 30 年来登陆中国沿岸并造成经济损失的 138 例台风，建立的对数线性环境经济模型结果显示，近海湿地的系数为负值且显著，证明了其在抵御台风减少灾害造成的经济损失方面发挥了积极作用，即台风袭击地区拥有的近海湿地面积越大，台风造成的相对经济损失越低。通过模型估算，中国近海湿地的台风防护减灾生态服务功能在不同的台风强度下具有不同的边际价值，中位值为 1 406 万元 /km<sup>2</sup>。

**2010 年、2015 年、2020 年中国近海湿地的台风防护服务价值不断升高。**2010~2020 年期间台风的数量和强度都分别随着时间的增加而逐渐增多、增强，但造成

的直接经济损失却逐年减少，这和我国的近海湿地近年来越来越受到重视和保护，使其在台风防护减灾过程中发挥了重要作用密切相关。综合考虑台风侵袭中国沿岸的频率，估算结果显示：2010 年我国近海湿地的台风防护服务价值是 926.9 亿元，2015 年上升到 2 119 亿元，2020 年高达 2 959.7 亿元（图 7-6）。

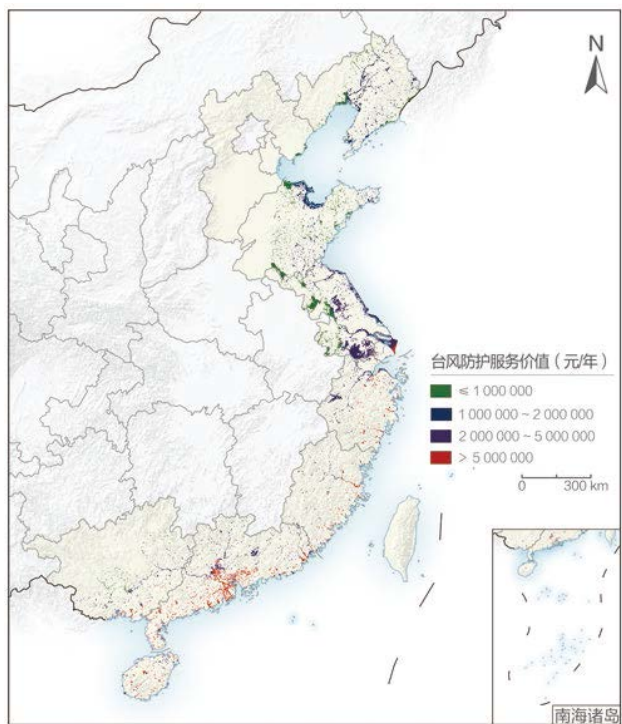


图 7-6. 2020 年中国近海湿地所提供的台风防护服务价值分布（注：港澳台地区数据未统计）



## 中国-东盟海域珊瑚礁白化热环境监测与预警

**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

珊瑚礁是世界上最重要的海洋生态系统之一，珊瑚礁生态系统支撑着数十万种海洋生物，为数亿人提供了食物、收入（Burke et al., 2011）。在全球变暖和海洋酸化的背景下，海洋极端高温事件也更加频繁和剧烈，海洋中的珊瑚礁白化现象逐渐加剧。中国-东盟海域是世界上珊瑚礁核心区域，也是珊瑚礁生物多样性最为丰富的区域，多年来现场观测数据显示这一海域的珊瑚礁白化情形十分严重。本案例应用卫星观测海表面温度和海洋数值模式产品，生产了珊瑚礁白化热环境数据集，并构建了实时在线的中国-东盟海域珊瑚礁白化热环境预警系统。

**综合利用卫星监测和海洋再分析数据，研发三维珊瑚礁白化热环境计算方法。**利用卫星监测海表面温度数据（Sea Surface Temperature, SST）和自然资源部第一海洋研究所海洋耦合模式的再分析海洋温度数据产品，综合计算三维中国-东盟海域珊瑚礁的白化热环境参数：

珊瑚礁白化热度和珊瑚礁白化周热度，形成日平均珊瑚礁白化危险分级。本方法可综合分析研究海域的珊瑚礁白化环境状况，为全面掌握珊瑚礁白化热环境状况提供科学依据。

**研制中国-东盟海域珊瑚礁白化热环境预警系统，为区域珊瑚礁环境评价和保护提供了有力信息支撑。**利用上述方法，研制中国-东盟海域珊瑚礁白化热环境实时预警系统（<http://144.123.38.62:2018/#/>），实现珊瑚礁白化热环境的实时评估和预报（图 7-7，图 7-8）。该系统目前已经接入联合国教科文组织政府间海洋学委员会西太分委会官方网站，面向中国-东盟海域实时发布每天珊瑚礁白化热环境预警结果，为区域内国家及时了解珊瑚礁所面临的白化环境、制定珊瑚礁保护措施等提供了有力科技支撑。系统发布以来，已收到泰国、马来西亚和柬埔寨等国家积极反馈，成为推进区域内珊瑚礁资源开发、研究和保护的合作平台。

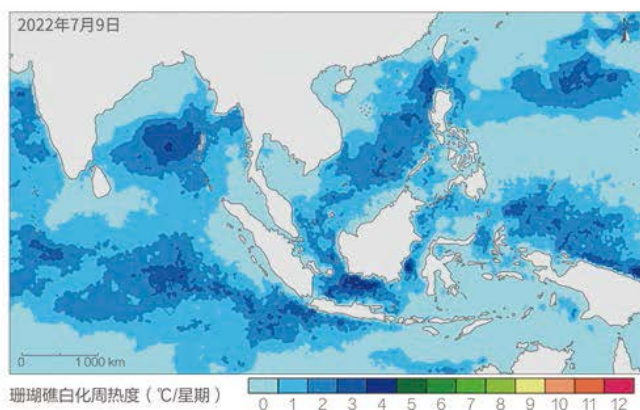


图 7-7. 中国-东盟海域珊瑚礁白化热环境预警系统（2022 年 7 月 9 日周热度）

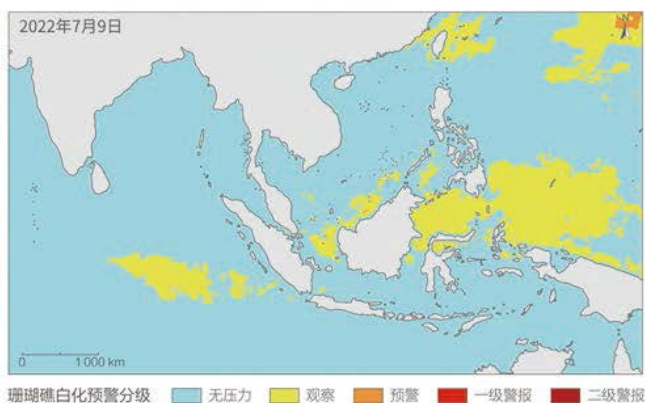


图 7-8. 中国-东盟海域珊瑚礁白化热环境预警系统（2022 年 7 月 9 日白化环境分级）

## 保护沿海区域

伴随海洋经济的不断发展，海洋和沿海地区空间资源开发利用的广度和深度均显著增强，对海岸带环境和生态系统造成了一定的负面影响，引起国际社会的高度

关注。本主题利用地球大数据技术系统开展了中国退围还海和退围还湿动态监测，反映出中国促进陆海统筹与加强围填海治理等措施成效显著。

## 中国退围还海和退围还湿动态监测

**对应目标：14.5 到 2020 年，根据国内和国际法，并基于现有的最佳科学资料，保护至少 10% 的沿海和海洋区域**

基于中国沿海多期 Landsat TM/OLI 30 m 分辨率多光谱卫星影像，以及海岸线空间分布等辅助数据支持，采用人机交互判读方法，提取 2010~2015 年、2015~2018 年和 2018~2020 年三个时期中国沿海退围还海和退围还湿措施空间分布。在遥感解译时，如果早期遥感影像上的养殖坑塘等围海用地在后期的遥感影像上还原为海面、海涂、红树林湿地等自然地表时，则将其归类为退围还海或退围还湿措施（图 7-9）。

**2010~2020 年，中国沿海退围还海、退围还湿的速度持续增加。**2010~2015 年中国沿海围海养殖年均退出面积约 3.72 km<sup>2</sup>，2015~2018 年围海养殖年均退出面积约 4.77 km<sup>2</sup>，2018~2020 年围海养殖年均退出面积约 21.62 km<sup>2</sup>。2010~2020 年，中国沿海退围还海、退围还湿的速度持续增加，2018~2020 年围海养殖退出面积最多，占 2010~2020 年围海养殖退出总面积的 56.77%（图 7-10）。

在 2010~2015 年、2015~2018 年两个阶段，渤海和黄海围海养殖退出面积相对较多，合计分别占两个时期围海养殖退出总面积的 83.29% 和 85.37%。2018~2020 年，各海域围海养殖退出面积均增加较多，其中在东海退出面积最多，面积为 21.40 km<sup>2</sup>，其次在渤海，面积为 12.31 km<sup>2</sup>，分别占同期围海养殖退出总面积的 49.49% 和 28.48%。

**中国围填海管控和治理取得了显著成效。**中国政府历来比较重视围填海的管控和治理。2018 年《国务院关于加强滨海湿地保护严格管控围填海的通知》要求坚持

生态优先、绿色发展和最严格的生态环境保护制度，切实转变“向海索地”的工作思路，严控新增围填海造地，加强生态保护修复，实现海洋资源严格保护、有效修复、集约利用，并积极推进“蓝色海湾”，支持通过退围还海、退养还滩、退耕还湿等方式，逐步修复已经破坏的滨海湿地。系列遥感监测结果显示，退围还海和退围还湿速度在 2018~2020 年显著增加，中国围填海管控和治理取得了显著成效。



图 7-9. 退围还海和退围还湿典型遥感监测示例



图 7-10. 基于遥感监测的 2010~2020 年中国沿海退围还海和退围还湿措施的速度变化





## 建议与展望

本章从减少海洋污染、保护海洋生态系统、保护沿海区域三个方面开展了水下生物指标监测研究，形成了中国、区域两个尺度的相关案例。相较于前三年的报告，我们系统开展了中国近海营养盐污染、绿潮灾害的监测，并拓展了中国和周边区域典型海洋生态系统的专题研究，同时，对中国退围还海和退围还湿状况进行了动态分析。

基于本章研究，我们建议：

（1）针对减少各类海洋污染的目标 SDG 14.1，研究表明中国海洋水色卫星关键载荷具备的大覆盖范围、高空间分辨率、高时相观测技术优势，能为近海富营养化的环境量化与评估提供较好的数据服务，后续可以在全球和区域进行推广应用。

（2）针对可持续管理和保护海洋生态系统的目标 SDG 14.2，研究表明地球大数据相关技术和方法可以在

滩涂、珊瑚礁等典型海洋生态系统的动态监测和预警服务中能够起到重要的支撑作用。后续可以考虑在 SDG 14.2 的指标体系中细化和补充一些典型海洋生态系统监测评估的指标，以解决目前监测数据缺失的问题。

（3）针对保护沿海和海洋区域的目标 SDG 14.5，研究表明区域发展战略和政策管控措施对促进沿海保护修复具有重要的推动作用。后续可以考虑加强政策法规的实施对 SDG 14.5 实现相互关系的研究，探索如何构建分区管控、分类管控和分级管控相结合的政策制度体系，促进沿海和海洋区域更好的保护。

未来，我们将持续提高地球大数据在海洋可持续发展领域的共享和应用能力，通过搭建数据共享平台、在线计算平台、数据服务平台，促进数据和知识的及时共享和传播，提升蓝色经济发展与海洋科技创新水平。



可持续发展科学卫星1号 (SDGSAT-1)





SDG 15





## SDG 15 陆地生物

|            |     |
|------------|-----|
| 背景介绍.....  | 101 |
| 主要贡献.....  | 102 |
| 主题研究.....  | 103 |
| 建议与展望..... | 111 |



## 成果亮点

### 防治荒漠化与土地退化

中国土地退化治理成效显著，土地退化监测、预警及治理能力快速发展。中国 2000~2020 年固定沙丘（地）每十年增加比例为 13.47%，高于全球固定沙丘（地）每十年增加比例 9.90%；中国 2005~2019 年荒漠化防治碳汇潜力增加 5.787 亿 t，荒漠化防治碳汇效应明显；中国东北黑土退化高风险区约占 11.70%，迫切需要加强保护预防退化发生；大数据支持“非洲绿色长城”建设工具有效支撑非洲荒漠化防治，得到泛非绿色长城机构、联合国与中国政府认可。

2000~2020年  
固定沙丘（地）每十年增加  
13.47%



### 保护山区生态系统

中国山区生态系统受保护比例较高，空间布局待进一步优化。中国山地自然保护地为约 2/3 的国家重点保护野生动植物提供了重要天然栖息地，覆盖了 87% 的山地优先保护生态系统类型，并据此提出了系列保护策略。

中国山地自然保护地为约

2/3 重点保护野生动植物提供了栖息地



### 外来入侵物种防控管理

中国主要外来入侵物种防控效果显著。中国 71 种外来入侵物种分布呈现由东南沿海向西北内陆递减趋势，主要外来入侵物种互花米草、豚草等得到有效控制，并形成了具有推广价值的防控技术体系。



71 种入侵物种  
由东南沿海向西北内陆  
呈递减趋势



## 背景介绍

生物多样性和生态系统是人类赖以生存和发展的基础,但他们正在全世界范围内恶化。联合国可持续发展目标提出七年以来,保护陆地生态面临着前所未有的压力与机遇,各种直接和间接变化驱动因素也加速发展。如全球森林面积(SDG 15.1.1)仍在下降(FAO, 2020),全球约75%的土地仍处于退化(SDG 15.3.1)状态(IPBES, 2019),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, 2021a),按现在的进度,SDG 15在2030年很难实现(UN, 2019)。

为推动更好落实SDG 15目标,迫切需要有关可持续发展目标进展及背后驱动因素的科学、可信且独立的最新评估,以便在中国、区域和全球更好地做出循证决策并采取行动。随着数据可用性的提高与技术方法的发

展,SDG 15涵盖的14个指标中有八个指标处于Tier I(有方法有数据)。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。而且,生态系统变化受多尺度上多因素相互作用的影响,对其现状、变化及驱动因素的准确刻画需要大数据等先进技术手段的支持。

过去三年的报告中,我们针对森林保护与恢复、土地退化与恢复、山地生态系统保护、重要物种栖息地等方面开展了中国及全球尺度分析,今年的报告中我们聚焦防治荒漠化与土地退化、保护山区生态系统及外来入侵物种防控管理三个主题,开展不同尺度评估,以形成系列SDG 15关键指标数据产品与决策支持工具,为国际社会更好落实SDG 15及其他目标提供重要支撑。





