

基于模型数据融合的 我国陆地生态系统碳氮水循环研究应用

何洪林^{1,2} 陈智¹ 张黎^{1,2} 任小丽^{1,2} 何念鹏¹ 贾彦龙³ 王秋凤¹ 郭学兵^{1,2} 苏文^{1,2}
唐新斋^{1,2} 葛蓉^{1,2} 牛忠恩^{1,2} 朱先进⁴ 张心昱¹ 高扬¹ 朱剑兴¹ 常青青^{1,2} 于贵瑞¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所/生态系统网络观测与模拟重点实验室, 北京 100101;
2. 国家生态科学数据中心, 北京 100101; 3. 河北农业大学林学院, 河北保定 071000;
4. 沈阳农业大学农学院, 辽宁沈阳 110161)

摘要: 以中国生态系统研究网络(CERN)长期定位观测数据为基础, 结合多源数据发展了生态模型数据融合方法体系, 研发多尺度生态数据产品和生态数据共享、分析与模拟平台, 系统评估我国陆地生态系统近30年碳氮水通量的大小、趋势和年际变异及其影响因素, 以推动我国生态信息学领域的技术发展, 深入认识陆地生态系统碳氮水循环和气候相互关系, 提高我国生态系统评估与管理能力。

关键词: 生态信息学; 碳氮水循环; 模型数据融合; 长期定位观测; 碳中和

DOI: 10.3772/j.issn.1674-1544.2022.01.012

CSTR: 15994.14.issn.1674-1544.2022.01.012

中图分类号: N3; P9

文献标识码: A

Application Case of Carbon, Nitrogen and Water Cycle Research of Terrestrial Ecosystem in China Based on Model Data Fusion

HE Honglin^{1,2}, CHEN Zhi¹, ZHANG Li^{1,2}, REN Xiaoli^{1,2}, HE Nianpeng¹, JIA Yanlong³, WANG Qiufeng¹, GUO Xuebing^{1,2}, SU Wen^{1,2}, TANG Xinzhai^{1,2}, GE Rong^{1,2}, NIU Zhongen^{1,2}, ZHU Xianjin⁴, ZHANG Xinyu¹, GAO

作者简介: 何洪林(1971—), 男, 中国科学院地理科学与资源研究所研究员, 主要研究方向为生态信息学、生态系统模型数据融合、生态遥感研究; 陈智(1986—), 女, 中国科学院地理科学与资源研究所副研究员, 主要研究方向为生态系统碳循环; 张黎(1982—), 女, 中国科学院地理科学与资源研究所副研究员, 主要研究方向为陆地生态系统碳氮水循环过程研究; 任小丽(1984—), 女, 中国科学院地理科学与资源研究所副研究员, 主要研究方向为碳循环模型数据融合和生态信息学; 何念鹏(1976—), 男, 中国科学院地理科学与资源研究所研究员, 主要研究方向为功能生态学、生物地理生态学、生态系统生态学; 贾彦龙(1986—), 男, 河北农业大学副教授, 主要研究方向为生态系统生态学; 王秋凤(1973—), 女, 中国科学院地理科学与资源研究所研究员, 主要研究方向为生态系统生态学; 郭学兵(1968—), 女, 中国科学院地理科学与资源研究所高级工程师, 主要研究方向为生态信息学; 苏文(1969—), 女, 中国科学院地理科学与资源研究所高级工程师, 主要研究方向为生态信息学; 唐新斋(1976—), 男, 中国科学院地理科学与资源研究所工程师, 主要从事生态数据质控工作; 葛蓉(1991—), 女, 中国科学院地理科学与资源研究所博士生, 主要从事生态系统碳循环研究; 牛忠恩(1990—), 男, 中国科学院地理科学与资源研究所博士生, 主要从事生态系统碳循环研究; 朱先进(1985—), 男, 沈阳农业大学副教授, 主要研究方向为生态系统生态学; 张心昱(1973—), 女, 中国科学院地理科学与资源研究所研究员, 主要研究方向为土壤生态学; 高扬(1981—), 男, 中国科学院地理科学与资源研究所研究员, 主要研究方向为生态水文学、环境地球化学; 朱剑兴(1991—), 男, 中国科学院地理科学与资源研究所助理研究员, 主要研究方向为生态系统生态学、全球变化与碳氮循环; 常青青(1995—), 女, 中国科学院地理科学与资源研究所博士生, 主要研究方向为生态系统水循环; 于贵瑞(1959—), 男, 中国科学院地理科学与资源研究所研究员, 主要研究方向为生态学与自然地理学交叉研究(通信作者)。

