

# 寿县气象科学试验数据集研制

温华洋<sup>1</sup> 朱华亮<sup>1</sup> 陈凤娇<sup>1</sup> 侯灿<sup>2</sup> 段春锋<sup>3</sup> 刘惠兰<sup>1</sup>

(1 安徽省气象信息中心, 合肥 230031; 2 安徽省气象科学研究所, 合肥 230031; 3 安徽省气候中心, 合肥 230031)

**摘要:** 寿县国家气候观象台至今已经积累了海量的观测资料。以2019年完成的38个地面、辐射、农业、大气成分、雷达和科学试验气象数据集研制过程为例, 介绍了长序列气象科学试验数据集研制的五个具体步骤, 即源数据的确定、质量控制、实体数据集制作与处理、数据集检验评估和数据集说明文档编制, 讨论了数据集成果的应用服务情况, 旨在进一步提升气象数据产品研制能力和标准化水平, 助力气象数据共享服务工作。

**关键词:** 寿县国家气候观象台, 数据集, 质量控制, 元数据

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2020.05.023

## Development of Scientific Experiment Data Set in Shouxian National Climate Observatory

Wen Huayang<sup>1</sup>, Zhu Hualiang<sup>1</sup>, Chen Fengjiao<sup>1</sup>, Hou Can<sup>2</sup>, Duan Chunfeng<sup>3</sup>, Liu Huilan<sup>1</sup>

(1 Anhui Meteorological Information Center, Hefei 230031 2 Anhui Institute of Meteorological Science, Hefei 230031

3 Anhui Climate Center, Hefei 230031)

**Abstract:** Shouxian National Climate Observatory has accumulated a large amount of observation data so far. Taking the development process of 38 data sets involving surface, radiation, agriculture, atmospheric composition, radar and scientific experimental meteorology completed in 2019 as an example, this paper introduces the five specific steps of the research and development of long series meteorological scientific experimental data sets, namely, the determination of source data, quality control, entity data set production and processing, inspection and evaluation of data sets and compilation of data set description documents. The application of the datasets is discussed. The purpose is to further improve the development capability and standardization level of meteorological data products, and help the meteorological data sharing service.

**Key words:** Shouxian National Climate Observatory, data set, quality control, metadata

### 0 引言

科学试验观测相较于传统常规业务观测, 具有观测仪器设备多样, 观测方案设计理念先进, 观测目的性和针对性强的特点。如1998、1999年在寿县开展的淮河流域能量和水循环试验(HUBEX), 应用了微波辐射计、移动通量观测、多普勒雷达、天气雷达等多种观测设备开展协同观测, 形成了大量科学试验数据, 在揭示东亚大尺度环流、梅雨锋降水特征、开发陆面过程模式、水文模式预报等方面取得了重大突破, 相关成果于2000年陆续公开<sup>[1-6]</sup>。科学试验数据在科研和业务中具有广阔的应用前景, 但另一方面, 科学试验数据科学性要求高、观测时间相对较短连续性

较差、人力物力保障条件要求高和资料共享相对滞后等问题, 也是不容忽视的。对于数据集研制而言, 常规业务观测数据形成数据集, 用户更多关注数据是否易用(如格式简洁、质控方法和业务中一致、更新频次高), 而科学试验数据集用户更关注原始数据处理方法、质量控制方法、仪器设备参数说明、设备协同情况等, 这些对科学试验数据集研制技术提出了更高的要求。

安徽省寿县位于淮河流域, 天气气候复杂多样, 为全球独具特色的东亚季风区的典型区域, 也是中国气候观测系统(CCOS)确定的黄淮农业生态观测区。寿县气象站始建于1955年, 历经国家基本站、基准气候站、国家气候观象台变迁, 开展观象台综合气象观测系统的设计和示范建设, 开展了常规自动气候站、近地面层通量、大气成分、风廓线、辐射和农业气象观测, 以及大量的中外重大科学试验观测, 至今已经积累了宝贵的常规观测和科学试验观测资料。截