主要贡献

本章通过六个案例评估了中国和全球时序尺度的 SDG 15.3、SDG 15.4、SDG 15.8 相关单指标及综合进展情况，主要贡献如下（表 8-1）。

| 表 8-1 案例名称及其主要贡献 |          |                   |                                                                                                                      |
|------------------|----------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 主 题              | 对应具体目标   | 案 例               | 贡 献                                                                                                                  |
| 防治荒漠化与土地退化       | SDG 15.3 | 全球沙丘（地）动态监测       | 数据产品：2000 年、2010 年和 2020 年全球 30 m 沙丘（地）分布及变化数据产品<br>决策支持：中国固定沙丘（地）每十年增加比例为 13.47%，高于全球固定沙丘（地）每十年增加比例 9.90%           |
|                  |          | 中国荒漠化治理碳汇效应       | 决策支持：荒漠化治理碳汇效应明显，2005~2019 年中国荒漠化防治碳汇潜力增加 5.787 亿 t                                                                  |
|                  |          | 东北黑土退化现状与风险评估     | 方法模型：东北黑土退化预警指标体系<br>决策支持：查明东北黑土侵蚀速率空间分布，侵蚀营力西部以风为主，东部以水为主，东北黑土退化高风险区约占 11.7%                                        |
|                  |          | 地球大数据支持“非洲绿色长城”建设 | 数据产品：首个泛非绿色长城机构成员国 2013~2020 年洲际尺度上 30 m 空间分辨率土地生产力动态产品<br>决策支持：大数据支持“非洲绿色长城”建设在线工具（GGW-BDF）为非洲土地退化监测、报告及防治提供了重要工具支持 |
| 保护山区生态系统         | SDG 15.4 | 中国山地生物多样性保护状况评估   | 决策支持：山地自然保护地为约三分之二的国家重点保护野生动植物物种提供了重要天然栖息地，覆盖了 87% 的山地优先保护生态系统类型，为相关部门开展保护策略制定提供了参考                                  |
| 外来入侵物种防控管理       | SDG 15.8 | 外来入侵物种风险评估与防控管理   | 数据产品：中国主要外来入侵物种扩散风险空间分布图                                                                                             |



## 主题研究

### 防治荒漠化与土地退化

土地退化是全球性挑战，2022 年发布的《全球土地展望 2》指出“全球高达 40% 的土地已经退化，直接影响到一半的全球人口，约一半的全球 GDP（44 万亿美元）受到威胁”（UNCCD, 2022）。防治荒漠化与土地退化是 SDG 15.3 的核心内容，2030 年实现土地退化零增长已得到国际社会全面接受和认可，而土地退化零增长监测是保障这一目标实现的前提。当前，土地退化零增长的监测仍面临较多挑战，如监测的时空分辨率过低、数

据指标过少、代表性不强，以及效益监测单一化等，这一问题在发展中国家尤为突出。为此，我们充分利用地球大数据的优势，探索了中高分辨率全球沙丘（地）的动态监测、建立了本地化的东北黑土地土地退化评估体系，评估了中国防治荒漠化的碳汇效应，开发了大数据支持非洲防治土地退化在线工具，以期为解决上述问题提供新数据与新手段。

### 全球沙丘（地）动态监测

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

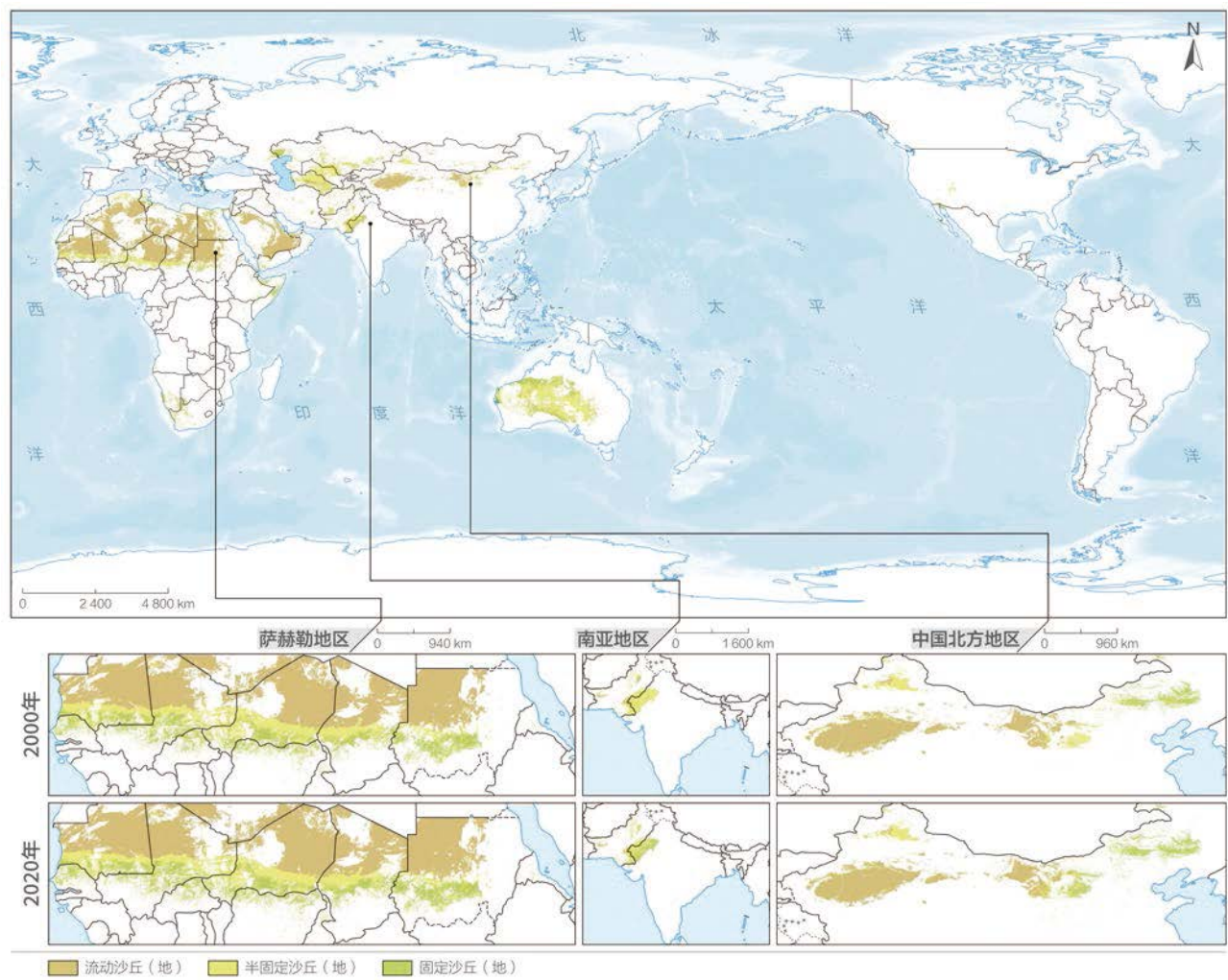
全球尺度沙丘（地）遥感监测工作一直空白，缺少一致可比、高分辨率的全球数据产品。本案例基于卫星遥感数据、多源地表制图产品和土地覆盖样本集，构建了包含光谱、光谱指数、多时相归一化植被指数（Normalized Difference Vegetation Index, NDVI）、纹理、地形和多源制图特征在内的多源多时相分类特征体系，利用高质量单时相与多时相分类样本，研制了 2000 年、2010 年和 2020 年共 3 期 30 m 空间分辨率的全球沙丘（地）分布数据集（图 8-1），数据集总体分类精度大于 80%。

全球沙丘（地）面积占有土地面积的 6.83%~6.95%。流动沙丘（地）的面积最大，半固定沙丘（地）次之，

固定沙丘（地）面积最小。在六大洲中（不包括南极洲），非洲沙丘（地）面积最大，占比为 18.42%~18.67%；亚洲沙丘（地）面积位列第二，占比为 6.14%~6.34%。大洋洲沙丘（地）面积占比最高，达 19.80%~20.09%。

全球沙丘（地）变化主要趋势为半固定向固定沙丘（地）转换。流动沙丘（地）面积小幅波动，2000~2010 年增加 0.37%，2010~2020 年减少 0.63%；半固定沙丘（地）持续减少，两个时期减少比例为 2.16% 和 1.70%；固定沙丘（地）持续增加，两个时期增加比例为 8.39% 和 11.42%。中国固定沙丘（地）每十年增加比例为 13.47%，高于全球固定沙丘（地）每十年增加比例（9.90%）。





↑ 图 8-1. 2020 年全球沙丘（地）空间分布与 2000~2020 年典型区域变化

## 中国荒漠化治理碳汇效应

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

荒漠化治理中的植被恢复措施是中国西北干旱、半干旱区固碳增汇的重要途径，开展中国近年来荒漠化治理过程中固碳增汇研究，可为评估荒漠生态系统在应对气候变化中的作用提供参考，也可明晰中国荒漠化区域生态建设对“碳达峰”和“碳中和”的贡献。本案例采用 MODIS-NDVI 数据结合地面调查数据、全国土壤普查数据，开发了荒漠生态系统碳储量估算方法，对中国荒漠生态系统碳储量进行了估算。基于全国荒漠化和沙化土地监测数据，结合文献数据和地面调查数据，估算了中国荒漠化防治碳汇潜力增量。

**中国荒漠生态系统碳储量 2020 年约为 70.628 亿 t。**中国的荒漠主要分布于 75° E ~ 106° E 和 35° N ~ 50° N 之间的内陆盆地和高原，西起塔里木盆地西端，东到贺兰山。根据《1:1 000 000 中国植被图集》

确定我国荒漠生态系统分布范围，总面积为 208.37 万 km<sup>2</sup>，约占陆地国土总面积的 21.70%。2020 年中国荒漠生态系统植被地上生物量约为 2.279 亿 t（图 8-2），植被总生物量约为 14.813 亿 t，植被碳储量约为 7.406 亿 t；土壤有机碳储量为 63.199 亿 t，生物土壤结皮碳储量为 0.023 亿 t。中国荒漠生态系统碳储量为 70.628 亿 t。

**2005~2019 年中国荒漠化防治碳汇潜力增加 5.787 亿 t。**自 2000 年以来，中国荒漠化土地面积持续缩减，荒漠化防治碳汇潜力持续增加，2005~2019 年共增加碳汇潜力 5.787 亿 t，平均每年大约增加 0.386 亿 t。中国生态建设对碳汇潜力增加在不同时期体现的气候区有明显的差异，2005~2009 年和 2010~2014 年碳汇潜力增加主体为半干旱区和亚湿润干旱区，2015~2019 年干旱区、半干旱区和亚湿润干旱区都有不同程度的碳汇潜力贡献。

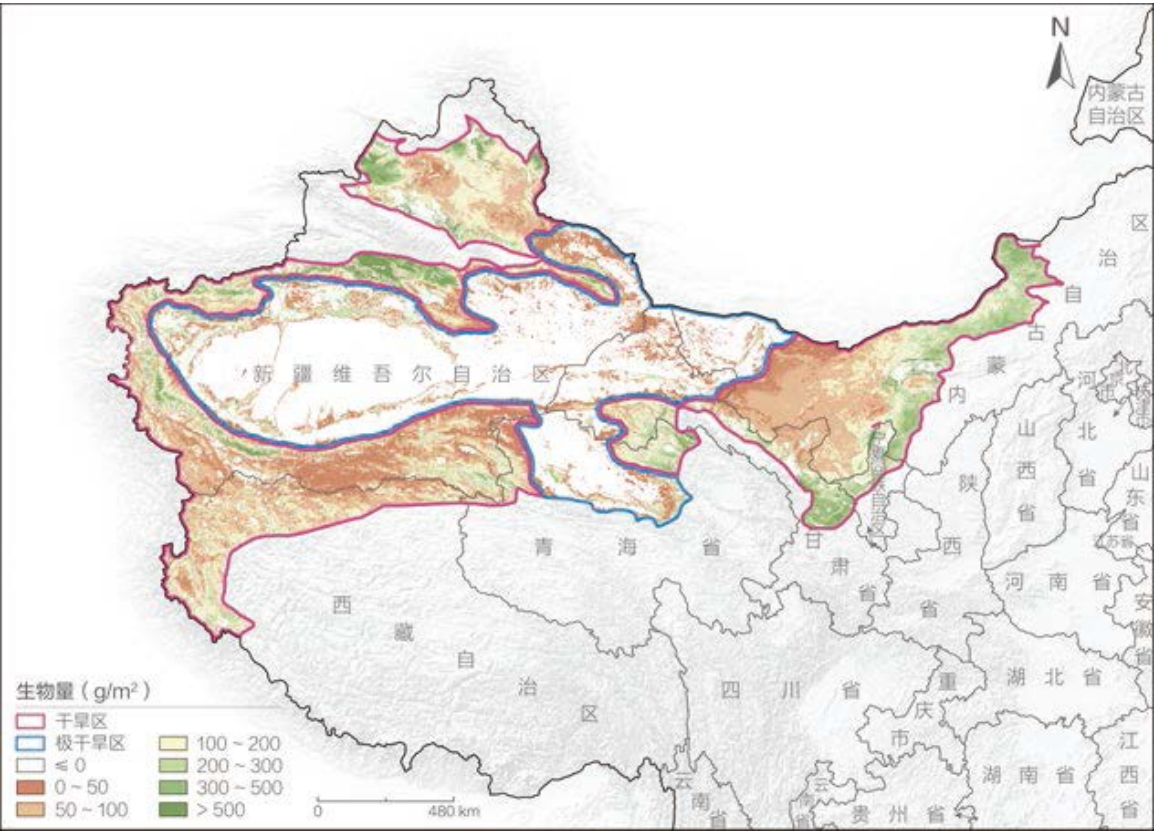


图 8-2. 2020 年中国旱区荒漠植被地上生物量分布图



东北黑土退化现状与风险评估

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

东北黑土保护对维护生态平衡、保障国家粮食安全具有重要意义。本案例通过野外考察和实验室分析测试，解析总有机碳( Total Organic Carbon, TOC )含量与磁化率、粒度、侵蚀速率的关系，并明确其与谷物年产量的关系，建立了新的黑土退化预警指标体系并确定土壤退化预警值；以表土（0~30 cm）TOC 含量分布等为数据基础，获得当前东北黑土退化程度空间分布图及已退化土地面积占比，可为进一步实施保障黑土地粮食安全、防治黑土侵蚀退化战略提供决策支持。

**东北黑土退化的阈值为表土 TOC 含量小于 0.5%。**  
东北黑土区表土 TOC 含量和黑土层厚度均由东南向西北整体增加，侵蚀速率从西部(>3 mm/a)到东部(0~3 mm/a)逐渐下降，平均值为 2.22 mm/a。分析发现东北黑土侵蚀营力西部以风为主，东部以水为主。土壤 TOC 序列集成分析表明，土壤 TOC 含量下降至 0.5% 时，土壤发生明显退化（图 8-3）。本案例以此为基础，进行多指标综合研判，构建出新的东北黑土退化预警指标体系，如表 8-2 所示。

**东北黑土退化高风险区约占 11.7%，需要高度关注。**以土壤 TOC 含量变化序列为黑土退化评估基础，综

合考虑黑土层厚度和侵蚀速率对黑土退化的影响，构建出新的黑土退化评估体系。在表土（0~30 cm）TOC 含量分布数据基础上，对当前东北黑土退化进行了系统评估。评估结果（图 8-4）显示，当前已退化区面积为 0.2 万 km<sup>2</sup>（0.7%），高风险区和低风险区面积分别为 2.6 万 km<sup>2</sup>（11.7%）和 13.1 万 km<sup>2</sup>（57.8%），安全区面积为 6.7 万 km<sup>2</sup>（29.8%）。

表 8-2 东北黑土退化预警指标体系

| 退化等级 <sup>#</sup> | TOC (%) | 黑土层厚度 (cm) | 侵蚀速率 (mm/a) <sup>*</sup> | 指标体系建立依据                                 |
|-------------------|---------|------------|--------------------------|------------------------------------------|
| 已退化               | < 0.5   | 不考虑        | 不考虑                      | 土壤已经发生退化                                 |
| 高风险等级             | 0.5~1.0 | < 10       | > 4                      | 土壤开始缓慢退化，或黑土厚度无法支撑粮食生产，或侵蚀速率超过土壤容许流失量对应值 |
| 低风险等级             | 1.0~2.0 | > 10       | < 4                      | 土壤少有退化，且具有较高的生产力                         |
| 安全等级              | > 2.0   | > 10       | < 4                      | 土壤肥沃、健康，可以持续支撑粮食生产                       |