基金项目: 国家重点研发计划政府间国际科技创新合作项目“中国及中亚一带一路区域典型陆地生态系统综合监测与应用”(2019YFE0126500); 国家自然科学基金重点项目“中国森林生态系统碳循环关键过程的参数反演与迭代预测”(42030509)。

收稿时间: 2021年10月1日。

Yang¹, ZHU Jianxing¹, CHANG Qingqing^{1,2}, YU Guirui¹

(1. Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modelling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101; 2. National Ecosystem Science Data Center, Beijing 100101; 3. College of Forestry, Hebei Agricultural University, Baoding 071000; 4. College of Agriculture, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161)

Abstract: Based on the long-term positioning observation data of Chinese Ecosystem Research Network (CERN), combined with the multi-source data, we developed an ecological model data fusion method system. In the meantime, the multi-scale ecological data products and the ecological data sharing, analysis and simulation platform were developed. We systematically assessed the pattern, trend, variation and influencing factors of the carbon, nitrogen and water fluxes of the terrestrial ecosystems in China in the past 30 years. The results are of great scientific significance for promoting the technological development in the field of Ecoinformatics, deeply understanding the relationship between the carbon-nitrogen-water cycle and climate in terrestrial ecosystems, and improving the ability of ecosystem assessment and management in China.

Keywords: Ecoinformatics, carbon-nitrogen-water cycle, model data fusion, long-term observation data, carbon neutrality

0 引言

2020年9月22日,习近平总书记在第七十五届联合国大会一般性辩论上承诺,中国力争于2030年前达到CO₂排放峰值,努力争取2060年前实现碳中和。基于自然的生态系统增汇途径是实现碳中和的重要手段^[1]。为实现我国碳达峰与碳中和的战略目标,需要对中国碳汇功能的格局、过程机制、演化趋势及其与气候系统互馈的机理有更准确与深刻的把握,尤其需要对主导我国碳汇的陆地生态系统的碳循环及与之耦合的氮循环、水循环过程在气候变化背景下的评估与模拟展开研究。基于生态信息学进行生态数据采集、分析以及碳氮水循环模拟和预测,是应对这一研究需求的重要手段。

当前,生态学中碳氮水循环的研究方法主要基于观测数据或模型模拟,但均存在一定的局限性。观测数据虽然相对可靠,但并非所有生态系统过程参量都能够通过观测而获得,且不同方法、不同尺度的观测数据在应用上存在很大的不确定性。而生态过程模型虽然能够模拟更多的生态系统过程,但模拟结果的准确性受到驱动数据、模型结构和模型参数等方面的诸多限制,同时也受到人们对生态系统过程认知的限制。模型

数据融合技术(Model-Data Fusion, MDF)能够综合应用观测和模拟手段,最大限度地提取观测数据中所包含的有效信息,更准确地表达生态系统碳氮水循环关键过程,提高模型模拟和预测能力。近年来,该技术在生态学研究得到了广泛的关注。

本文的研究团队依托中国生态系统研究网络(CERN)、中国陆地生态系统通量观测研究网络(ChinaFLUX)、国家生态科学数据中心(NESDC),发展了生态系统多要素协同观测与分析技术体系、大数据支持下的生态系统数据管理与共享技术,开发了具有自主知识产权的生态系统过程模型(CEVSA-ES),发展并构建了中国碳循环模型数据融合技术体系,实现了生态数据采集—传输—管理—模拟—分析—共享服务一体化,开发了一系列碳氮水通量长时间序列数据集,并针对陆地生态系统碳氮水循环过程及其与气候系统的互馈机理等科学问题开展了一系列研究,系统分析了我国陆地生态系统碳氮水通量近30年的大小、趋势和年际变异,揭示了全球变化和人类活动对我国陆地生态系统碳氮水通量变化的影响^[2-8]。研究成果加强了对我国陆地生态系统碳氮水过程的理解,为我国生态数据挖掘与模型发展提供了应用范例,推动了我国生态系统联