收稿日期: 2020年5月20日; 修回日期: 2020年7月28日

第一作者: 温华洋(1983—), Email: wenhy12@163.com

通信作者: 陈凤娇(1989—), Email: cfj@mail.ustc.edu.cn

资助信息: 安徽省气象局研究型业务科技攻关项目(YJG202003)

止到2019年底,寿县观象台收集的各类长期、连续、稳定的准业务化科学试验观测资料已经超过了6 TB。

为进一步发挥这些科学数据的价值,提升寿县科学数据的共享服务能力,安徽省气象局组织开展包括科学试验数据汇交、数据集研制,共享服务平台开发等一系列工作。而提升共享服务能力迫切需要解决的问题是如何在大量的原始资料中经过客观、科学的处理分析,形成一批直接为科学研究与其他公益性活动利用的数据集产品。2017年以来,安徽省气象局先后完成了包括地面、辐射、雷达、大气成分、农业气象和科学试验等6类气象观测资料38个数据集研制工作。本文对本次数据集研制过程,包括源数据的确定、质量控制、实体数据集制作与处理、数据集检验评估和数据集说明文档编制进行介绍,并讨论了数据集在相关等领域的应用情况。以期进一步提升科学数据产品研制能力和标准化水平,加强科学试验数据在数值天气预报模式、水文预报模式的应用,为人民生产和生活提供气象保障。

## 1 数据集研制

数据集研制过程一般包括源数据的确定、源数据质量控制、实体数据集制作与处理、数据集检验评估、说明文档编制等环节。这些环节中要求遵循科学性、规范性和便捷性的基本原则,具体而言要求数据集设计中充分对接用户需求,内容格式编排上从用户角度出发使数据集使用方便,从而保证数据集是用户需要的,用户方便用的;研制过程则遵循现行的标准、技术规范和指南等,本次数据集研制参考了大量行业标准<sup>[7-10]</sup>,相关文献<sup>[11-15]</sup>以及“气象资料共享系统建设”<sup>[13]</sup>过程中形成的一些技术规范,如《气象数据集元数据格式标准》《气象数据集说明文档格式标准》《气象数据集组织及命名规定》等,这些规范实现数据集具有统一的元数据标准、统一的分类编码和统一的命名规则。科学性则贯穿了整个研制过程,重点要求数据处理过程要科学客观,有充分的依据。

### 1.1 源数据的确定

源数据的确定依据观测数据本身特性和研制目的及用户需求所确定。其中地面观测资料因时间长、仪器变化多、探测环境变化、信息化手段等原因导致其尤为复杂。寿县地面资料包含了1955年以来长期一直开展的人工观测资料、2003年以来自动观测资料、2012—2013年的新旧址并行观测资料(原址寿县城城南郊外,新址窑口镇井圩村农田),以及不同时期不同型号仪器观测资料。这些地面资料不同时期信息化形成了地面各类报表记录文件如A0/A1、A6/A7、

A、J、R01/R60文件(自记纸记录的分钟和小时降水数据文件)和Y文件等。如研制的分钟降水数据集,其服务于用户的长序列气候资料分析,则源数据包括如下几个部分:在2003年以前数据源为自记纸观测资料,该部分源自2016年开展的地面降水自记纸迹线提取项目完成的分数数据集<sup>[16]</sup>,通过R01文件获取;2004年起则为自动雨量传感器形成的观测资料,主要源自J文件,其中2012年及之前使用的为寿县城南郊外原址资料,而2013年及以后使用的为窑口新址资料。若小时降水数据集则在1955—1990年源自R60文件,1991—2003年源自A7文件,2004及以后源自A文件。