<sup>#</sup> 退化等级就高不就低，指标满足任一更高退化等级条件时，划归该等级；  
<sup>\*</sup> 土壤容许流失量一般为 50 t · ha<sup>-1</sup> · a<sup>-1</sup>，当黑土平均容重为 1.25 g · cm<sup>-3</sup> 时，其对应侵蚀速率为 4 mm/a。

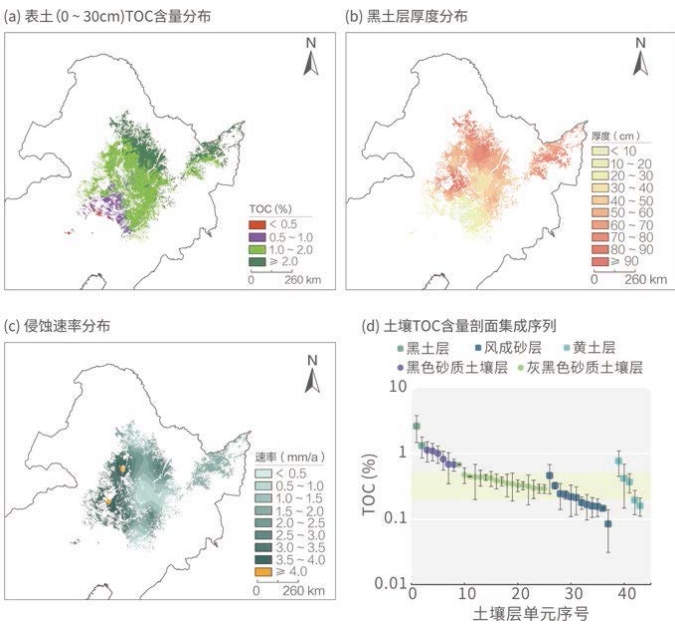


图 8-3. (a) 东北黑土表土总有机碳 (TOC) 含量分布；(b) 黑土层厚度分布；(c) 侵蚀速率分布；(d) 东北地区土壤 TOC 含量剖面序列变化

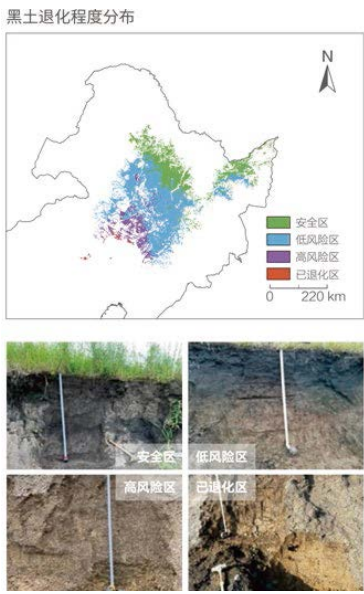


图 8-4. 东北黑土退化程度分布

## 地球大数据支持“非洲绿色长城”建设

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

土地生产力动态（Land Productivity Dynamics, LPD）是联合国跨领域专家组采纳确定的 SDG 15.3.1 监测关键指标之一。当前，JRC、FAO 等均研制了全球土地生产力动态产品，但空间分辨率从 250~1 000 m 不等，全球范围内尚无大区域中高分辨率全球土地生产力产品的应用。本案例研制了基于 SDG 大数据平台 30 m 的 LPD 计算工具，通过高时空分辨率影像融合算法为 LPD 计算提供 30 m 空间分辨率、8 天时间分辨率高质量植被指数数据集，采用 JRC 提出的基于稳定性指数、基准水平和状态变化的算法保证了与全球其他 LPD 产品的可比性。该工具是全球首个空间分辨率 30 m 的 LPD 计算工具，可以实现全球指定空间范围、指定时间窗口内的 30 m 空间分辨率 LPD 的计算，从而为全球土地退化监测提供重要支撑。

为服务中国支持“非洲绿色长城”建设的重大战略，可持续发展大数据国际研究中心开发了大数据支持“非洲绿色长城”建设在线工具（Great Green Wall Big Data Facilitator, GGW-BDF），实现了覆盖 11 个泛非绿色长城机构（Pan African Agency of the Great Green Wall, PAGGW）成员国、2013~2020 年首个洲际尺度上的 30 m 空间分辨率 LPD 产品（图 8-5）及荒漠化防治知识库等的集成。用户可便捷浏览中高空间分辨率土地生产力动态数据，开展感兴趣区域的统计分析，并查询中国绿色长城建设的技术和经验。相关工具在第 28 个防治荒漠化和干旱日中国国家主场活动上进行了发布，国家林业和草原局、联合国防治荒漠化公约负责人给予了高度评价。

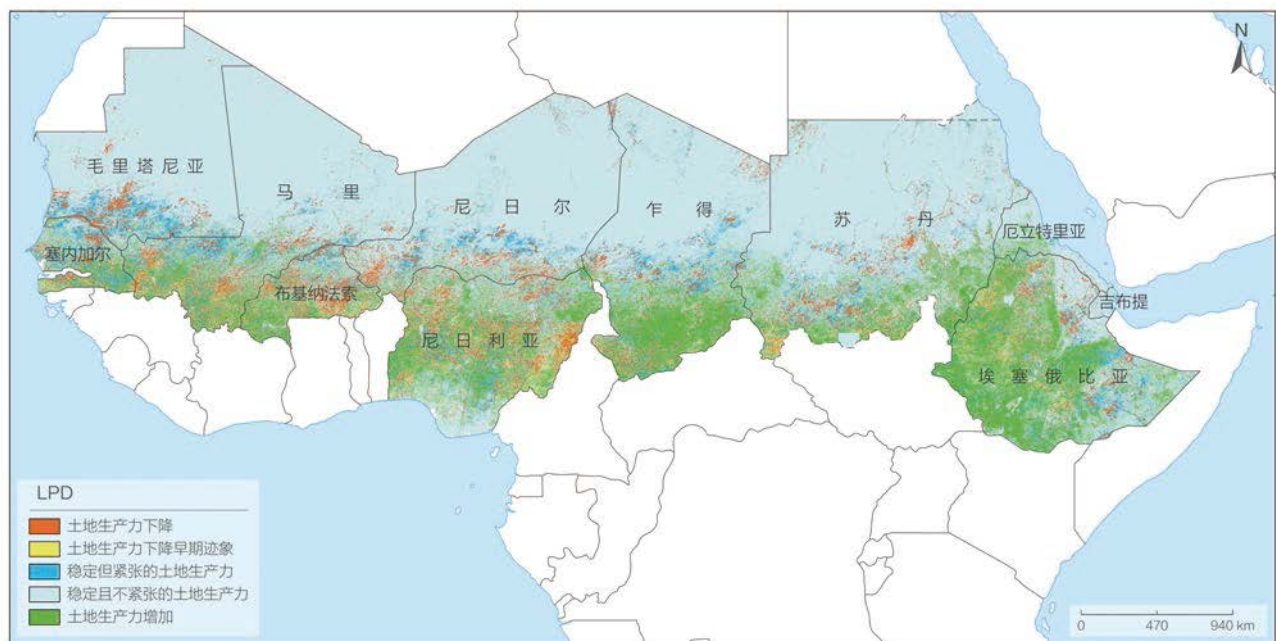


图 8-5. 泛非洲绿色长城机构国家土地生产力动态（LPD）产品



## 保护山区生态系统

山地是陆地表面的基本形态之一，对全球生态系统的平衡起着不可替代的作用。世界上 75% 的国家拥有山地，纵横的山脉形成相互联通的生物迁移网络，是生物多样性交流的重要生命通道。然而，随着工业化进程的推进，世界多数山区的资源逐渐萎缩、物种大量减少、水土流失加剧，山区生态环境呈恶化趋势。针对这些严

峻的现实，第 76 届联合国大会宣布 2022 年为国际山地可持续发展年，协调山地的保护与可持续发展成为全球关注的焦点。中国是一个多山国家，评估中国山地生物多样性保护状况是落实 SDG 15.1 与 SDG 15.4 的重要基础，可为山区生物多样性保护、山地自然保护地空间格局优化提供支撑。

## 中国山地生物多样性保护状况评估

**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

本案例首先基于数字高程模型（Digital Elevation Model, DEM）数据界定中国山地空间范围，以自然保护地科学考察报告为基础统计山地分布区内的物种数量，并与《中国生物物种名录》2021 版进行比较，明确山地对物种保护的重要性；根据 2020 年 30 m 全国生态系统调查评估数据，分析山地范围内森林、灌丛、草地、湿地、荒漠等生态系统面积占全国同类型的面积比例，以此评估山地对生态系统保护的重要性；最后，分析山地自然保护地对优先保护生态系统的覆盖状况与保护空缺，据此提出山地保护地布局优化建议。

**山地对全国生物多样性保护具有重要意义。**山地占中国陆地国土面积的 69.27%，分布有哺乳动物约 500 种，鸟类约 1200 种，爬行类约 300 种，两栖类约 250 种，高等植物约 26 700 种，分别占中国该类群总数的 89%、83%、65%、52%、70%。山地分布有自然植被型 634 类，占全国陆地自然植被型总数的 90.7%（图 8-6）。

**中国的自然保护地主要分布在山区，空间布局待进一步优化。**截至 2020 年，山地分布有国家公园、自然保护区、自然公园等各类自然保护地 6 300 余个，约占中国已建自然保护地总数的 60%；总面积为 115.99 万 km<sup>2</sup>（扣除重叠面积），占全国自然保护地总面积的 65.2%，占山地总面积的 17.4%。2021 年中国正式设立的首批 5 个国家公园均主要位于山地。自然保护地为约三分之二的国家重点保护野生动植物物种提供了重要天然栖息地，覆盖了山地优先保护生态系统类型总数的 86.9%，但仍

有少部分国家重点保护野生动植物栖息地与优先保护生态系统尚未得到保护，存在一定保护空缺，自然保护地空间布局需进一步优化。

**建议完善山地自然保护地空间布局。**针对目前山地生物多样性保护面临的主要问题，建议完善自然保护地空间布局，将尚未得到保护的国家重点保护动植物物种、优先保护生态系统类型及保护空缺区域纳入自然保护地网络。建议结合以国家公园为主体的自然保护地体系建设、自然保护地优化整合工作，在青藏高原、天山、太行山、南岭、长白山等野生动植物富集、生态系统代表性强、生态功能良好的山地区域推进国家公园设立与自然保护地优化布局，提升国家生态安全的保障能力。

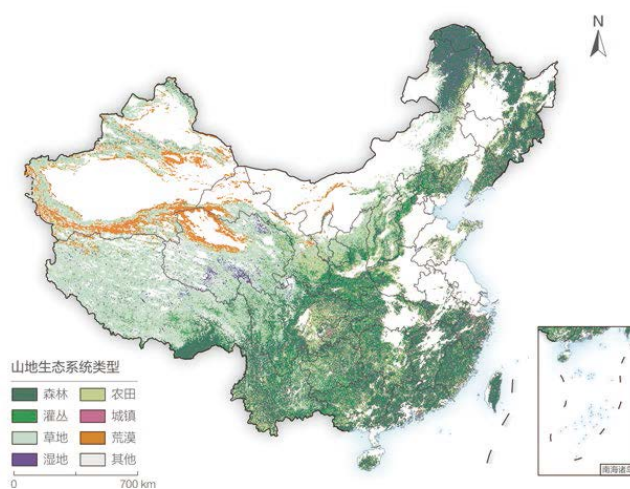


图 8-6. 2020 年中国山地生态系统类型分布图

外来入侵物种防控管理

外来入侵物种是公认的导致生物多样性丧失的主要因素之一，中国面临外来物种入侵威胁，部分外来入侵物种已入侵到森林、农田、河流、湿地、草原等各类生态系统。中国非常重视外来入侵物种管理，将其纳入《中华人民共和国生物安全法》。2022 年，农业农村部、自然资源部、生态环境部和海关总署联合发布《外来入侵

物种管理办法》，进一步厘清各部门职责分工，启动全国外来入侵物种普查，推动外来入侵物种联防联控。科学技术部在相关国家重大科研专项中启动了外来入侵物种基础研究和防控技术研发项目，地方政府也积极支持外来入侵物种防控，部分外来入侵物种得到有效控制。

外来入侵物种风险评估与防控管理

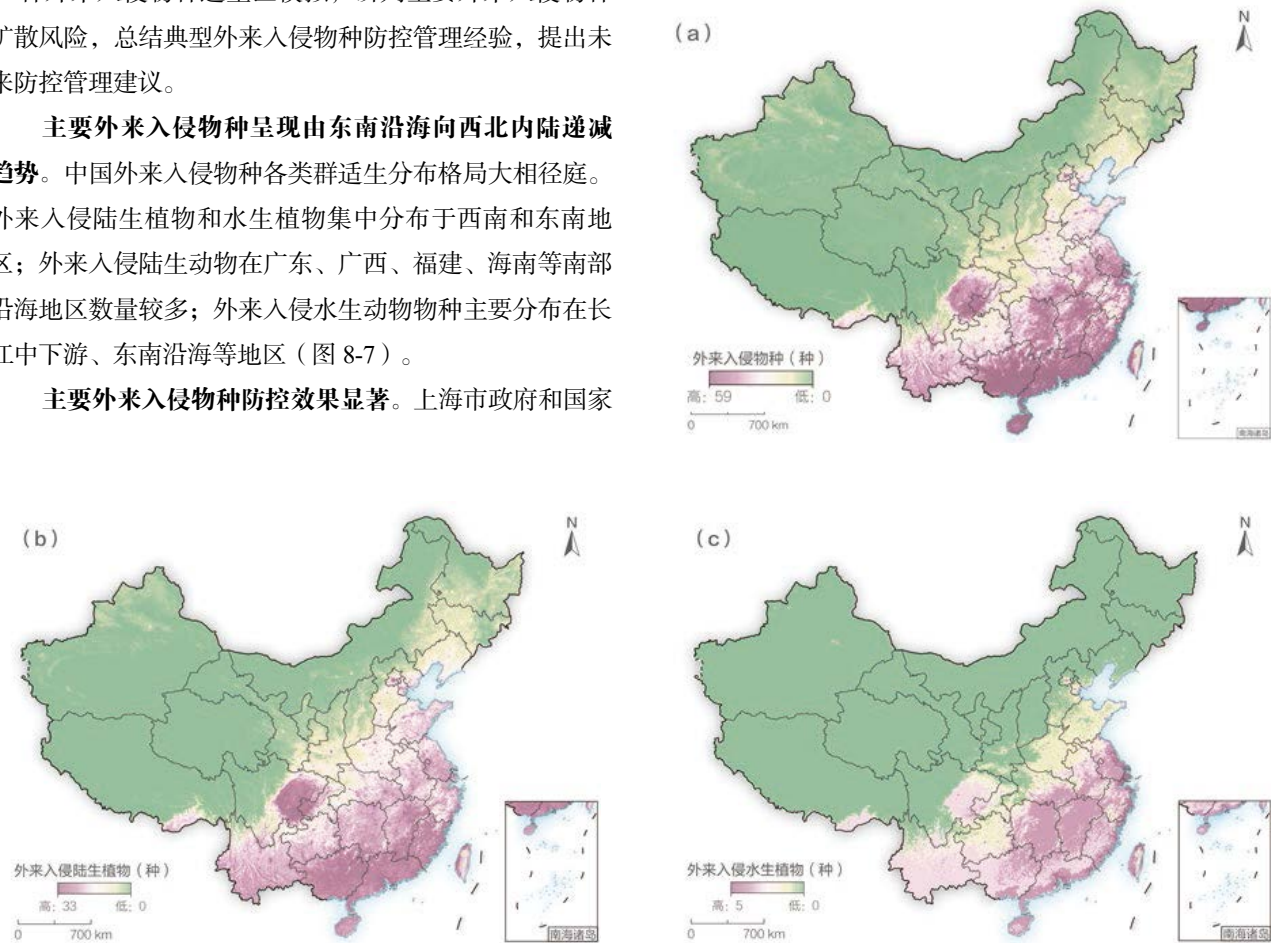
对应目标：15.8 到 2020 年，采取措施防止引入外来入侵物种并大幅减少其对土地和水域生态系统的影响，控制或消灭其中的重点物种