网研究，为我国碳中和战略实施提供服务。本文将重点阐述所取得研究成果及其应用成效。

1 基于模型数据融合的碳氮水循环研究方法

本文研究团队以CERN和ChinaFLUX的长期联网动态监测数据为基础，结合多尺度生态遥感产品，构建了模型数据融合技术体系，更准确地模拟陆地生态系统碳氮水通量。为了量化及减少模型参数等误差引起的模拟结果不确定性，建立了不确定性分析方法体系，量化碳水通量模拟的不确定性并对其进行溯源；将机器学习、深度学习等技术应用到地面监测数据升尺度，实现点数数据到面数据的转换，为区域尺度生态过程模型关

键参数优化提供基准值。基于生成的一系列生态系统碳氮水循环过程相关数据集产品，分析陆地生态系统碳氮水通量的空间格局、变化趋势、年际变异，以及气候变化和人类活动的影响。具体技术路线如图1所示。

1.1 多源数据整合

生态系统碳氮水循环过程相关数据是准确认识中国碳汇功能时空格局和变化机制的重要基础。因此，本文研究团队系统整合碳氮水循环多源观测数据，主要包括CERN野外台站近20年的水土气生长期定位观测数据和大气氮沉降观测数据、全球通量网（FLUXNET）和ChinaFLUX通量观测塔5~20年的长期连续生态系统碳水通量观测数据和气象观测数据、长时间序列生态

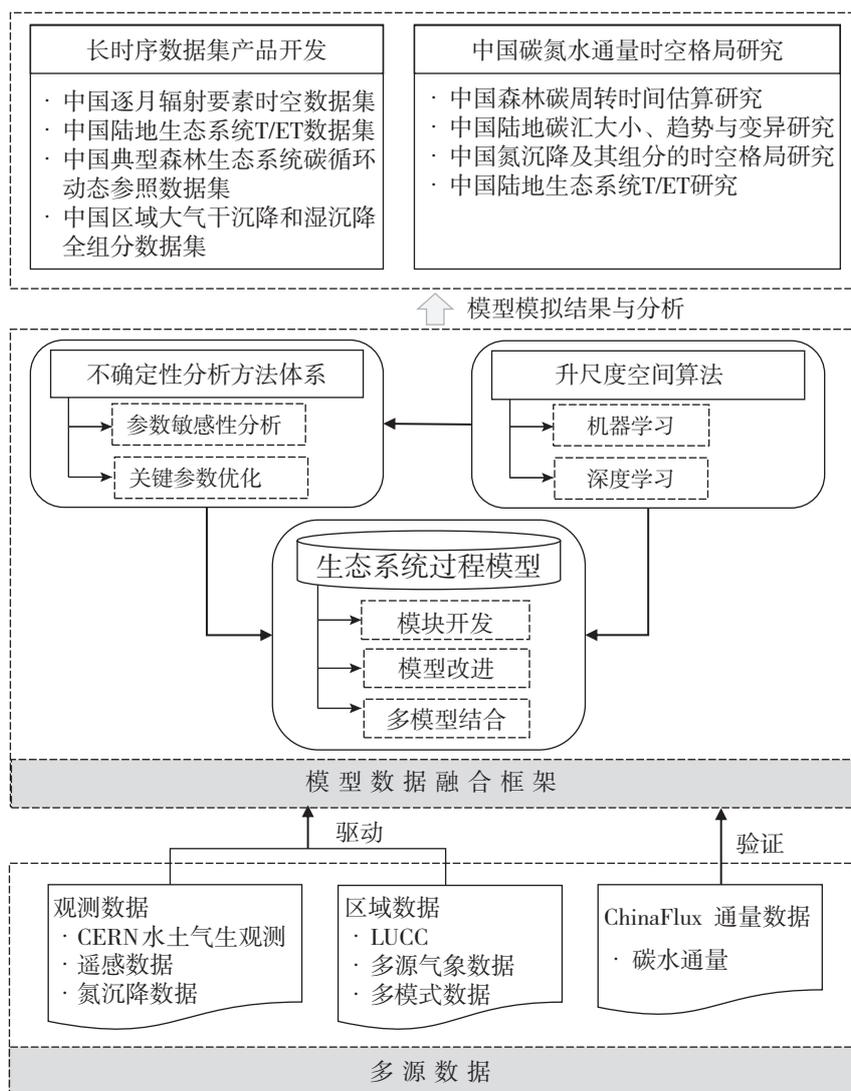


图1 基于模型数据融合的我国陆地生态系统碳氮水通量研究技术路线

遥感数据（如LAI、FPAR、NDVI）等；收集多模型模拟数据以及文献调研数据，并对数据进行质量控制，为基于模型数据融合开展碳氮水循环关键参量数据集的开发奠定基础。