科学试验观测数据中经常出现观测仪器多、数据文件多且格式复杂的情况。如近地层通量观测试验形成的通量、梯度、风能类数据文件有8种之多,各类文件中包含多种仪器的观测数据,如梯度定时观测文件包含了125个要素观测值(对应文件命名为PBL\_VG\_FT\_IIii\_YYYYMM.TXT,其中IIii为区站号,YYYYMM为年月),数据文件复杂。在研制梯度观测平均风速数据集时,从该定时观测数据文件中抽取风速观测设备所有层(2 m、4 m、10 m、20 m和30 m高)的平均风速观测数据,形成只包含10个观测要素的数据集,数据格式简明,且便于用户综合分析使用。

### 1.2 源数据的质量控制

地面、辐射、大气成分、农气等月报表文件资料一般均经过严格的质量控制。但在数据集研制前尚需要进一步进行质控,防止在转储等过程出现数据异常。其质量控制的方法(科学试验中的常规资料亦同)依据相应的行业标准<sup>[7-8]</sup>开展。对于标准格式的数据可以直接利用地面自动站观测资料三级质量控制软件(CDQC)以及地面气象测报业务软件(OSSMO)进行质控和修订。

科学试验形成的资料,涉及新型探测设备的观测资料,一般无成熟的质量控制方法标准规范,此时一般结合科技文献以及世界气象组织(WMO)等国际组织推荐使用的方法进行探索性质控。如寿县开展的辐射观测是依据世界气象组织世界气候研究计划(WCRP)下地面辐射基准站网(BSRN)<sup>[10]</sup>的要求建立起来的。其数据集研制中,对于源数据的质控,除了常规的格式检查外,对各要素采用如下方法:1)太阳直接辐射、散射辐射、总辐射、反射辐射、大气长波辐射和地球长波辐射等要素依据中行业标准<sup>[7]</sup>完成气候界限值、要素一致性和时间一致性的检查,标记可疑的数据约4.79%。2)大气长波辐射、

地球长波辐射要素等还结合BSRN建议的检查方法，如物理可能值检查、极端值检查和数据比较检查等方法。通过检查标记可疑的数据约1.64%。3) 紫外辐射和光合有效辐射无文献提供检查方法，主要通过BSRN建议的目视检查法。如图1中给出了紫外辐射和光合有效辐射10月小时平均值，可以看出日出前和日落无紫外辐射和光合有效辐射，日出后紫外辐射大于光合有效辐射，且12时前后辐射最大。基于上述规律将逐日变化数据与平均值叠加，用目视检查法看逐日的小时数据是否符合上述规律，或者数值存在较大量级的差异，发现异常的数据需要结合地面观测的日照、云量等数据进行一致性分析，确认是否异常。目前该项检查项目未发现明显异常。

质量控制方法将影响用户对数据的判断和分析工作，应在源数据中充分说明使用的方法、步骤或遵循的标准规范。

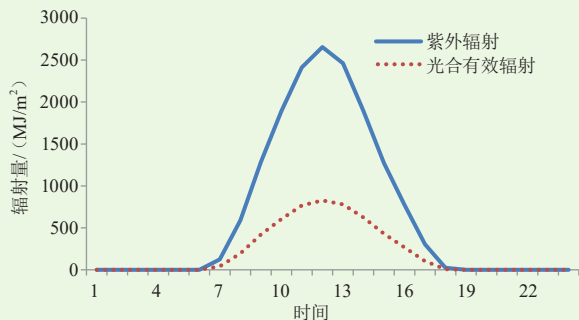


图1 2014—2018年10月小时平均紫外辐射和光合有效辐射变化曲线

### 1.3 实体数据集制作与处理

各类资料经过质量控制后，形成规范标准实体数据集，对实体数据集的格式、内容、命名均有一定的要求。主要包括：

1) 一般要求格式便于计算机识别，目前研制发布的数据集存储格式均以TXT文件为主。内容格式以数据为主，不宜出现汉字和字母，特殊标记宜使用固定格式的字符表征。如微量降水一般使用“\*”表示，缺测一般使用“/”表示等。