本案例以生态环境部公开发布的 71 种外来入侵物种为研究对象，基于公开发表的文献、专著、数据库及实地调查获取各物种分布信息，基于 MaxEnt 生态位模型完成 71 种外来入侵物种适生区模拟，研判主要外来入侵物种扩散风险，总结典型外来入侵物种防控管理经验，提出未来防控管理建议。

主要外来入侵物种呈现由东南沿海向西北内陆递减趋势。中国外来入侵物种各类群适生分布格局大相径庭。外来入侵陆生植物和水生植物集中分布于西南和东南地区；外来入侵陆生动物在广东、广西、福建、海南等南部沿海地区数量较多；外来入侵水生动物物种主要分布在长江中下游、东南沿海等地区（图 8-7）。

主要外来入侵物种防控效果显著。上海市政府和国家

林业和草原局投入 11.6 亿人民币实施“崇明东滩鸟类国家级自然保护区互花米草控制与鸟类栖息地优化工程”，摸索出了一套“围、割、淹、晒、种、调”的互花米草治





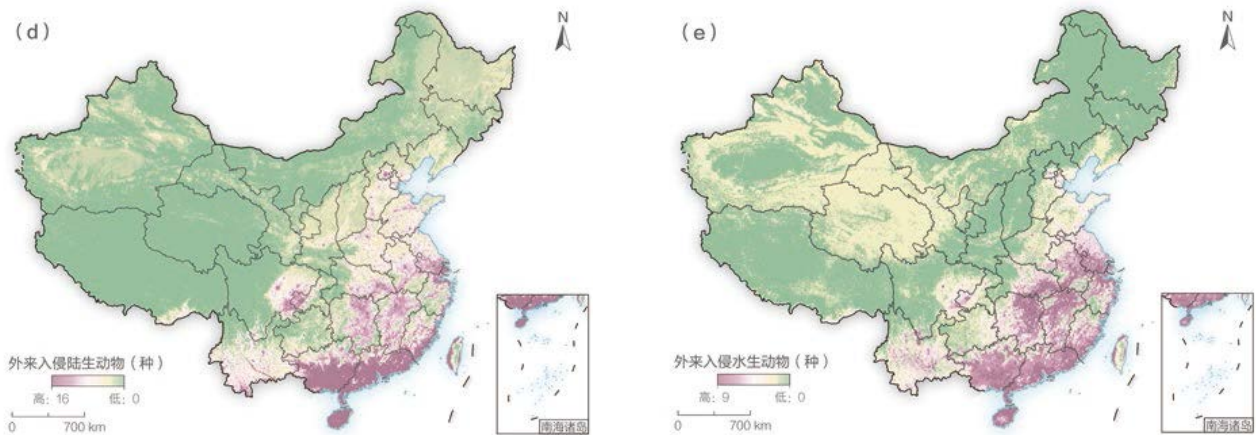


图 8-7. 中国主要外来入侵物种适生分布 (a) 外来入侵物种; (b) 外来入侵陆生植物; (c) 外来入侵水生植物; (d) 外来入侵陆生动物; (e) 外来入侵水生动物

理综合技术（图 8-8）。通过十年的努力，50 000 m<sup>2</sup> 生态修复示范区内互花米草得到有效控制，土著植物逐渐恢复，鸟类种群数量逐步回升，工程区内观测到的鸟类数量达到 83 149 只次，较 2016 年增加了 3 倍，23 种国家珍稀保护鸟类回归东滩越冬栖息，如东方白鹳、白头鹤、小天鹅、黑脸琵鹭等。为巩固防控修复成效，持续开展对示范区及周围互花米草监测，及时对零星斑块实施阻截防控，降低互花米草二次入侵风险。

对于中国范围内广泛分布的入侵植物豚草，实施生物防控与区域联控技术，构建豚草卷蛾和广聚萤叶甲生态位

互补的联合生物控制技术，在豚草发生区释放天敌有效控制豚草种群；构建超过 300 km 的阻截带，通过替代防控技术阻截豚草进一步扩散蔓延，防控范围达 19 个省，豚草得到有效控制。

**加强外来入侵物种联防联控。**建议加强外来入侵物种扩散路径和阻截技术研究，有效阻截外来入侵物种的扩散蔓延；加强外来入侵物种防控技术推广应用，实施联防联控，有效控制重大入侵物种，减缓外来入侵物种对生物多样性的影响。



图 8-8. 互花米草防控示范区鸟类种群数量恢复（图左），对零星斑块的阻截防控拦截前（图中）和拦截后（图右）



## 建议与展望

本章以“挖掘地球大数据价值，促进 SDG 15 落实”为出发点，从全球和中国（含典型地区）两个尺度分析了防治荒漠化与土地退化、保护山区生态系统及外来入侵物种防控管理 3 个主题相关的 SDG 15 指标的进展情况，研制了 3 个主题的关键空间数据产品，科学评估了荒漠化土地防治、自然保护区等重要工程与举措的多重效益，发展了集成中国可持续土地管理经验与空间数据产品的在线工具，可为全球与中国落实 SDG 15 提供重要支持。

基于本章研究，我们建议：

（1）针对 SDG 15.3 防治荒漠化与土地退化，开展高分辨率土地退化零增长本地化评估、高可信度土地退化评估指标公共产品研制、土地退化零增长报告 / 规划在线工具研发，以推动全球落实土地退化零增长目标。

（2）针对 SDG 15.1/SDG 15.4 生态系统保护，开展重要生物多样性变量（Essential Biodiversity Variables, EBVs）遥感监测、全球保护地保护成效评估与差距分析及生态系统 - 人类活动耦合机制研究，为落实“2020 年后全球生物多样性框架”提供支持。

（3）针对 SDG 15.8 外来入侵物种防控管理，加强中国外来物种入侵调查、监测与扩散机理研究，集成并推广外来入侵物种防控技术，为有效防治外来入侵物种提供支持。

未来，将充分利用大数据基础设施与前沿技术，在全球发展倡议的框架下，为更多国家、区域提供数据产品、决策分析等在线支持，并加强培训、人才培养等能力建设，将更好地服务于中国及其他国家 SDG 15 落实。









## SDG 多指标交叉与综合

|            |     |
|------------|-----|
| 背景介绍.....  | 115 |
| 主要贡献.....  | 116 |
| 主题研究.....  | 117 |
| 建议与展望..... | 121 |



## 成果亮点

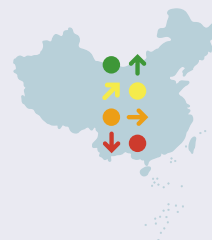
### SDG 多指标交叉

中国省级 SDG 多指标协同与权衡关系具有显著的时空差异。大部分地区，SDG 6 和 SDG 15 更容易受到其他目标的权衡作用；过去 20 年，中国各省份有约 27% 的权衡关系指标对转变为协同关系，另外有约 18% 的权衡关系指标对得到缓解；在协同循环网络中多次出现的指标，如国内物质消费（SDG 12.2.2）、水资源管理（SDG 6.5.1）、普及中小学教育（SDG 4.1.2）等，建议作为优先发展指标。



### SDGs 综合评估

中国不同区域可持续发展水平总体持续向好。2015 年以来，海南省生态文明建设取得较大进步，其中 SDG 15 得分较高，SDG 2 和 SDG 11 提升显著；云南省临沧市评价的 70 个 SDG 指标中有 81% 已取得进展或有望实现目标；广西壮族自治区桂林市的生态旅游资源可持续发展指数由 2010 年的 0.46 提高到 2020 年的 0.71；广东省深圳市陆地生态系统总值年均增长率为 2.29%。





## 背景介绍

联合国可持续发展目标（SDGs）之间存在复杂的交叉关系。这种交叉关系主要体现为相互之间的协同与权衡：协同关系是指特定目标的实现同时促进其他目标的改善，专指目标间的相互促进关系；权衡关系是指某个目标的实现以牺牲其他目标为代价，专指目标间的相互制衡关系。此外，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，如何跟踪并理解目标及指标间的交叉关系，开展 SDGs 综合评估，对于实现 2030 年可持续发展议程，动态调整可持续发展路径具有重大意义。

自 SDGs 提出以来，相关组织和学术界已经在不同尺度开展了 SDG 多指标交叉与综合研究（Sachs *et al.*, 2022; UNEP, 2021a）。地球大数据集卫星观测、近地面观测和地面调查等多源数据，具备海量、多源、多时相等特征，可为 SDGs 监测与评价提供重要的数据和技术支撑（郭华东, 2019; 2020a; 2020b）。一方面，地球观测数据和地理信息数据为传统官方统计数据提供了重要

补充或替代，其连续的空间和时间覆盖可以在可持续发展目标监测中及时捕捉地表要素的变化，克服统计数据在不同国家地区的标准和质量不一致等问题；另一方面，基于空间分析等技术的地理信息建模与模拟手段可以帮助梳理目标间相互作用关系，预测未来发展走势，开展综合性评估，从而为政策建议的动态调整提供依据。

去年的报告中，我们初步探索了地球大数据支撑 SDG 多指标交叉的研究方法，发现 SDG 指标间的交叉关系，在不同空间与时间尺度上是不断变化的。为此，需要在不同空间尺度上挖掘 SDG 多指标间的协同与权衡关系，并研究其在时间尺度上的变化趋势。同时，针对不同区域的可持续发展评估需要结合当地特色，将社会、经济、自然禀赋特征纳入综合考虑，才能真正探寻出适合自身特色的可持续发展实现路径。今年的报告中，我们将从中国省级层面挖掘 SDG 指标间的协同与权衡关系，评估中国典型区域可持续发展进程，以期为区域可持续发展路径的实施提供决策支撑及示范参考。





## 主要贡献

本章通过两个案例分析了地球大数据支撑 SDG 多指标交叉与综合研究方向的进展情况，主要贡献如下（表 9-1）。

| 表 9-1 案例名称及其主要贡献 |                                                    |                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 对应主题             | 案 例                                                | 贡 献                                                                                                                                                                                                              |
| SDG 多指标交叉        | 中国 SDG 多指标间协同与权衡关系分析                               | <p><b>方法模型：</b>采用时空地理加权回归方法，构建 SDG 多指标间带有方向和权值的复杂网络，挖掘 SDG 指标间协同与权衡关系及变化趋势</p> <p><b>决策支持：</b>为中国各省份科学确立优先发展目标，缓解发展中存在的 SDG 指标权衡问题提供决策参考</p>                                                                     |
| SDGs 综合评估        | 中国典型区域 SDGs 综合评估<br>(海南省、云南省临沧市、广西壮族自治区桂林市、广东省深圳市) | <p><b>方法模型：</b>针对不同区域可持续发展特色，分别构建特色可持续发展评估指标体系，开展 SDGs 区域综合评估</p> <p><b>决策支持：</b>对“国家生态文明试验区”海南省、“边疆多民族欠发达地区创新驱动发展”示范区云南省临沧市，“景观资源可持续利用”示范区广西壮族自治区桂林市，“创新引领超大型城市可持续发展”示范区广东省深圳市可持续发展目标的实现提供决策支持，并为同类地区提供示范参考</p> |



## SDG多指标交叉

现有 SDG 指标间协同与权衡关系分析主要为统计上的正相关和负相关, 往往忽视了 SDG 指标的地理时空差异性和 SDG 指标间相互作用的方向性。基于地球大数据的地理时空分析方法, 考虑 SDG 指标的时空非平稳

性,采用时空地理加权回归和复杂网络分析等方法,挖掘 SDG 指标间交互作用的时空变化特征,为政策的制定提供决策参考。

## 中国SDG多指标间协同与权衡关系分析

基于 2000~2020 年 31 个省级行政区 65 个 SDG 指标数据,采用时空地理加权回归方法,构建 SDG 多指标间带有方向和权值的复杂网络,识别每个省份典型协同/权衡指标对,分析中国各省份权衡关系指标对的转变情况,探寻中国各省份的典型良性循环,优选促进 SDGs 协同发展的重要指标。

**中国省级尺度 SDG 多指标协同与权衡关系具有空间差异性, SDG 6 和 SDG 15 更容易受到其他 SDGs 的权衡作用。中国西南和南部地区 SDG 9 (产业、创新和基础设施) 对 SDG 11 (可持续城市和社区) 具有协同促进**

作用，东北地区 SDG 11（可持续城市和社区）对 SDG 15（陆地生物）具有权衡抑制作用（图 9-1）。大多数省份都表现为 SDG 6（清洁饮水和卫生设施）和 SDG 15（陆地生物）更容易受到其他目标的权衡作用。因此，中国可持续发展进程中需要提高水资源管理精细化水平，加强陆地生态系统保护。

2000~2020 年，中国各省级行政区 27.02% 的权衡关系指标对转变为协同关系，18.30% 的权衡关系指标对得到缓解。权衡变协同的指标对中，SDG 3（良好健康与福祉）对 SDG 15（陆地生物）的变化范围最广，这主要