1.2 模型数据融合框架

为减小碳氮水循环模拟误差，本文研究团队通过集成创新构建了陆地生态系统碳氮水循环模型数据融合系统框架：开发了具有自主知识产权的生态系统过程模型（CEVSA-ES），以改进碳氮水循环过程的模拟；发展了基于贝叶斯理论的生态模型关键参数优化方法，以提升碳氮水关键过程参数的反演精度；集成参数敏感性分析方法、不确定性量化和拆分方法，建立了模型不确定性分析方法，以量化和减小碳氮水通量模拟的不确定性；结合深度学习等多种机器学习算法建立了站点生态观测数据空间升尺度方法，为碳氮水循环模拟提供基准（Benchmark）参考数据。以上技术为我国陆地生态系统碳氮水循环关键参量的准确估算提供了有力支撑。

2 主要研究成果

2.1 发展了遥感驱动的生态系统服务评估过程模型

陆地生态系统同时提供相互联系的多种生态系统服务，然而大多数生态系统服务评估模型忽略了生态系统服务之间的相互联系。过程模型克服了这些不足，且将遥感数据与过程模型相结合可极大地促进复杂生态系统的评估。基于生态系统过程模型，本文研究团队发展了遥感数据驱动的生态系统服务评估过程模型（Carbon and Exchange between Vegetation, Soil, and Atmosphere-Ecosystem services, CEVSA-ES）。与传统陆地生物圈模型相比，该模型集成了土壤侵蚀及土壤碳淋溶损失等地表过程的模拟，改进了碳水循环过程的模拟。结合模型数据融合框架，以遥感数据为驱动，以通量观测及站点观测数据为约束与验证数据，利用模型数据融合框架识别了CEVSA-ES模型关键参数，并对关键参数进行了优化。碳水通量季节和年际变化的模拟精度得到了明显提

升（ R^2 为0.63~0.95），并捕捉到重要生态系统功能的年际变化（ R^2 为0.47~0.96）。优化后的CEVSA-ES模型，为基于生态过程的生产力、固碳、水文调节、土壤保持等生态系统服务评价提供支撑^[2]。

2.2 发现了被长期忽视的“东亚季风区森林碳汇功能区”

长期以来，北半球中高纬度的陆地生态系统被认为是主要的碳汇区，而对低纬度的亚热带森林生态系统的研究较少。本文研究团队基于全球106个森林通量观测站的长期涡度相关碳通量观测数据分析发现：在1990—2010年，中低纬度（20°N~40°N）东亚季风区的亚热带森林生态系统具有很高的净碳吸收强度，其净生态系统生产力（Net Ecosystem Production, NEP）达到 $362 \pm 39 \text{ g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ，与中高纬度北美和欧洲森林生态系统的碳吸收强度相当，表明亚洲亚热带森林生态系统在全球碳循环和碳汇功能中具有重要作用。该区域高的碳吸收功能来自于东亚季风区充足的水热条件，以及年幼的林龄结构和近年来快速增加的大气氮沉降量的共同作用（图2）。与全球主流模型（LPJ, ORCHIDEE, CLM4CN）模拟结果对比分析还发现，由于没有考虑林龄和氮沉降的影响，现有过程模型严重低估了该区域的森林生态系统碳吸收功能^[3]。

2.3 平衡态假设低估中国森林生态系统碳周转时间和碳汇

生态系统碳周转时间（Mean Turnover Time, MTT）是生态系统固碳能力评估中的重要参量。受观测数据的限制，传统研究通常基于平衡态假设（Steady State Assumption, SSA）估算处于动态非平衡的生态系统MTT，对区域尺度固碳能力估算产生较大的影响。基于CERN的10个森林站长期观测的多期的生物量、土壤清查数据、LAI数据、通量数据以及文献收集的经验知识，利用模型数据融合框架约束并优化了CERN森林站生态系统碳循环的分配和周转等关键参数，从而准确估算各站点碳周转时间及其固碳功能。实现了碳循环关键参数的非平衡态反演，系统分析