2) 内容中一般要求包含区站号、经度、纬度、海拔高度、时间（如年份、月份、日期、时次等），对于风速、气压等对仪器高度敏感的要害还应该包含仪器高度（或者在数据集说明文档中统一说明）。数据的单位无特殊情况宜使用常用国际通用单位，如海拔高度使用m作为单位，气压使用hPa作为单位，精度无特殊情况应与相应观测规范<sup>[11]</sup>一致，如气温精度为0.1℃。个别要素存在较为复杂的情况，如能见度的观测，1979年前使用等级观测，1980—2014年起单位

使用为km，精度为0.1 km，2015年起采用自动观测使用单位为m，精度为1 m。为便于用户使用，本次能见度数据集的研制中将单位进行统一转换为米，统一精度为1 m。质控码与文献<sup>[8]</sup>中要求一致。

3) 数据集按照《气象数据集组织及命名规定》要求进行命名，一般要求命名能够表征数据的资料分类、内容属性、区域属性、时间属性和要素等。如CAWN\_AER\_BXSO\_HOR\_ASP.TXT，是寿县国家气候气象台气溶胶散射特性数据集，由浊度计观测而来，其中CAWN表示大气成分资料<sup>[9]</sup>，AER表示为气溶胶资料<sup>[9-10]</sup>，BXSO表示寿县，HOR表示小时数据<sup>[9]</sup>，ASP表示散射特性<sup>[10]</sup>。

4) 无法处理成标准规范格式和内容的应在数据集说明文档中详细说明现有的数据格式、组织结构、单位和精度等。

### 1.4 数据集检验评估

数据集的检验评估往往被认为是非必要，事实上，检验评估是数据集研制必不可少的环节。数据集检验评估中将数据集原始资料的处理、数据完整性、质量状况进行详细描述分析，还可以进一步分析其典型应用情况，为用户提供直观印象，确定是该资料的价值和自身研究需要的相符性，减少大量重复劳动。此外，数据完整性和质量评估过程实际上是对数据集的一次质量控制，通过检验可能需要对数据集进行必要的调整。如在对大气成分数据集研制检验评估中发现，2016年后NO<sub>x</sub>体积浓度日变化规律发生了明显变化（图2），其波谷在14时前后，而2016年后波谷在06时前后，但仪器观测规范、软件使用说明书等均未发现变化。技术人员通过对现场观测设备和运行软件的观察，以及与厂家和软件开发人员反复沟通，确定是观测时制发生了变化，其中2016年1月26日13时25分前氮氧化物（NO、NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>）体积浓度按照北京时间进行观测，同日13时31分开始观测时制改为世界时。据此将数据集中观测数据的时制统一为北京时，修改后2014—2018年每年的氮氧化物体积浓度日

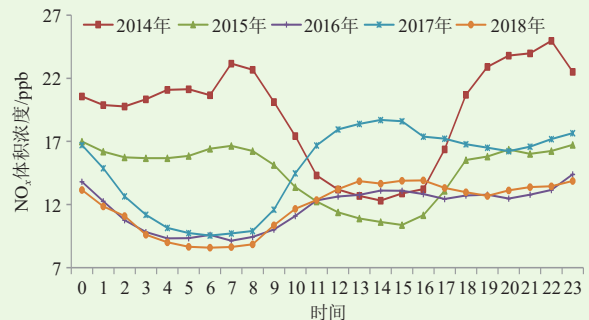


图2 2014—2018年逐年NO<sub>x</sub>体积浓度日变化曲线(1ppb=10<sup>-9</sup>)

变化规律基本一致(图略)。

### 1.5 说明文档的编制

为了描述这些数据,需要编制数据集说明文档、数据集元数据说明文档和必要的附加说明文档等。

数据集说明文档是数据集实体的说明性、标注性文件,描述数据来源、数据集实体内容、数据的存储信息、数据的时空属性、数据处理方法、数据质量状况、数据的完整性和其他有关数据特征的信息,对准确利用气象数据是不可或缺的。以数据的时空属性为例,寿县前后有11次的海拔高度(包含2次迁站造成的)调整,不对其详细说明将造成明显的分析误判。以气压为例,谢伟等<sup>[17]</sup>利用均值和标准差等统计描述特征对人工站和自动站差值研究表明(图略,参见文献<sup>[17]</sup>图2),其差值的分布为“双峰”分布,在研究其气压表海拔高度变化后发现,2006年11月人工观测的气压表海拔高度由23.5 m调整到27.7 m,造成了约0.46 hPa的误差,进行订正后其差值分布变为“单峰”分布。同时这些数据也是均一化检验的基础,吴必文等<sup>[18]</sup>的检验表明气压表高度调整造成了寿县气压序列的非均一。