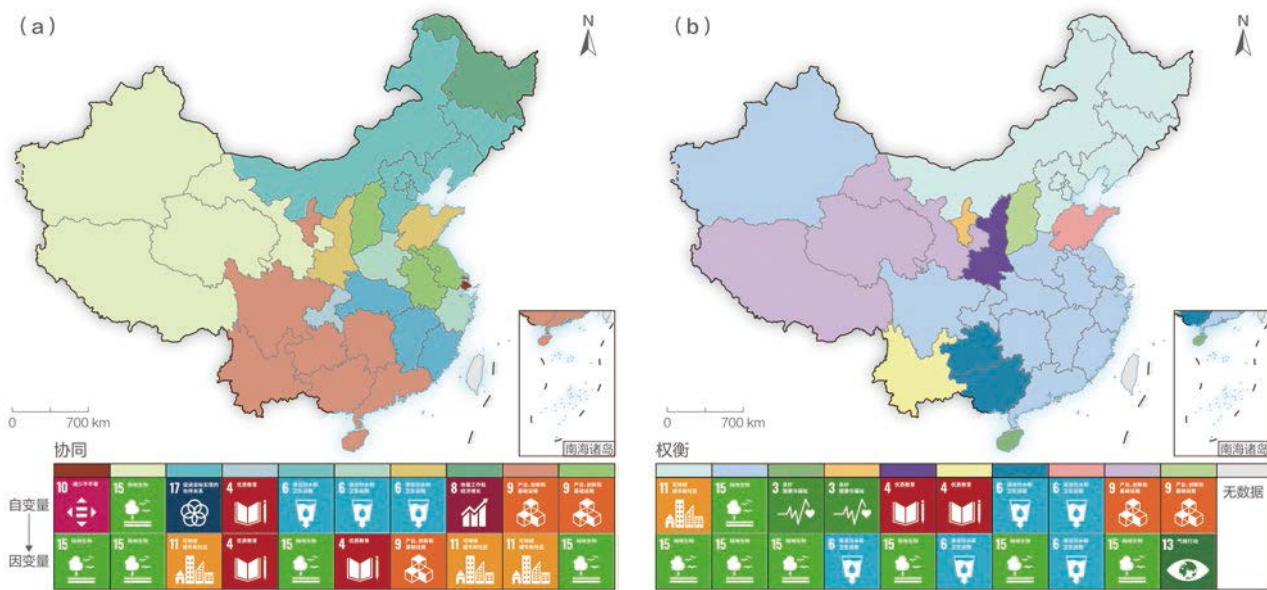


图 9-1. 中国典型协同 / 权衡目标对空间分布图



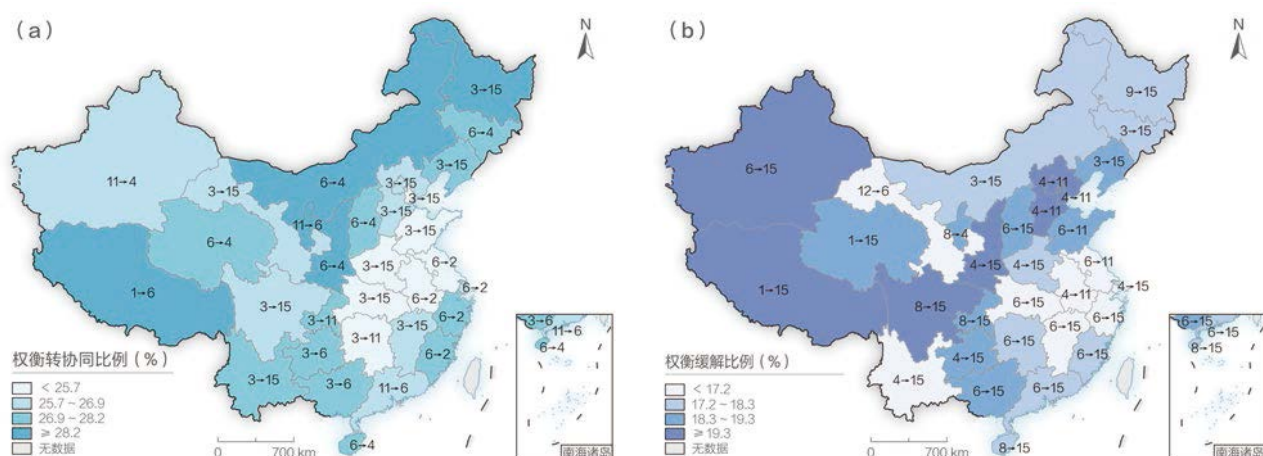
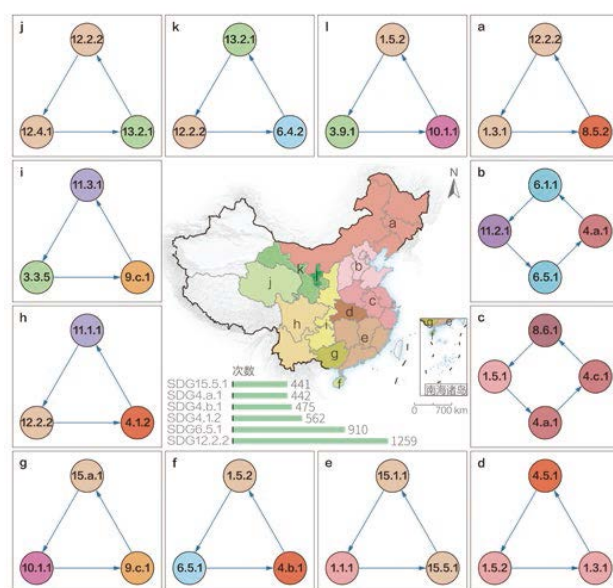


图 9-2. 中国各省份指标对权衡关系缓解情况 (符号“→”表示为典型的 SDG 指标对及其作用方向)

得益于中国大气污染防治法的实施和绿色低碳生活意识的普及。其次, SDG 6 (清洁饮水和卫生设施) 对 SDG 2 (零饥饿) 在长三角地区变化较为明显, 这主要得益于该地区加强水资源管理配置, 实施节水灌溉, 提高耕地灌溉面积和粮食产量等措施。在权衡强度降低的指标对中, 有 23 个省份表现为 SDG 15 受到其他目标的权衡强度减弱, 比如《水污染防治行动计划》的实施, 使得中国各水资源大省水源安全得到基本保障, 水生态恢复良好, 地下水水质改善明显, 促进了 SDG 6 对 SDG 15 的协同发展 (图 9-2)。

**建议将国内物质消费（SDG 12.2.2）、水资源管理（SDG 6.5.1）、普及中小学教育（SDG 4.1.2）等作为优先发展指标。**协同网络中的闭环是一种良性循环，优化循环中的某一个指标可以促进循环中所有其余指标的协同发展。分析结果表明，这种良性循环网络具有空间聚集特征。优化能源生产和消费模式（SDG 12.2.2）、加强水资源综合管理（SDG 6.5.1）、加大教育投资和教育

设施建设（SDG 4.1.2，SDG 4.b.1，SDG 4.a.1）能够更科学高效地促进 SDGs 协同发展（图 9-3）。



↑图 9-3. 中国典型良性循环指标空间分布图

## SDGs 综合评估

由于自然资源禀赋、社会经济发展水平的差异，使得不同区域面临不同的可持续发展路径。开展 SDGs 综合评估可以系统梳理不同区域的特色 SDG 指标，评估区

域整体及内部不同空间单元的可持续发展现状，探索不同区域可持续发展实现路径，为区域可持续发展实现提供决策指导，并为相似地区提供示范参考。

## 中国典型区域SDGs综合评估

2018 年以来，中国先后在广东省深圳市、广西壮族自治区桂林市、云南省临沧市等地设立国家可持续发展议程创新示范区，为全球可持续发展提供中国经验。2019 年，中国将海南省设立为国家生态文明建设试验区，为增添绿色发展动能、探索生态文明建设提供示范参考。不同区域拥有不同的可持续发展特色主题。其中，临沧市以边疆多民族欠发达地区创新驱动发展为主题，深圳市以创新引领超大型城市可持续发展为主题，桂林市以景观资源可持续利用为主题。本案例基于地球大数据技术，结合不同区域 SDG 指标相关统计数据，针对上述四个典型地区，分别构建区域可持续发展评估指标体系，参考联合国可持续发展解决方案网络（UN-SDSN）的指标量化评估方法（Sachs et al., 2022），开展 SDGs 综合评估。

海南省在生态文明建设上取得较大进步，其中 SDG 15 得分较高，SDG 2 和 SDG 11 提升显著，但各县市间

存在差距。2015~2020 年，海南省各县市可持续发展目标得分整体呈上升趋势，参与评估的 18 个县市中（不含三沙市），14 个县市得分明显提升，2 个县市（海口市、定安县）得分无明显变化，2 个县市（屯昌县、临高县）在单个目标上得分略有降低（图 9-4）。相较于 2015 年，2020 年 SDG 2（零饥饿）总体有提升，但仍有改善空间。SDG 8（体面工作和经济增长），SDG 11（可持续城市和社区），SDG 6（清洁饮水和卫生设施）明显改善，SDG 15（陆地生物）指标保持较高水平，初步实现了生态环境与社会经济协调发展。临高县和屯昌县社会经济指标（如，农村居民可支配收入（SDG 2.3）和人均 GDP（SDG 8.1））以及环境指标（如 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 和空气优良天数的聚合值（SDG 11.6））方面均有所提升。整体而言，海南省在生态环境方面的保护成效较好，但仍有部分地区存在提升空间。

云南省临沧市经济社会与生态环境更加协调发展，后续建议优先实施有助于巩固拓展山地区域脱贫攻坚成果、持续提升区域医疗健康水平的相关政策。2015~2020 年，云南省临沧市 SDGs 发展较好，评价的 70 个指标中有 81% 的 SDG 指标已取得进展或有望实现目标。生态环境相关的 SDG 指标发展基本保持稳定，社会经济相关的 SDG 指标增长显著。2020 年，全市 GDP 增长 3.7%，全市 9.4 万户合计 36.9 万贫困人口全部脱贫。全市森林覆盖率达 70.2%，森林资源呈现量质齐增的良好局面，退耕还林取得重大成果，成为全国林草高质量发展的示范样板（图 9-5）。临沧市可持续发展指标间协同关系（占比 39.63%）显著高于权衡关系（占比 5.49%）。SDG 1（无贫穷）和 SDG 3（良好健康与福祉）的协同互动最为突出，SDG 12（负责任消费和生产）和 SDG 13（气候行动）的权衡互动最为明显。临沧市属于经济欠发达地区，建议优先实施有助于巩固拓展山地区域脱贫攻坚成果、持续提升区域医疗健康水平的相关政策，同时加大陆地和



图 9-4. 2020 年海南省各县市 SDGs 综合评估结果（不含三沙市）



水生生态系统保护、提升协同中心性较高指标的发展水平，充分发挥各目标、指标的协同效应，提升临沧市区域可持续发展水平，探索欠发达山区可持续发展的临沧模式，为中国西南地区及南亚、东南亚类似区域的可持续发展提供经验。

**桂林市漓江流域景观资源可持续发展指数持续上升，为存在生态保护与经济发展矛盾的旅游型城市可持续发展提供经验参考。**从桂林市漓江流域生态旅游资源可持续发展指标间的权衡与协同响应关系可以看出（图 9-6），水安全（SDG 6）、环境保护（SDG 15）与经济可持续增长（SDG 8）、可持续城市和社区（SDG 11）之间的权衡关系较大，权衡网络性较高的是城市细颗粒物比例（SDG 11.6.2）、物质消费占比（SDG 8.4.2）、森林覆盖情况（SDG 15.4.1）、生物多样性保护投入（SDG 15.a.1）、水体面积（SDG 6.6.1）、生物多样性重要场所占比（SDG 15.1.2）。协调好权衡性较高的 SDG 指标，并以此为政策落脚点，有利于推进桂林的可持续发展。2010~2020 年桂林市漓江流域生态旅游可持续发展指数平均值从 0.46 提高到 0.71。2010~2015 年进展较快；2020 年以来，受新冠肺炎疫情疫情影响，旅游收入受到冲击，但依托提升流域内居民就业水平（SDG 12.b）、改善人民生活（SDG 1.1.1）、合理开发旅游地景观资源（SDG 15.4.1）等措施，示范区仍然延续了漓江流域景观资源可持续性的上升趋势，可为新冠肺炎疫情影响下，其他旅游型城市可持续发展提供决策参考。

**广东省深圳市通过构建集成 SDG 多指标的生态系统总值核算体系，为超大型城市规划提供支持工具，为有效破解“大城市病”提供示范参考。**2016~2020 年，广东省深圳市生态系统总值（Gross Ecosystem Product, GEP）年均增长率为 2.29%，其中维持城市生态安全的调节服务类生态产品价值始终保持稳定增长，增速为 3.41%。深圳市 2020 年 GEP 空间分布如图 9-7 所示，通过优先利用 GEP 低值区域进行地硬化，到 2025 年城市建设发展目标下，深圳市可将 GEP 损失从 39.40 亿元/年降低到 5.72 亿元/年；采用立体绿化、老城更新等方式增加城市绿地，仅内涝削减和气候调节两项生态服务增加价值就高达约 62 亿元/年；通过提升生态空间服务能力和土地使用效率，可有效提升深圳市生态系统服务价值，以道路广场海绵工程为例，在充分开展道路与广场海绵工程建设后，工程存续期（10 年）的洪涝削减服务价值累计约 23.8 亿元。

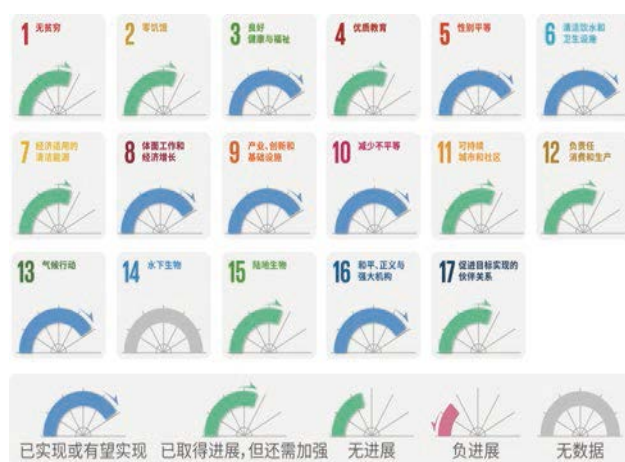


图 9-5. 临沧市 SDGs 发展进程

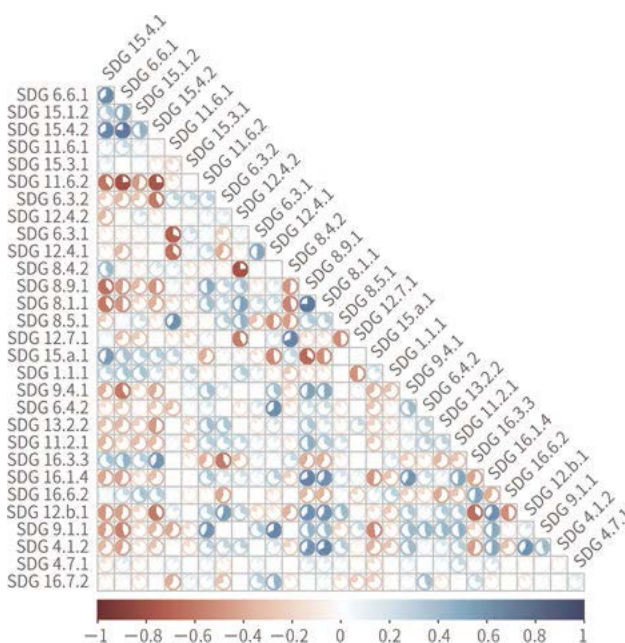


图 9-6. 漓江流域生态旅游资源可持续发展指标相关性热力图（从 -1 到 1 分别表示强权衡到强协同）

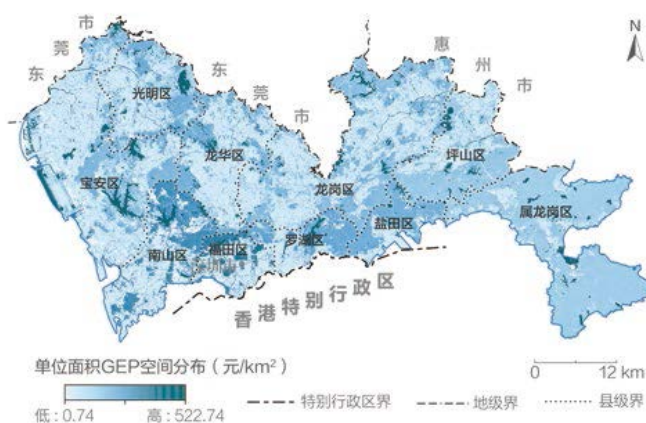


图 9-7. 2020 年深圳市 GEP 空间分布图



## 建议与展望

本章在中国省级尺度开展了 SDG 多指标协同与权衡关系分析及典型区域 SDGs 综合评估。发现中国省级行政区 SDG 多指标协同与权衡关系具有显著的时空差异，中国不同区域可持续发展水平总体持续向好。本章结论可为中国不同特色区域，科学确立优先发展目标，缓解发展中存在的 SDG 指标权衡问题，优化可持续发展路径提供决策参考。但是，由于所用 SDG 指标数据的局限性、SDG 多指标间交叉关系的复杂性，本章的分析结果可能会存在一定的局限。