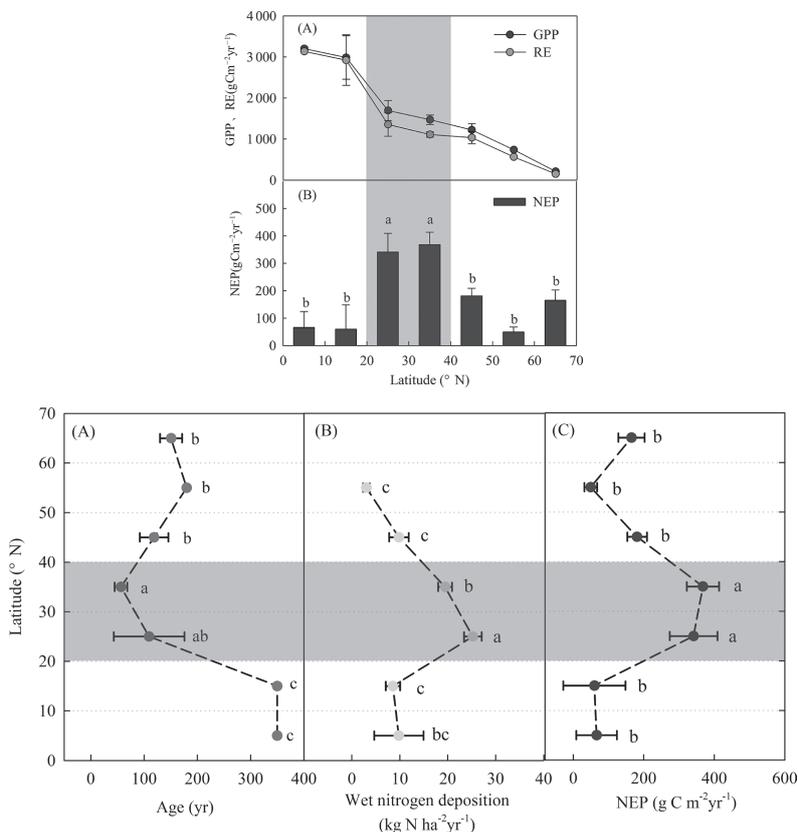


图2 东亚季风区亚热带森林生态系统高强度的碳吸收及林龄和氮沉降的作用^[3]

了SSA对MTT及碳汇估算的影响。发现SSA低估了MTT的29%，导致碳汇（NEP）被低估了4.83倍。同时，MTT对温度和降水的敏感性在SSA下也被显著低估，将在未来增温以及降水格局改变的全球变化背景下低估MTT的变异而引起碳汇估算的较大误差^[4]。该研究不仅对碳循环关键过程与气候反馈研究有重要启示意义，对促进我国生态系统联网研究、深入挖掘并应用长期联网观测数据也开阔了思路。

2.4 东亚夏季风增强和增温减缓导致我国陆地生态系统碳汇趋势发生转变

研究我国陆地碳汇如何变化及其对气候变化响应的区域差异问题是我国应对气候变化和服务于双碳目标路线制定的重要基础。进入21世纪以来，我国气温增幅趋缓，同时东亚夏季风增强导致雨带北移。为探讨在新的气候变化状态下我国陆地生态系统是否能持续呈现碳汇，本文研究团队基于模型数据融合技术体系，利用我国11个通量站的实测碳通量数据和11984个样方的碳

密度观测数据，对CEVSA2、BEPS模型的碳库初始值和TEC模型的土壤有机碳分解最大速率参数值进行了校正，有效提高了模型模拟结果，校正后CEVSA2、BEPS和TEC模型模拟的平均碳密度偏差分别降低了47.2%、47.6%和28.5%^[5]（图3）。多模型平均结果显示，我国东部季风区主导了1982—2010年我国陆地碳汇的大小、趋势和年际变异；在2000—2010年，我国陆地碳汇从1982—2000年的下降趋势转为上升趋势，这一转变主要归因于东亚夏季风增强促进了温带季风区的碳吸收，同时增温趋缓也减缓了亚热带—热带季风区的碳汇下降趋势；气候波动是我国陆地净生态系统生产力年际变异的主导因素，其中降水是我国陆地碳汇年际变异的主控因子，温带季风气候区降水量变化的贡献率最高^[5-6]。