数据集元数据说明文档内容包括:数据集名称、数据集代码、数据来源、数据集质量状况、数据集分类、数据集时空标识、数据集共享级别和数据集责任人等信息<sup>[14]</sup>。其中数据集的共享级别决定了数据集共享的对象和范围。此次研制的数据集为有条件开放共享,面向对象主要为国内从事非盈利性气象工作的机构和个人、国内从事省部级以上非盈利性科研项目、公益项目的机构和个人(符合条件的机构或个人可以通过联系本文通讯作者获取本次研制的数据集。)

附加说明文档是对数据集说明文档的细化和补充,可包括但不限于数据集格式说明文档、站点基本信息文档、数据集检验评估文档、观测仪器设备功能规格书、软件操作使用手册和数据集建设背景评审应用相关文档。如前文所述的谢伟等<sup>[17]</sup>和吴必文等<sup>[18]</sup>的文献可以作为地面气压数据集的附件文档,便于用户较为全面地了解气压序列的状况。

## 2 数据集应用

本次研发数据集面向气象部门内、部门外的科研机构 and 高校开放,相关机构基于数据集开展专项研究,并尝试了将准业务化的科学试验数据应用于气候变化、大气环境评价等业务和服务中,使得业务和服务工作的创新性和科学性得到明显增强,也取得了明显的社会效益。如安徽省气候中心等机构利用研制

的通量和梯度气象观测数据集,用于监测评估中国东部季风区典型农田生态系统主要温室气体通量和碳循环过程变化,重点分析了碳通量变化特征,评估了农田生态系统碳收支状况和固碳能力(图略,参见文献<sup>[19]</sup>图4.8)。相关结论应用于《安徽省气候变化监测公报》《中国气象局气候变化监测公报(2019年)》《中国气候变化蓝皮书(2019)》<sup>[19]</sup>等。安徽省气象科学研究所利用大气成分数据集,分析了颗粒物、黑碳气溶胶和反应性气体变化特征,评估了典型农田区的污染状况,并支撑2018年1月中国中东部地区发生的严重污染过程分析<sup>[20]</sup>。相关结论应用于《安徽省生态遥感年度报告(简版)(2019年)》《寿县国家气候观象台年报(2019年)》等服务材料中。

## 3 结论与建议

通过标准化的研制步骤和规范的文档要求,完成2019年的寿县科学试验气象数据集的研发工作,为相关资料共享服务奠定基础。本文通过示例的方法简要介绍了此次研制的基本过程和研发数据集的应用情况,同时认为今后需要关注如下几个问题:

1) 寿县气象数据中包含大量新型探测资料,其中部分数据的解码、质量控制、统计加工存在标准规范欠缺,造成一些数据集尚以原始观测资料为主提供共享服务。完善统计加工规范,开发新型探测资料的质量控制算法,特别是基于人工智能的质量控制算法研制,在未来值得进一步深入挖掘。

2) 元数据对数据集的研制和后期的分析至关重要,现有科学试验过程中仪器设备的性能、维护维护、数据处理过程等元数据经常出现记录或移交不完整的情况,容易造成数据分析结论出现明显偏差。因此,形成完整规范的元数据是今后科学试验工作中需要关注并强化的环节之一。