基于本章研究，我们建议：

（1）深化 SDG 多指标交叉分析方法研究，利用地球大数据的空间分析、深度学习等方法挖掘不同 SDG 指标间的协同与权衡关系及其空间溢出效应，为 SDG 多指标交叉与综合研究提供方法参考。

（2）强化 SDG 多指标交叉作用下未来可持续发展的情景模拟研究，通过 SDG 指标与其他社会、经济、环境要素的相互作用演化的驱动机制探索，为区域协调高质量发展提供路径指引。

（3）开展非空间统计 SDG 指标的空间化分解研究，基于人口、土地利用等空间数据将其他非空间统计 SDG 指标空间化，从而实现具有高空间解析度的 SDGs 综合评估，为不同区域内部 SDGs 实现路径的精细化决策建议提供技术支撑。

SDG 多指标交叉和综合研究是探索优化区域可持续发展实施路径，综合评估区域可持续发展进程的重要手段。中国各区域在实施可持续发展过程中需要关注社会经济类指标与环境类指标可能产生的权衡作用，促进具有协同关系指标对的共同实现。



## 总结与展望

### 一、总结

本报告针对七个 SDGs（零饥饿、清洁饮水和卫生设施、经济适用的清洁能源、可持续城市和社区、气候行动、水下生物和陆地生物）及 SDG 多指标交叉与综合，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 SDG 指标评估的案例研究。

在数据产品方面，研制了全球与中国尺度的数据产品 31 套。部分产品弥补了 SDG 指标监测的数据空缺，例如：全球 30 万以上人口城市建成区范围、世界遗产地边界、全球沙丘（地）空间分布、中国农田耕层土壤碳密度空间分布、中国各省地下水水质变化状况、中国各省用水紧张程度、中国外来入侵物种扩散风险等数据集；另有部分产品提升了 SDG 指标监测与评估的空间精细度，例如：全球 30 m 分辨率复种指数、全球 1 km 分辨率高温热浪、全球 500 m 分辨率建筑物通电状况、全球 250 m 分辨率城市绿度、中国 0.5° 网格地下水储量变化、中国 10 m 分辨率滨海滩涂空间分布等数据集。

在方法模型方面，构建了基于地球大数据的方法模型 21 种。部分方法模型解决了 SDG 指标监测方法缺失的问题，例如：基于多源数据并结合作物生长过程的水分利用效率评估方法、融合重力卫星与地下水位数据的协同正演模型等；部分方法模型为 SDG 评估提供了优化解决方案，例如：集成分类算法及机器学习模型的土壤盐渍化程度监测方法、水资源开发与保护可持续状态指

数、综合运用自组织映射神经网络和逐步前反馈神经网络的全球大洋碳通量估算方法等。此外，在 SDG 多指标交叉与综合方面，通过时空地理加权回归方法，挖掘了 SDG 指标间协同与权衡关系，通过构建不同区域特色可持续发展评估指标体系，开展了 SDGs 区域综合评估。

在决策支持方面，通过结合以上数据与方法，开展了可持续发展指标时空分析，提供了支持全球和中国可持续发展的决策建议 33 项。针对 SDG 2，为粮食增产、盐碱地改良应用、种植业可持续生产、农业碳减排政策等提供了决策支持；针对 SDG 6，为水质治理、涉水相关产业结构调整、水资源综合管理、水资源开采利用等提供了决策支持；针对 SDG 7，为电气化政策制定和投资、国际能源合作与培训等提供了决策支持；针对 SDG 11，为提高城市土地利用效率、减少城市灾害、提升城市绿色空间等提供了决策支持；针对 SDG 13，为减少涝渍害损失、构建减灾体系、强化气候变化教育等提供了决策支持；针对 SDG 14，为近海富营养化防控、珊瑚礁环境保护、围填海管控等提供了决策支持；针对 SDG 15，为沙丘（地）固定、土地退化预警、山区生态系统保护、防止外来物种入侵等提供了决策支持。此外，还通过 SDG 多指标交叉与综合评估，为中国不同特色区域科学确立优先发展目标、缓解发展中存在的 SDG 指标权衡问题、优化可持续发展路径提供了决策参考。

### 二、展望

过去四年多时间，中国科学院在 SDG 指标监测与评估方面进行了探索性研究（郭华东，2019；2020a；2020b），发现地球大数据在支持众多 SDGs 实现方面具有较高的应用潜力和推广价值，但也面临诸多挑战，如指标评估所依赖的时空多类型数据的缺失、数据共享标准不一、数据安全性无法有效保障等。为促进联合国 2030 年可持续发展议程实现，建议未来重点开展以下

工作。

#### 1. 构建全球可持续发展目标协同观测网络

全球卫星发射数量正在呈上升趋势，卫星及应用产业持续快速增长。2021 年 11 月 5 日，中国成功发射了全球首颗可持续发展科学卫星“SDGSAT-1”，并将面向全球公开共享。为切实服务 2030 年议程“不让任何人掉队”的核心承诺，建议加快构建 SDGs 协同观测网络，

提升空间观测综合服务保障能力，进一步形成规范化的国际 SDGs 空间观测体系，共同为应对发展不平衡和缩小数字鸿沟提供数据支撑。

## 2. 提升可持续发展目标评估的时空维度

统计调查是获取全球 SDGs 监测和评估数据的主要方法，但由于全球各国统计调查制度和能力的差异，全球统计调查数据存在质量参差不齐、时间空间维度量化不足、部分发展中国家数据缺失等问题。建议充分利用地球大数据等技术手段来扩展 SDGs 数据获取方法，通过开放数据存储与计算设施，采用先进的数据处理方法，获取高质量、时空一致的全球 SDGs 数据，提升可持续发展目标评估的及时性和准确性。

## 3. 分享可持续发展目标监测公共数据产品

当前，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。需要尽快完善集成数据应用与开放服务的新型信息基础设施，提供 SDGs 数据资源实时获取、按需汇聚、融合集成、开放共享与分析等服务，为全球 SDGs 实现提供公共数据服务产品。

## 4. 加强大数据支撑可持续发展目标实现示范研究

由于自然资源禀赋、社会经济发展水平的差异，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能够为不同区域可持续发展目标实施进程评估提供重要支撑。建议进一步加大地球大数据支撑可持续发展目标实现的示范研究，探索构建不同空间尺度的可持续发展指标体系，形成具有不同区域特色的可持续发展创新综合示范系统，为全球可持续发展目标实现提供示范参考。



## 数据源

### 遥感监测数据

1992~2021 年全球 1 km 分辨率夜间灯光数据. [https://figshare.com/articles/dataset/Harmonization\\_of\\_DMSP\\_and\\_VIIRS\\_nighttime\\_light\\_data\\_from\\_1992-2018\\_at\\_the\\_global\\_scale/9828827/7](https://figshare.com/articles/dataset/Harmonization_of_DMSP_and_VIIRS_nighttime_light_data_from_1992-2018_at_the_global_scale/9828827/7)

2000~2019 年 1 km 分辨率全国三大粮食作物种植分布数据集. <http://www.nesdc.org.cn/sdo/detail?id=627dfc4b7e28172589c2df9b>

2000~2019 年全球 30 m 分辨率耕地分布与变化数据集. <https://glad.umd.edu/dataset/croplands/>

2000~2020 年中国 5 km 分辨率基于叶绿素荧光反演的总初级生产力数据. <https://globalecology.unh.edu/data/GOSIF-GPP.html>

2005~2020 年 GRACE 陆地水储量变化数据. <http://grace.jpl.nasa.gov>

2010~2020 年 GPM 降水数据. [https://gpm1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data/GPM\\_L3/GPM\\_3IMERGM.06/](https://gpm1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data/GPM_L3/GPM_3IMERGM.06/)

2010 年、2020 年全球地表覆盖 GlobeLand30 数据. <http://www.globallandcover.com/>

2010~2020 年中国土地利用数据. <http://www.dsac.cn/DataProduct/Index/200804>

2015~2020 年中国城市社区景观数据. <https://geoscape.pku.edu.cn/>

2015~2020 年 GUB 城镇边界数据. <http://data.ess.tsinghua.edu.cn/>

2015~2020 年 WorldPop 数据. <https://www.worldpop.org/>

2016~2018 年全球 30 m 分辨率耕地分布和复种指数数据. <https://doi.org/10.7910/DVN/86M4PO>

2020 年中国 1 km 分辨率土地利用数据集. <https://www.resdc.cn/>

2020 年全球 10 m 分辨率土地覆盖数据. <https://viewer.esa-worldcover.org/worldcover/>

CASEarth 2010~2020 年 ETMonitor 蒸散发数据. <https://data.casearth.cn/sdo/detail/6253cddc819aacc49731a4bc2>

CASEarth 全球土地覆盖 GLC\_FCS30 数据. <https://data.casearth.cn/>

CAS Mangroves 2.0 数据集. <http://www.geodata.cn/thematicView/wetland2020.html>

MODIS 反射率产品. <https://ladsweb.nascom.nasa.gov/search>

NPP 年度夜光影像. [https://eogdata.mines.edu/nighttime\\_light/annual/v20/](https://eogdata.mines.edu/nighttime_light/annual/v20/)

OISST 卫星遥感海表面温度数据. <https://www.ncei.noaa.gov/products/optimum-interpolation-sst>

WDPA 数据集. <https://www.protectedplanet.net/en/thematic-areas/wdpa>

可持续发展科学卫星遥感影像数据. <http://124.16.184.48:6008/home>

高分一号卫星遥感影像数据. <http://www.cresda.com/CN/>

陆地卫星遥感影像数据. <https://www.earthdata.nasa.gov/>

欧盟全球建筑区分布数据. <https://ghsl.jrc.ec.europa.eu/download.php?ds=bu>

全球土地覆盖 GLCS-LC100 产品. <https://land.copernicus.eu/global/products/lc>

全球土地覆盖 GLC2000 产品. <https://forobs.jrc.ec.europa.eu/products/glc2000/products.php>

全球粮食安全支持分析数据. <http://geography.wr.usgs.gov/science/croplands/>

全球农业生态分区数据. <http://cloud.cropwatch.com.cn/>

全球农业生态分区模型第四版（GAEZ4.0）雨养条件下潜在复种分区数据. <https://gaez.fao.org/pages/data-viewer>

哨兵卫星遥感影像数据. <https://scihub.copernicus.eu/>

中国海洋一号 C、D 卫星反射率产品. <https://osdds.nsoas.org.cn/>

### 实地观测数据

1992~2020 年海表温度和盐度数据. <https://www.ecco-group.org>

1992~2020 年海冰覆盖率数据（ERA5 数据产品）. <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5>

1992~2020 年全球大气二氧化碳混合比数据. [https://space.oscar.wmo.int/variables/view/co2\\_column\\_average\\_dry\\_air\\_mixing\\_ratio](https://space.oscar.wmo.int/variables/view/co2_column_average_dry_air_mixing_ratio)

1955~2021 年全球海洋温度、盐度、层结格点观测数据集. 来源：中国科学院大气物理研究所

2000~2020 年中国气象要素（如降水量、辐射等）数据。来源：中国气象局国家气象信息中心

2005~2020 年地下水位监测数据。来源：中国地质环境监测地下水年鉴

2009~2019 年东北黑土区表土总有机碳含量。http://doi.org/10.11666/00073.ver1.db

Argo 浮标观测数据。https://argo.ucsd.edu/

NOAA Greenhouse Gas Marine Boundary Layer Reference 产品。来源：美国海洋和大气管理局（https://gml.noaa.gov/ccgg/mb/mb.php）

全球海洋现场观测数据集。来源：美国海洋和大气管理局全球海洋信息中心（https://www.ncei.noaa.gov/products/world-ocean-database）

中深海遥感数据集（DORS）。http://www.doi.org/10.57760/sciencedb.01918

## 统计数据

1970~2000 年生物气候变量数据。http://worldclim.com/version2

1978~2016 年中国省域尺度种植业碳排放量评估数据。https://springernature.figshare.com/collections/China\_s\_Agricultural\_Greenhouse\_Gas\_Emissions\_1978-2016/5216528

1989~2016 年台风数据。来源：UNISYS Weather（http://weather.unisys.com/hurricane）

1989~2020 年台风灾害数据。来源：中国海洋灾害公报（https://www.mnr.gov.cn/sj/sjfw/hy/gb/gg/zghy/zhgb/）

1991~2021 年中国太阳能利用援外培训数据集。来源：甘肃自然能源研究所

2000~2020 年中国 31 个省级行政区统计数据。来源：中国国家统计局

2010~2020 年中国水资源公报数据。http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/szygb/

2010~2021 年中国年末总人口、国内生产总值统计数据。来源：中国国家统计局

2010~2022 年中国国家级和省级的防灾减灾政策数据。来源：科技政策汇（http://policybank.las.ac.cn/policy22-list）

2013 年、2017 年全国及 31 个省、自治区、直辖市卫生健康事业发展情况和居民健康水平的统计数据。来源：中国国家卫生健康委员会

2015 年、2020 年《中国城市建设统计年鉴》。来源：中国住房和城乡建设部

2015~2020 年国家 GDP 和人口数据。https://data.un.org/en/index.html

2016 年、2021 年《中国统计年鉴》。来源：中国国家统计局

2017 年、2020 年《全国水文统计年报》水文站、地下水站数据。http://www.mwr.gov.cn/sj/tjgb/swxytjnb/

2017~2020 年台风数据。来源：Japan Meteorological Agency（https://www.jma.go.jp/jma/indexe.html）

2020 年全国自然保护区分布数据。http://www.gisrs.cn/minidata?id=b97bf798-5873-496c-bd59-b07365431a54

2020 年 WorldPop 无约束全球人口栅格数据。https://www.worldpop.org/

2020 年 Landscan 全球人口栅格数据。https://landscan.ornl.gov/

2020 年 GPW V4 全球人口栅格数据。https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/collection/gpw-v4

第一批和第二批光伏扶贫补助目录。来源：中国财政部（http://jjs.mof.gov.cn/tongzhigonggao/201903/t20190328\_3208265.htm）

第三批光伏扶贫补助目录。来源：中国财政部（http://jjs.mof.gov.cn/tongzhigonggao/202002/t20200224\_3473549.htm）

第三次、第四次、第五次全国荒漠化和沙化监测数据。来源：中国国家林业和草原局

各国通电率数据、人口数据、人均用电量数据、可再生能源发电占比数据、受脆弱和冲突影响的国家列表。来源：世界银行（https://data.worldbank.org.cn/indicator）

光伏扶贫效益数据。来源：中国国家能源局（http://www.nea.gov.cn/2021-03/30/c\_139846095.htm）

海洋 WOA 气候态数据集。来源：美国国家海洋和大气管理局（https://www.ncei.noaa.gov/products/world-ocean-atlas）

《桂林经济社会统计年鉴》。https://www.yearbookchina.com/navibooklist-n3020013073-1.html.