2.5 我国氮沉降总量及沉降模式变化呈现新趋势

大气氮沉降增加是全球变化最重要的特征之一，对生态系统碳氮循环具有重要影响。以CERN大气湿沉降观测平台的观测数据

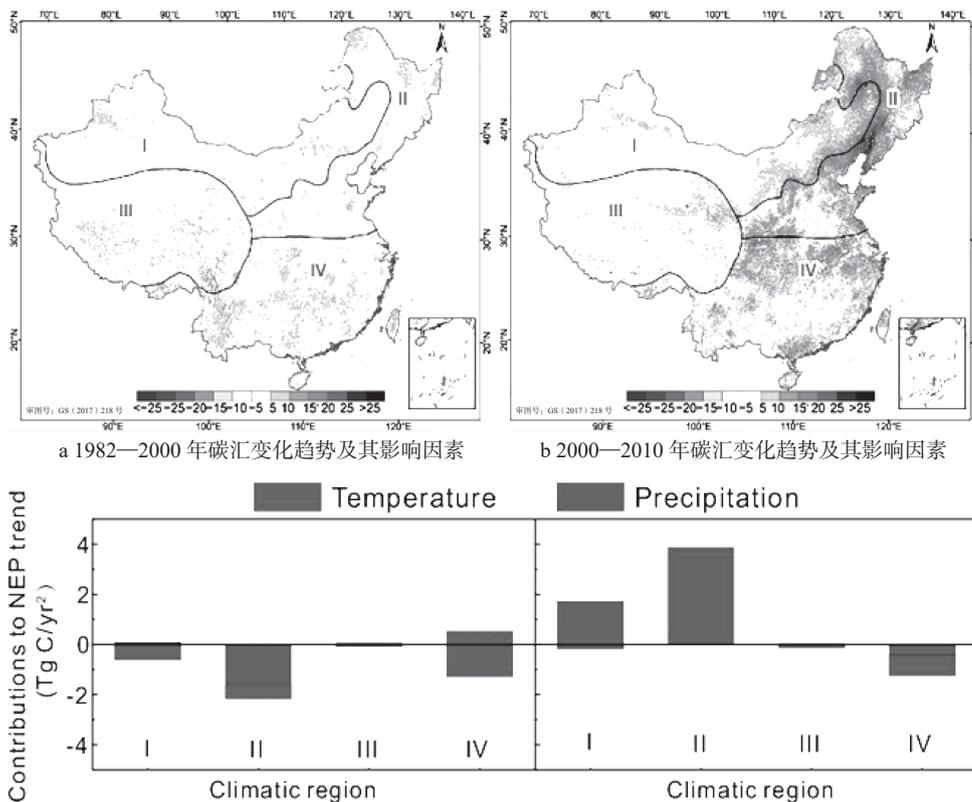


图3 我国1982—2010年碳汇变化趋势及其影响因素^[5]

为基础，整合了中国农业大学氮沉降观测网络(NNDMN)、中国气象局国家酸监测网的观测数据及文献检索数据，研制开发了以GOME、SCIAMACHY、OMI卫星观测的NO₂柱浓度数据和IASI卫星观测的NH₃柱浓度数据为基础的大气干沉降遥感反演模型，首次构建了1980—2015年期间“中国区域大气干沉降和湿沉降全组分动态变化数据集”，分析了大气总氮沉降及各组分的时空变化(图4)。发现我国大气氮沉降转型变化的3个重要特征：一是NO₃⁻氮沉降持续增加，但NH₄⁺湿沉降显著降低，致使氮沉降总量由快速增长转型为趋稳状态；二是大气干沉降增加导致干湿沉降比的变化，由以湿沉降为主逐步转型为干湿沉降并重；三是大气沉降中铵硝比减小，由以往的以NH₄⁺沉降为主转换为NH₄⁺和NO₃⁻贡献并重的新模式。我国大气氮沉降过去的35年间的转型变化是经济结构调整和多种环境控制措施的共同作用结果，在一定程度上实证了我国过去10多年的系列环境控制措施对大气环境治理已见成效，为我国环境治理提供了重要科学依据，也

为其他发展中国家的生态环境保护提供决策参考^[7]。

2.6 增温和变绿导致中国陆地生态系统蒸腾蒸散比升高

准确量化我国陆地生态系统蒸腾蒸散比对深入理解碳水循环至关重要。通过结合多源观测数据，利用模型数据融合框架优化了模型关键参数，降低了关键参数的不确定性。本文研究发现，Priestly-Taylor Jet Propulsion Laboratory (PT-JPL)模型中的4个参数对蒸腾和蒸散模拟比较敏感，对4个敏感参数进行优化后，降低了蒸腾量和蒸散量估算的不确定性。同时研究了1982—2015年我国陆地生态系统蒸腾蒸散比并量化了不同环境因子对蒸腾蒸散比变化趋势的相对贡献。发现我国陆地生态系统T/ET年均显著增加0.0019 yr⁻¹，其主导因素是变绿及气候变化(贡献率分别为57.59%及36.84%)，其中在热带—亚热带季风区，变绿的贡献率为24.43%，气候变化的贡献率高达60.95%。与降水变化相比，增温对T/ET升高趋势贡献更大，特别是在热带—亚热带