3) 数据集研制规范尚需向深度统一,在研制过程中还存在各类数据的内容格式、检验评估深度和元数据描述的详略上存在差异,需要通过不断完善研制规范细节上实现。

4) 随着中外野外气象试验基地建设和常规气象观测业务中目标观测的推进,准业务化各类气象科学试验数据越来越多,如何与常规业务观测数据进行互补,提升业务的科学性,实现业务的持续创新性,是科学数据进一步发挥应用效益的重要方向。

### 参考文献

- [1] 邱玉珺,杨会文,倪婷,等.基于美国AMF寿县观测的云特性研究.大气科学学报,2012,35(1): 80-86.
- [2] 李万彪,刘盈辉,朱元竟,等.HUBEX试验期间地基微波辐射计反演资料的应用研究.气候与环境研究,2001(2): 203-208.

- [3] 张雁. 淮河流域能量与水分循环试验和研究 (HUBEX) 项目进展. 气象科技, 2000, (1): 11-15.
- [4] Lin J P, Lü D R. Retrievals of atmospheric boundary layer temperature and moisture profiles by using Atmospheric Emitted Radiance Interferometer (AERI) measurements in Shouxian. Chinese Science Bulletin, 2014, 59(8): 795-801.
- [5] Zhang J Q, Chen H B, Xia X A, Wang W C. Dynamic and thermodynamic features of low and middle clouds derived from atmospheric radiation measurement program mobile facility radiosonde data at Shouxian, China. Advances in Atmospheric Sciences, 2016, 33(1): 21-33.
- [6] 韩荣青, 李维京, 胡国权, 等. GAME再分析资料与NCEP再分析资料在1998年HUBEX试验期的对比分析. 应用气象学报, 2004(2): 141-151.
- [7] 中国气象局. QX/T 117—2010. 地面气象辐射观测资料质量控制. 北京: 中国气象局, 2010.
- [8] 中国气象局. QX/T 118—2010. 地面气象观测资料质量控制. 北京: 中国气象局, 2010.
- [9] 中国气象局. QX/T 102—2012. 气象资料的分类编码及命名规范. 北京: 中国气象局, 2012.
- [10] 中国气象局. QX/T 124—2011. 大气成分观测资料分类与编码. 北京: 中国气象局, 2011.
- [11] 中国气象局. 地面气象观测规范. 北京: 气象出版社, 2003.
- [12] 中国气象局. 基准辐射观测业务规范(试行). 2007.
- [13] 李集明, 熊安元. 气象科学数据共享系统研究综述. 应用气象学报, 2004(S1): 1-9.
- [14] 王国复, 徐枫, 吴增祥. 气象元数据标准与信息发布技术研究. 应用气象学报, 2005(1): 114-121.
- [15] 王小宁, 阴秀菊, 汤浪. 陕西省气象科学共享数据集的制作及处理. 陕西气象, 2009(4): 34-36.
- [16] 王丽吉, 魏爽, 刘熔熔. 浙江省国家地面气象站分钟降水数据集研制. 现代计算机, 2019(22): 80-83.
- [17] 谢伟, 王根, 温华洋. 寿县国家基准气候站自动与人工观测对比分析. 气象水文海洋仪器, 2016, 33(4): 27-32.
- [18] 吴必文, 温华洋, 惠军. 基于 $\Gamma$ 分布的气压序列非均一性检验方法初探. 应用气象学报, 2008(4): 496-501.
- [19] 中国气象局气候变化中心. 中国气候变化蓝皮书(2019). 北京: 科学出版社, 2019.
- [20] 于彩霞, 石春娥, 凌新锋, 等. 基于综合观测的中国中东部地区一次严重污染过程分析. 环境科学学报, 2020, 40(7): 2346-2355.