《临沧市统计年鉴》，《临沧市水资源公报》，《临沧市国民经济和社会发展统计公报》。来源：临沧市统计局信息公开专栏（http://www.lincang.gov.cn/zdbm/lcstjj/xxgss/xxgkzn.htm）

全球通量网观测数据。https://fluxnet.org/data/fluxnet2015-dataset/

全球电站数据库。来源：世界资源研究所（http://datasets.wri.org/dataset/globalpowerplantdatabase）

世界银行发布的国家收入水平分类（2020~2021）。https://blogs.worldbank.org/zh-hans/opendata/new-world-bank-



country-classifications-income-level-2020-2021

中国四种粮食作物（水稻、小麦、玉米和大豆）单产数据。  
来源：中国国家统计局

中国海外能源融资数据库。来源：全球发展政策研究中心  
(<https://www.bu.edu/cgef/#/all/Country>)

中国境外工程项目数据集。来源：中国科学院空天信息创新研究院

中国土壤类型空间分布数据。 <https://www.resdc.cn/lds.aspx>

### 模型模拟数据

1992~2020 年风速数据。 <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/ccmp-cross-calibrated-multi-platform-wind-vector-analysis>

2000~2020 年全球 1 km 分辨率 PM<sub>2.5</sub> 密度数据。 <https://acp.copernicus.org/articles/20/3273/2020/>

2000~2020 年全球 1 km 分辨率 CO<sub>2</sub> 排放量数据。 <https://db.cger.nies.go.jp/dataset/ODIAC/>

2010~2020 年 Water GAP v2.2d 水文模型模拟用水数据。  
<https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.918447>

2021~2060 年 FGOALS-g3 模式输出的气候变化情景逐日数据（最高气温、最低气温、降水和辐射）。 <https://data.ceda.ac.uk/badc/cmip6/data/CMIP6/ScenarioMIP/CAS/FGOALS-g3/>

全球月时间尺度降雨量数据。来源：全球降水气候学计划  
(<http://gpcp.umd.edu/>)

中国月时间尺度 1 km × 1 km 分辨率日照时数数据集。来源：国家地球系统科学数据中心 (<http://www.geodata.cn>)

中国土地利用现状（水田类型）及 1 km × 1 km 分辨率农田熟制遥感监测数据集。来源：中国科学院资源环境科学与数据中心 (<https://www.resdc.cn/>)

## 缩略词

|           |                                                                                                                                         |                              |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| 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               |
| CZI       | Coastal Zone Imager                                                                                                                     | 海岸带成像仪                       |
| DEM       | Digital Elevation Model                                                                                                                 | 数字高程模型                       |
| DIN       | Dissolved Inorganic Nitrogen                                                                                                            | 溶解无机氮                        |
| DIP       | Dissolved Inorganic Phosphorus                                                                                                          | 溶解无机磷                        |
| EBVs      | Essential Biodiversity Variables                                                                                                        | 重要生物多样性变量                    |
| EF-LUE    | Evaporative Fraction-Light Use Efficiency                                                                                               | 基于蒸发比的光能利用效率                 |
| ERA5      | the Fifth Generation ECMWF Reanalysis for the Global Climate and Weather; ECMWF: the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts | 欧洲中期数值天气预报中心第五代全球大气再分析资料     |
| ET        | Evapotranspiration                                                                                                                      | 蒸散耗水量                        |
| EVI       | Enhanced Vegetation Index                                                                                                               | 增强型植被指数                      |
| FAO       | Food and Agriculture Organization of the United Nations                                                                                 | 联合国粮食及农业组织                   |
| FGOALS-g3 | Flexible Global Ocean-Atmosphere-Land System Model-Grid Point Version 3                                                                 | 灵活性全球海洋 - 大气 - 陆面耦合系统第三代格点版本 |
| GDP       | Gross Domestic Product                                                                                                                  | 国内生产总值                       |
| GEP       | Gross Ecosystem Product                                                                                                                 | 生态系统生产总值                     |
| GGW-BDF   | Great Green Wall Big Data Facilitator                                                                                                   | 大数据支持“非洲绿色长城”建设在线工具          |
| GPM       | Global Precipitation Measurement                                                                                                        | 全球降水观测                       |
| GPP       | Gross Primary Productivity                                                                                                              | 总初级生产力                       |
| GRACE     | Gravity Recovery and Climate Experiment                                                                                                 | 重力恢复与气候实验                    |
| GRP       | Gross Regional Product                                                                                                                  | 地区生产总值                       |
| GUB       | Global Urban Boundaries                                                                                                                 | 全球城市边界                       |
| IMAGE-GNM | Integrated Model to Assess the Global Environment - Global Nutrient Model                                                               | 全球营养物输运模型                    |
| JRC       | European Commission's Joint Research Centre                                                                                             | 欧盟委员会联合研究中心                  |
| LCRPGR    | Ratio of Land Consumption Rate to Population Growth Rate                                                                                | 土地使用率与人口增长率之间的比率             |
| LPD       | Land Productivity Dynamics                                                                                                              | 土地生产力动态                      |
| LUCC      | Land-Use/Cover Change                                                                                                                   | 土地利用与土地覆盖变化                  |
| MODIS     | Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer                                                                                           | 中分辨率成像光谱仪                    |
| MSI       | MultiSpectral Instrument                                                                                                                | 多光谱成像仪                       |



|                |                                             |               |
|----------------|---------------------------------------------|---------------|
| MSIC           | Maximum Spectral Index Composite            | 最大光谱指数合成      |
| NDVI           | Normalized Difference Vegetation Index      | 归一化植被指数       |
| NEP            | Net Ecosystem Productivity                  | 净生态系统生产力      |
| OBIA           | Object-Based Image Analysis                 | 面向对象图像分析      |
| OHC            | Ocean Heat Content                          | 海洋热含量         |
| PAGGW          | Pan African Agency of the Great Green Wall  | 泛非绿色长城机构      |
| $p\text{CO}_2$ | partial Pressure of Carbon Dioxide          | 二氧化碳分压        |
| SDGs           | Sustainable Development Goals               | 可持续发展目标       |
| SDGSAT-1       | Sustainable Development Science Satellite 1 | 可持续发展科学卫星 1 号 |
| SMAP           | Soil Moisture Active and Passive            | 土壤水分主动被动卫星    |
| SST            | Sea Surface Temperature                     | 海表面温度         |
| TOC            | Total Organic Carbon                        | 总有机碳          |
| UNEP           | United Nations Environment Programme        | 联合国环境规划署      |
| WHO            | World Health Organization                   | 世界卫生组织        |
| WUE            | Water-Use Efficiency                        | 水分利用效率        |

## 主要参考文献

- ABRAHAM J, CHENG L, MANN M E, et al. The ocean response to climate change guides both adaptation and mitigation efforts[J]. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 2022, 100221. doi: 10.1016/j.aosl.2022.100221.
- BURKE L, REYTAR K, SPALDING M, et al. Reefs at Risk Revisited[M]. World Resources Institute, The Nature Conservancy, WorldFish Center, International Coral Reef Action Network, UNEP World Conservation Monitoring Centre and Global Coral Reef Monitoring Network. Washington, D.C, 2011.
- CHEN J L, WILSON C R, BLANKENSHIP D D, et al. Accelerated Antarctic ice loss from satellite gravity measurements. *Nature Geosciences*, 2009, 2: 859-862, doi: 10.1038/NGEO694.
- CHEN Y P, LIU C. Research on water resources utilization efficiency and its influencing factors in China: Based on Shephard water resources distance function[J]. *World Regional Studies*, 2022, 31(3): 591-601. doi: 10.3969/j.issn.1004-9479.2022.03.20205 65.
- CHENG L J, ABRAHAM J, TRENBERTH K E, et al. Another record: Ocean warming continues through 2021 despite La Niña Conditions[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2022, 39(3): 373-385. doi: 10.1007/s00376-022-1461-3.
- CHENG L J, TRENBERTH K E, FASULLO J, et al. Improved estimates of ocean heat content from 1960 to 2015[J]. *Science Advances*, 2017, 3:e1601545. doi: 10.1126/sciadv.1601545.
- COSTANZA R, ANDERSON S J, SUTTON P, et al. The global value of coastal wetlands for storm protection[J]. *Global Environment Change*, 2021, 70: 102328. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2021.102328.
- DU D D, ZHENG C L, JIA L, et al. Estimation of global cropland gross primary production from satellite observations by integrating water availability variable in Light-Use-Efficiency Model[J]. *Remote Sensing*, 2022, 14(7): 1722. doi: 10.3390/rs140717 22.
- FAO. Progress on Level of Water Stress-Global baseline for SDG indicator 6.4.2[R]. 2018. <https://www.unwater.org/publications/progress-on-level-of-water-stress-642/>.
- FAO. Global Forest Resources Assessment 2020 Key findings[R]. 2020. <https://www.fao.org/forest-resources-assessment/2020/en/>.
- FAO. Tracking Progress on Food and Agriculture-Related SDG Indicators 2021: A Report on the Indicators under FAO Custodianship[R]. Rome, 2021. doi: 10.4060/cb6872en.
- FAO, IFAD, UNICEF, et al. The State of Food Security and Nutrition in the World 2022. Repurposing Food and Agricultural Policies to Make Healthy Diets More Affordable[R]. Rome, 2022. <https://doi.org/10.4060/cc0639en>
- FAO and UN Water. Progress on Change in Water-Use Efficiency. Global Status and Acceleration Needs for SDG Indicator 6.4.1, 2021[R]. Rome, 2021a. doi: 10.4060/cb6413 en.
- FAO and UN Water. Progress on Level of Water Stress. Global Status and Acceleration Needs for SDG Indicator 6.4.2, 2021[R]. Rome, 2021b. doi: 10.4060/cb6241en.
- GAO X M, WU M Q, LI C, et al. Influence of China's Overseas power stations on the electricity status of their host countries[J]. *International Journal of Digital Earth*, 2022a, 15(1): 416-436. doi: 10.1080/17538947.2022.2038292.
- GAO X M, WU M Q, NIU Z, et al. Global identification of unelectrified built-up areas by remote sensing[J]. *Remote Sensing*, 2022b, 14: 1941. doi: 10.3390/rs14081941.
- GILES-CORTI B, VERNEZ-MOUDON A, REIS R, et al. City planning and population health: A global challenge[J]. *Lancet*, 2016, 388(10062): 2912-2924. doi: 10.1016/s0140-6736(16)30066-6.
- HARLIN J, ALABASTER G, SLAYMAKER T, et al. In Need of Speed: Data can Accelerate Progress Towards Water and Sanitation for All[R]. 2021. <http://sdg.iisd.org/commentary/guest-articles/in-need-of-speed-data-can-accelerate-progress-towards-water-and-sanitation-for-all/>.
- HU G C, JIA L. Monitoring of evapotranspiration in a semi-arid inland river basin by combining microwave and optical remote sensing observations[J]. *Remote Sensing*, 2015, 7(3): 3056-3087. doi: 10.3390/rs70303056.
- HU L, ZENG K, HU C, et al. On the remote estimation of *Ulva prolifera* areal coverage and biomass[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2019, 223: 194-207. doi: 10.1016/j.rse.2019.01.014.



- HUANG N, WANG L, ZHANG Y L, et al. Estimating the net ecosystem exchange at global FLUXNET sites using a random forest model[J]. *Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2021, 14: 9826–9836. doi: 10.1109/JSTARS.2021.3114190.
- IPBES. Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services[R]. 2019. <https://ipbes.net/global-assessment>.
- IPCC. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change[R]. 2022. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>.
- JIANG H P, SUN Z C, GUO H D, et al. An assessment of urbanization sustainability in China between 1990 and 2015 using land use efficiency indicators[J]. *npj Urban Sustainability*, 2021, 1: 34. doi: 10.1038/s42949-021-00032-y.
- JIANG H P, SUN Z C, GUO H D, et al. A standardized dataset of built-up areas of China's cities with populations over 300,000 for the period 1990–2015[J]. *Big Earth Data*, 2022, 6(1): 103–126. doi: 10.1080/20964471.2021.1950351.
- LI X J, SUN Y S, LI Y Y, et al. Saline-Sodic Soil EC Retrieval Based on Box-Cox Transformation and Machine Learning[J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2022, 15: 1692–1700. doi: 10.1109/JSTARS.2022.3145874.
- LI X C, ZHOU Y Y, ZHAO M, et al. A harmonized global nighttime light dataset 1992–2018[J]. *Scientific Data*, 2020, 7: 168. doi: 10.1038/s41597-020-0510-y.
- LI Y, NIU Z G. Systematic method for mapping fine-resolution water cover types in China based on time series Sentinel-1 and 2 images[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2022, 106: 102656. doi: 10.1016/j.jag.2021.102656.
- LIU C, ZHANG Q, TAO S, et al. A new framework to map fine resolution cropping intensity across the globe: Algorithm, validation, and implication[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2020, 251: 112095. doi: 10.1016/j.rse.2020.112095.
- LIU X, WANG Y B, COSTANZA R, et al. The value of China's coastal wetlands and seawalls for storm protection[J]. *Ecosystem Services*, 2019, 36: 100905. doi: 10.1016/j.ecoser.2019.100905.
- LU T, LU Y C, HU L B, et al. Uncertainty in the optical remote estimation of the biomass of *Ulva prolifera* macroalgae using MODIS imagery in the Yellow Sea[J]. *Optics Express*, 2019, 27(13): 18620–18627. doi: 10.1364/OE.27.018620.
- OECD. A Territorial Approach to the Sustainable Development Goals: Synthesis report. Organisation for Economic Co-operation and Development[R]. 2020. doi: 10.1787/e86fa715-en.
- PAN Y, ZHANG C, GONG H, et al. Detection of human-induced evapotranspiration using gravity satellite observations in the Haihe River Basin of China[J]. *Geophysical Research Letters*, 2017, 44(1): 190–199. doi: 10.1002/2016GL071287.
- POWLSON D S, WHITMORE A P, GOULDING K W T. Soil carbon sequestration to mitigate climate change: A critical re-examination to identify the true and the false[J]. *European Journal of Soil Science*, 2011, 62(1): 42–55. doi: 10.1111/j.1365-2389.2010.01342.x.
- SACHS J D, LAFORTUNE G, KROLL C, et al. From Crisis to Sustainable Development: the SDGs as Roadmap to 2030 and Beyond. Sustainable Development Report 2022[R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. <https://www.sdgindex.org/reports/sustainable-development-report-2022/>
- SU H, ZHANG T Y, LIN M J, et al. Predicting subsurface thermohaline structure from remote sensing data based on long short-term memory neural networks[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2021, 260: 112465. doi: 10.1016/j.rse.2021.112465.
- SU H, JIANG J W, WANG A, et al. Subsurface temperature reconstruction for the global ocean from 1993 to 2020 using satellite observations and deep learning[J]. *Remote Sensing*, 2022, 14: 3198. doi: 10.3390/rs14133198.
- SUN L Q, CHEN J, LI Q L, et al. Dramatic uneven urbanization of large cities throughout the world in recent decades[J]. *Nature Communications*, 2020, 11(1): 5366. doi: 10.1038/s41467-020-19158-1.
- TANG Y, CHEN F, YANG W, et al. Elaborate monitoring of land-cover changes in cultural landscapes at heritage sites using very high resolution remote-sensing images[J]. *Sustainability*, 2022, 14: 1319. doi: 10.3390/su14031319.
- TAO S L, FANG J Y, MA S H, et al. Changes in China's lakes: Climate and human impacts[J]. *National Science Review*, 2020, 7: 132–140. doi: 10.1093/nsr/nwz103.
- UN. The Sustainable Development Goals Report 2019[R]. New York: United Nations, 2019. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2019>.
- UN. The Sustainable Development Goals Report 2021[R]. New York: United Nations, 2021. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2021>.
- UN. The Sustainable Development Goals Report 2022[R].