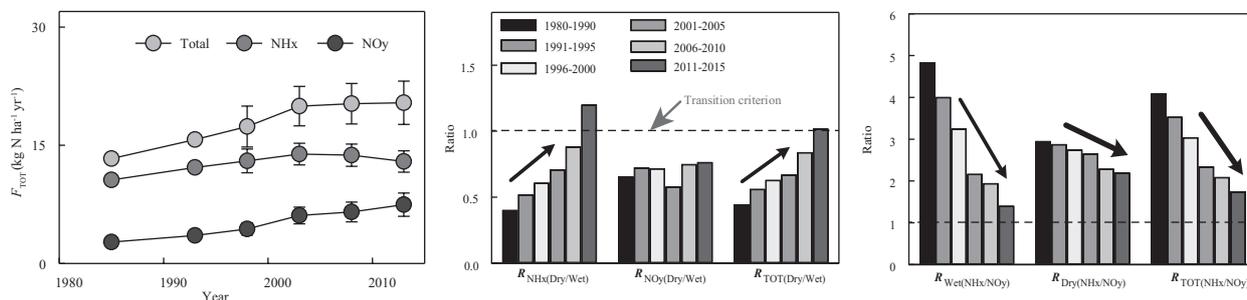


图4 我国陆地生态系统氮沉降及其组分比例在1980—2015年间的动态变化^[7]

季风区。该研究有助于阐明全球长期气候变化背景下陆地生态系统与大气之间的相互作用^[8]。

3 研究成果的应用成效

本文研究团队创新构建了陆地生态系统碳氮水循环模型数据融合系统框架，充分发挥了长期观测数据的应用价值，提升了碳氮水循环关键过程的模拟精度，获取了一系列碳氮水循环关键参量数据。研究发现，亚洲的亚热带森林生态系统在全球碳循环及碳汇功能中发挥着不可忽视的作用，这也挑战了过去普遍仅仅认定欧美温带森林是主要碳汇功能区的传统认识，因此需要重新评估北半球陆地生态系统碳汇功能区域的空间分布及其区域贡献^[3]；首次揭示了我国近30年来陆地生态系统碳汇趋势的转变及其对气候变化响应的空间差异，指出东亚夏季风增强对固碳的促进作用，为全球其他季风区的碳循环研究提供了范式，并被写入《第四次国家气候评估报告》^[5]；首次构建了1980—2015年中国区域大气干沉降和湿沉降全组分动态变化数据集，发现我国大气氮沉降的转型变化新趋势，诠释了经济结构调整和环境保护措施对大气氮沉降时空变异的影响机制^[7]。

同时，基于本文构建的陆地生态系统碳氮水循环模型数据融合系统框架开发了一系列生态系统长时间序列数据产品，包括中国区域1981—2010年的辐射要素时空数据集^[9]、1981—2015年中国陆地生态系统蒸腾蒸散比数据集^[10]、2000—2015年中国典型森林生态系统碳循环动态参照数据集^[11]、1980—2015年中国区域大气干沉降和湿

沉降全组分动态变化数据集^[12-13]等。数据集公开发表于国际地学期刊《Earth System Science Data》和《Scientific Data》以及国内数据期刊《中国科学数据》，并在国家生态科学数据中心共享服务平台 (<http://www.nesdc.org.cn/>) 开放共享，为深入理解陆地—大气交互作用、全球变化和生态系统演变提供了重要的科学数据。

4 结语

本文团队依托CERN、ChinaFLUX和NESDC积累的多源数据，发展了适用于我国的生态模型数据融合方法体系，并针对生态系统碳氮水循环等科学问题，围绕“生态模型数据融合方法发展—生态系统关键过程参数量化—全国尺度生态变量变化规律和机制分析”这一主线开展了系列研究。研究成果加强了对我国陆地生态系统碳氮水循环过程及其气候反馈关系的深入理解，为我国陆地生态系统长期定位观测数据的挖掘与模型发展提供了应用范例，也为我国生态文明建设的战略部署提供了有效的科学依据。