(上接157页)

域年均AGB年际变化呈现波动上升的趋势, 从1981年的836.8 g·m<sup>-2</sup>逐渐上升到2018年的983.3 g·m<sup>-2</sup>; 淮河流域年均AGB年代空间分布自1980年代到2010年代这4个年代间呈现出明显的增加趋势, AGB区域上大体分布为南高北低, 淮河流域的西部地区AGB也较高; 1981—2018年间淮河流域年均AGB空间变化趋势均大于0, 即淮河流域大范围的AGB表现为上升趋势, 但上升的速率有所不同。

2) 淮河流域最大AGB (AGB<sub>max</sub>) 时空变化。近38年间淮河流域逐年AGB<sub>max</sub>呈现波动上升的趋势, 从1981年的2111 g·m<sup>-2</sup>逐渐上升到2018年的2610 g·m<sup>-2</sup>; AGB<sub>max</sub>区域大体分布为南高北低, 淮河流域的西部地区AGB<sub>max</sub>也较高; 1981—2018年淮河流域AGB<sub>max</sub>变化趋势均大于0, 即淮河流域大范围的AGB<sub>max</sub>表现为上升趋势, 但上升的速率有所不同。

#### 参考文献

- [1] Zwicke M, Alessio G A, Thiery L, et al. Lasting effects of climate disturbance on perennial grassland above-ground biomass production under two cutting frequencies. Global Change Biology, 2013, 19(11): 3435-3448.
- [2] 马钦彦. 中国油松生物量的研究. 北京林业大学学报, 1989(4): 1-10.
- [3] 肖瑜. 巴山松天然林生物量和生产力的研究. 植物生态学报, 1992, 16(3): 227-233.
- [4] Fazakas Z, Nilsson M, Olsson H. Regional forest biomass and wood volume estimation using satellite data and ancillary data. Agricultural and forest meteorology, 1999, 98: 417-425.
- [5] Fang J, Chen A, Peng C, et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. Science, 2001, 292(5525): 2320-2322.
- [6] 朱丽梅, 胥辉. 思茅松单木生物量模型研究. 林业科技, 2009, 34(3): 19-23.
- [7] 朴世龙, 方精云, 贺金生, 等. 中国草地植被生物量及其空间分布格局. 植物生态学报, 2004, 28(4): 491-498.
- [8] 陈效速, 郑婷. 内蒙古典型草原地上生物量的空间格局及其气候成因分析. 地理科学, 2008, 28(3): 369-374.
- [9] 辛晓平, 张保辉, 李刚, 等. 1982—2003年中国草地生物量时空格局变化研究. 自然资源学报, 2009, 24(9): 1582-1592.
- [10] 朱源, 康慕谊, 刘全儒, 等. 贺兰山高山草甸生物多样性和地上生物量的关系. 应用与环境生物学报, 2007, (6): 771-776.
- [11] 郑阳, 吴炳方, 张森. Sentinel-2数据的冬小麦地上干生物量估算及评价. 遥感学报, 2017, 21(2): 318-328.
- [12] 唐志尧, 方精云. 植物物种多样性的垂直分布格局. 生物多样性, 2004(1): 20-28.
- [13] 刘洋, 刘荣高. 基于LTDR AVHRR和MODIS观测的全球长时间序列叶面积指数遥感反演. 地球信息科学学报, 2015, 17(011): 1304-1312.
- [14] 王维枫, 雷渊才, 王雪峰, 等. 森林生物量模型综述. 西北林学院学报, 2008, 23(2): 58-63.
- [15] 王天博, 陆静. 国外生物量模型概述. 中国农学通报, 2012, 28(16): 6-11.
- [15] Liu J, Chen J M, Cihlar J, et al. A process-based boreal ecosystem productivity simulator using remote sensing inputs. Remote Sensing of Environment, 1997, 62(2): 158-175.
- [16] Chen J M, Liu J, Cihlar J, et al. Daily canopy photosynthesis model through temporal and spatial scaling for remote sensing application. Ecological Modelling, 1999, 124: 99-119.
- [17] 王修信, 孙涛, 朱启疆, 等. 利用BEPS模型估算城区植被净初级生产力的时空变化. 干旱区资源与环境, 2014, 28(11): 1-5.
- [18] 黄金龙. 基于BEPS模型和遥感的森林地上生物量更新方法研究. 北京: 南京大学, 2014.