- New York: United Nations, 2022. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2022>.
- UNCCD. Global Land Outlook, second edition[R]. 2022. [https://www.unccd.int/sites/default/files/2022-04/GLO2\\_SDM\\_low-res.pdf](https://www.unccd.int/sites/default/files/2022-04/GLO2_SDM_low-res.pdf)
- UNEP. Step-by-step Methodology for Monitoring Integrated Water Resources Management (6.5.1) [R]. 2017. <https://www.unwater.org/publications/step-step-methodology-monitoring-integrated-water-resources-management-6-5-1/>
- UNEP. Measuring Progress: Environment and the SDGs[R]. 2021a. <https://www.unep.org/resources/publication/measuring-progress-environment-and-sdgs>.
- UNEP. Progress on Integrated Water Resources Management. Tracking SDG 6 series: global indicator 6.5.1 updates and acceleration needs[R]. 2021b.
- UN Water. Summary Progress Update 2021 SDG 6 Water and Sanitation for All[R]. Version: 1 March 2021. Geneva, Switzerland, 2021.
- WANG Y, LU S L, ZI F, et al. Artificial and natural water bodies change in China, 2000–2020. *Water*, 2022, 14(11): 1756. doi: 10.3390/w14111756.
- World Bank. FY22 List of Fragile and Conflict-affected Situations. The World Bank Group, 2022. <https://thedocs.worldbank.org/en/doc/bb52765f38156924d682486726f422d40090082021/original/FCSList-FY22.pdf>
- World Meteorological Organization(WMO). The State of Global Climate 2021[R]. 2022. <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate>.
- WU D, LI Z H, ZHU Y C, et al. A new agricultural drought index for monitoring the water stress of winter wheat[J]. *Agricultural Water Management*, 2021, 244: 106599. doi: 10.1016/j.agwat.2020.106599.
- ZHANG M, WU B, ZENG H, et al. GCI30: A global dataset of 30 m cropping intensity using multisource remote sensing imagery[J]. *Earth System Science Data*, 2021, 13(10): 4799–4817. doi: 10.5194/essd-13-4799-2021.
- ZHENG C L, JIA L, HU G C, et al. Earth observations-based evapotranspiration in northeastern Thailand[J]. *Remote Sensing*, 2019, 11(2): 138. doi: 10.3390/rs11020138.
- ZHONG G, LI X, SONG J, et al. Reconstruction of global surface ocean  $p\text{CO}_2$  using region-specific predictors based on a stepwise FFNN regression algorithm[J]. *Biogeosciences*, 2022, 19: 845–859. doi: 10.5194/bg-19-845-2022.
- 郭华东 等. 地球大数据支撑可持续发展目标报告 (2019) [M]. 北京: 科学出版社, 2019.
- 郭华东 等. 地球大数据支撑可持续发展目标报告 (2020) 中国篇 [M]. 北京: 科学出版社, 2020a.
- 郭华东 等. 地球大数据支撑可持续发展目标报告 (2020) “一带一路”篇 [M]. 北京: 科学出版社, 2020b.
- 刘锦超, 刘建强, 丁静 等. HY-1C 卫星 CZI 载荷的黄海绿潮提取研究 [J]. *海洋学报* 2022, 44(5): 1–11. doi:10.12284/hyxb2022097.
- 卢善龙, 贾立, 蒋云钟 等. 联合国可持续发展目标 6 (清洁饮水与卫生设施) 监测评估: 进展与展望 [J]. *中国科学院院刊*, 2021, 36(8): 904–913. doi: 10.16418/j.issn.1000-3045.20210705007.
- 倪天翔, 冯柳. 地下水质评价中两类内梅罗指数法修正方法的对比分析及应用研究 [J]. *地下水*, 2018, 4(6): 8–11, 53. doi: CNKI:SUN:DXSU.0.2018-06-004.
- 中国电力年鉴编辑委员会. 2016 年中国电力年鉴 [R]. 中国电力出版社. 2019. <https://data.cnki.net/Yearbook/Single/N2019060102>.
- 中国光伏行业协会. 2020-2021 年中国光伏产业年度报告 [R]. 2021. [http://www.chinapv.org.cn/annual\\_report/1012.html](http://www.chinapv.org.cn/annual_report/1012.html).
- 中国国家发展和改革委员会. 国家发展改革委关于完善光伏发电上网电价机制有关问题的通知 (发改价格 (2019) 761 号). 2019. [https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201904/t20190430\\_962433.html?code=&state=123](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/201904/t20190430_962433.html?code=&state=123).
- 中国国家能源局. 国家能源局关于 2015–2021 年度全国可再生能源电力发展监测评价的通报. <http://zfxgk.nea.gov.cn/>.
- 中国国家能源局. 国家能源局发布 2015–2021 年全社会用电量. <http://zfxgk.nea.gov.cn/>.



# 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）

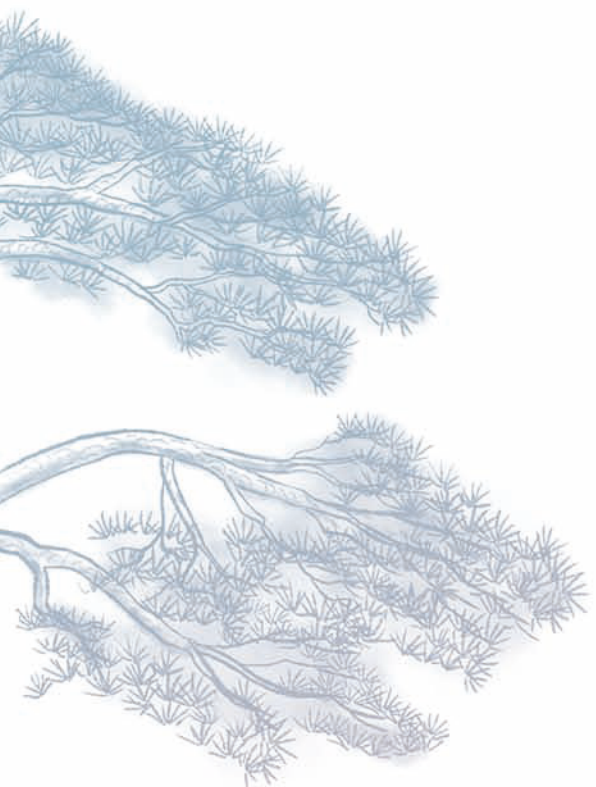
|     |                  |     |                   |
|-----|------------------|-----|-------------------|
| 白林燕 | 可持续发展大数据国际研究中心   | 胡永红 | 可持续发展大数据国际研究中心    |
| 曹 敏 | 南京师范大学           | 黄 磊 | 可持续发展大数据国际研究中心    |
| 常云蕾 | 可持续发展大数据国际研究中心   | 黄 妮 | 中国科学院空天信息创新研究院    |
| 陈 方 | 可持续发展大数据国际研究中心   | 黄春林 | 中国科学院西北生态环境资源研究院  |
| 陈 骥 | 香港大学             | 黄存瑞 | 清华大学              |
| 陈 旻 | 南京师范大学           | 黄金霞 | 中国科学院文献情报中心       |
| 陈 曦 | 北京师范大学           | 贾 立 | 中国科学院空天信息创新研究院    |
| 陈 玉 | 可持续发展大数据国际研究中心   | 贾根锁 | 中国科学院大气物理研究所      |
| 陈博伟 | 可持续发展大数据国际研究中心   | 贾俊文 | 北京师范大学            |
| 陈富龙 | 可持续发展大数据国际研究中心   | 贾明明 | 中国科学院东北地理与农业生态研究所 |
| 陈琪婷 | 中国科学院空天信息创新研究院   | 贾晓红 | 中国林业科学研究院荒漠化研究所   |
| 陈亚西 | 中国科学院空天信息创新研究院   | 江 南 | 中国科学院生态环境研究中心     |
| 成里京 | 中国科学院大气物理研究所     | 姜进文 | 福州大学              |
| 崔瀚文 | 可持续发展大数据国际研究中心   | 蒋 敏 | 中国科学院空天信息创新研究院    |
| 崔雪锋 | 北京师范大学           | 蒋会平 | 可持续发展大数据国际研究中心    |
| 丁 静 | 自然资源部国家卫星海洋应用中心  | 焦俊男 | 南京大学              |
| 董金玮 | 中国科学院地理科学与资源研究所  | 孔令桥 | 中国科学院生态环境研究中心     |
| 杜世宏 | 北京大学             | 雷亦晨 | 北京大学              |
| 杜文雯 | 中国疾病预防控制中心营养与健康所 | 李 成 | 扬州大学              |
| 房世波 | 中国气象科学研究院        | 李 杨 | 中国科学院空天信息创新研究院    |
| 冯维思 | 北京师范大学           | 李俊生 | 中国环境科学研究院         |
| 冯娅娅 | 中国科学院西北生态环境资源研究院 | 李梦倩 | 中国气象科学研究院         |
| 高许森 | 中国科学院空天信息创新研究院   | 李晓洁 | 中国科学院东北地理与农业生态研究所 |
| 耿睿颖 | 中国科学院烟台海岸带研究所    | 李晓松 | 可持续发展大数据国际研究中心    |
| 宫辉力 | 首都师范大学           | 李学刚 | 中国科学院海洋研究所        |
| 顾阿伦 | 清华大学能源环境经济研究所    | 李颖烨 | 中国科学院东北地理与农业生态研究所 |
| 郭利成 | 中国科学院地质与地球物理研究所  | 梁 栋 | 可持续发展大数据国际研究中心    |
| 韩宝龙 | 中国科学院生态环境研究中心    | 廖静娟 | 可持续发展大数据国际研究中心    |
| 韩群力 | 中国科学院空天信息创新研究院   | 林伯强 | 厦门大学              |
| 何 兵 | 成都信息工程大学         | 刘 洁 | 可持续发展大数据国际研究中心    |
| 侯西勇 | 中国科学院烟台海岸带研究所    | 刘 欣 | 中国科学院烟台海岸带研究所     |
| 胡光成 | 中国科学院空天信息创新研究院   | 刘 洋 | 中国科学院地理科学与资源研究所   |
| 胡连波 | 中国海洋大学           | 刘建强 | 自然资源部国家卫星海洋应用中心   |

|     |                   |     |                   |
|-----|-------------------|-----|-------------------|
| 刘林崧 | 中国科学院空天信息创新研究院    | 王 凡 | 中国科学院海洋研究所        |
| 刘荣高 | 中国科学院地理科学与资源研究所   | 王 力 | 中国科学院空天信息创新研究院    |
| 刘少波 | 中国科学院空天信息创新研究院    | 王 萌 | 中国科学院空天信息创新研究院    |
| 刘细文 | 中国科学院文献情报中心       | 王 优 | 厦门大学              |
| 刘子源 | 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    |
| 柳晓燕 | 中国环境科学研究院         | 王惠君 | 中国疾病预防控制中心营养与健康所  |
| 卢 静 | 中国科学院空天信息创新研究院    | 王文卓 | 北京师范大学            |
| 卢善龙 | 可持续发展大数据国际研究中心    | 王亚刚 | 甘肃自然能源研究所         |
| 陆 遥 | 北京师范大学            | 王宗明 | 中国科学院东北地理与农业生态研究所 |
| 陆应诚 | 南京大学              | 魏显虎 | 中国科学院空天信息创新研究院    |
| 鹿琳琳 | 可持续发展大数据国际研究中心    | 魏雪馨 | 中国科学院地理科学与资源研究所   |
| 骆 磊 | 可持续发展大数据国际研究中心    | 邬明权 | 中国科学院空天信息创新研究院    |
| 马彩虹 | 中国科学院空天信息创新研究院    | 吴 波 | 中国林业科学研究院荒漠化研究所   |
| 马亚林 | 首都师范大学            | 吴炳方 | 中国科学院空天信息创新研究院    |
| 马真臻 | 中国水资源战略研究会        | 吴亚桥 | 北京师范大学            |
| 蒙诗栋 | 中国林业科学研究院资源信息研究所  | 武英洁 | 山东省气象信息中心         |
| 苗俊霞 | 兰州大学              | 夏莉莉 | 中国科学院空天信息创新研究院    |
| 牛 铮 | 中国科学院空天信息创新研究院    | 肖 斌 | 自然资源部第一海洋研究所      |
| 牛振国 | 中国科学院空天信息创新研究院    | 谢 靖 | 中国科学院文献情报中心       |
| 欧阳松 | 北京大学              | 谢一涵 | 可持续发展大数据国际研究中心    |
| 潘 云 | 首都师范大学            | 邢前国 | 中国科学院烟台海岸带研究所     |
| 庞 勇 | 中国林业科学研究院资源信息研究所  | 熊尚发 | 中国科学院地质与地球物理研究所   |
| 彭芷琳 | 清华大学能源环境经济研究所     | 熊淑萍 | 北京大学              |
| 朴海涛 | 中国地质环境监测院         | 徐进勇 | 中国科学院空天信息创新研究院    |
| 乔方利 | 自然资源部第一海洋研究所      | 徐卫华 | 中国科学院生态环境研究中心     |
| 权学烽 | 中国科学院西北生态环境资源研究院  | 颜业峰 | 中国科学院空天信息创新研究院    |
| 沈 通 | 可持续发展大数据国际研究中心    | 杨瑞霞 | 可持续发展大数据国际研究中心    |
| 宋金明 | 中国科学院海洋研究所        | 杨赛霓 | 北京师范大学            |
| 宋晓谕 | 中国科学院西北生态环境资源研究院  | 杨石岭 | 中国科学院地质与地球物理研究所   |
| 苏 畅 | 中国疾病预防控制中心营养与健康所  | 姚庆祯 | 中国海洋大学            |
| 苏 华 | 福州大学              | 游进军 | 中国水资源战略研究会        |
| 隋 欣 | 北京林业大学            | 于仁成 | 中国科学院海洋研究所        |
| 孙 松 | 中国科学院海洋研究所        | 于永强 | 中国科学院大气物理研究所      |
| 孙立群 | 中国科学院深圳先进技术研究院    | 于志刚 | 中国海洋大学            |
| 孙中昶 | 可持续发展大数据国际研究中心    | 余 涛 | 中国林业科学研究院资源信息研究所  |
| 唐 君 | 南京大学              | 张 斌 | 中国科学院海洋研究所        |
| 唐继婷 | 北京师范大学            | 张 翀 | 首都师范大学            |
| 唐韵玮 | 可持续发展大数据国际研究中心    | 张 丽 | 可持续发展大数据国际研究中心    |
| 藤依舒 | 北京师范大学            | 张 森 | 中国科学院空天信息创新研究院    |
| 田 雨 | 中国水利水电科学研究院       | 张 鹏 | 应急管理部国家减灾中心       |
| 王 安 | 福州大学              | 张 稳 | 中国科学院大气物理研究所      |
| 王 彬 | 中国科学院东北地理与农业生态研究所 | 张 莹 | 中国科学院西北生态环境资源研究院  |



张安治 中国科学院大气物理研究所  
 张方方 可持续发展大数据国际研究中心  
 张海莉 可持续发展大数据国际研究中心  
 张海龙 中国科学院空天信息创新研究院  
 张恺姣 澳门科技大学  
 张天一 中国科学院大气物理研究所  
 张修远 北京大学  
 张跃林 中国科学院空天信息创新研究院  
 赵 昌 自然资源部第一海洋研究所  
 赵 航 中国科学院空天信息创新研究院  
 赵彩云 中国环境科学研究院

郑超磊 中国科学院空天信息创新研究院  
 郑新曼 中国科学院文献情报中心  
 郑姚闽 北京工商大学  
 郑智嘉 北京大学  
 钟国荣 中国科学院海洋研究所  
 周 伟 可持续发展大数据国际研究中心  
 朱 猛 可持续发展大数据国际研究中心  
 朱岚巍 可持续发展大数据国际研究中心  
 卓 文 中国气象科学研究院  
 左丽君 中国科学院空天信息创新研究院



**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 82177823

邮箱：secretariat@cbas.ac.cn

网址：<http://www.cbas.ac.cn>