参考文献

- [1] CHAUSSON A, TURNER B, SEDDON D, et al. Mapping the effectiveness of nature-based solutions for climate change adaptation[J]. *Global change biology*, 2020, 26(11): 6134–6155.
- [2] NIU Z E, HE H L, PENG S S, et al. A process-based model integrating remote sensing data for evaluating ecosystem services[J]. *Journal of advances in modeling earth systems*, 2021.
- [3] YU G R, CHEN Z, PIAO S L, et al. High carbon diox-

- ide uptake by subtropical forest ecosystems in the East Asian monsoon region[J]. Proceedings of the national academy of science, 2014, 111(13): 4910–4915.
- [4] GE R, HE H L, REN X L, et al. Underestimated ecosystem carbon turnover time and sequestration under the steady state assumption: a perspective from long-term data assimilation[J]. global change biology, 2019, 25(3): 938–953.
- [5] HE H L, WANG S Q, ZHANG L, et al. Altered trends in carbon uptake in China's terrestrial ecosystems under the enhanced summer monsoon and warming hiatus[J]. National science review, 2019, 6(3): 505–514.
- [6] ZHANG L, REN X L, WANG J B, et al. Interannual variability of terrestrial net ecosystem productivity over China: regional contributions and climate attribution[J]. Environmental research letters, 2019, 14: 9.
- [7] YU G R, JIA Y L, HE N P, et al. Stabilization of atmospheric nitrogen deposition in China over the past decade[J]. Nature geoscience, 2019, 12: 424–429.
- [8] NIU Z E, HE H L, ZHU G F, et al. An increasing trend in the ratio of transpiration to total terrestrial evapotranspiration in China from 1982 to 2015 caused by greening and warming[J]. Agricultural and forest meteorology, 2019, 279: 107701.
- [9] REN X L, HE H L, ZHANG L, et al. Global radiation, photosynthetically active radiation, and the diffuse component dataset of China, 1981–2010[J]. Earth system science data, 2018, 10: 1217–1226.
- [10] NIU Z E, HE H L, ZHU G F, et al. A spatial-temporal continuous dataset of the transpiration to evapotranspiration ratio in China from 1981–2015[J]. Scientific data, 2020, 7(369): 1–13.
- [11] HE H L, GE R, REN X L, et al. Reference carbon cycle dataset for typical Chinese forests via collocated observations and data assimilation[J]. Scientific data, 2021, 8(42): 1–13.
- [12] JIA Y L, WANG Q F, ZHU J X, et al. A spatial and temporal dataset of atmospheric inorganic nitrogen wet deposition in China (1996–2015) [J]. China scientific data, 2019, 4(1): 1–10.
- [13] 贾彦龙,王秋凤,朱剑兴,等.2006–2015年中国大气无机氮干沉降时空格局数据集[J].中国科学数据(中英文网络版),2021,6(2): 213–221.

“长江三角洲区域一体化发展”专题征稿

为系统呈现相关最新研究、应用成果及现存问题，促进长江三角洲区域一体化发展过程中科技资源的分析挖掘、有效管理和共享共用，提高产业科学情报服务能力，本刊组织策划“长江三角洲区域一体化发展”专题，聚焦长江三角洲区域省市的创新发展政策、体制机制改革、平台载体建设、人才发展路径以及生物医药、集成电路、新能源智能汽车等重点产业问题，展开深入研究和广泛讨论，共同推进长江三角洲区域一体化发展的科学传播和学术交流。

本专题围绕“长江三角洲区域一体化发展”的研究，征集长江三角洲区域省市的创新发展政策、体制机制改革、平台载体建设、人才发展路径以及生物医药、集成电路、新能源智能汽车等重点产业

研究内容，主要包括但不局限于长三角区域：

- (1) 科技服务协同创新模式与理论机制研究
- (2) 科技资源配置与共享研究与案例
- (3) 城市群科技情报服务平台建设案例
- (4) 区域科技资源与服务平台建设案例
- (5) 科技人才培养、建设及评价工作经验
- (6) 区域科技创新支撑产业发展的案例

作者可围绕专题内容，自主确定稿件的意向题目，来稿请注明“长江三角洲区域一体化发展”专题名称。稿件字数不设上限，一般建议在8000字左右，不少于5000字（具体投稿指南参见本刊官网）。投稿截止时间为2022年3月31日，刊出时间为2022年。欢迎投稿！