

2006–2015 年中国大气无机氮干沉降时空格局数据集

贾彦龙^{1,2}, 王秋凤^{2,3}, 朱剑兴^{2,3}, 陈智^{2,3}, 何念鹏^{2,3}, 于贵瑞^{2,3*}

1. 河北农业大学林学院, 河北保定 071000

2. 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

3. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100190

摘要: 干沉降是大气氮沉降的重要组成部分, 对陆地生态系统的结构和功能有重要影响。由于干沉降组分复杂、观测技术难度大, 我国干沉降观测的站点少、时间短, 如何获取精度高、时间序列长的干沉降空间格局数据是评估干沉降对我国生态系统影响的关键。本研究基于干沉降的站点观测数据和 NO_2 、 NH_3 遥感柱浓度数据, 分别建立了评估不同形态干沉降的遥感统计模型, 生成了 2006–2010 年、2011–2015 年 2 个时期中国无机氮干沉降通量的空间格局数据集, 包括颗粒态 NH_4^+ 、 NO_3^- 、气态 NO_2 、 HNO_3 、 NH_3 和总干沉降通量 6 个指标, 空间分辨率为 $10\text{ km} \times 10\text{ km}$, 数据格式为 tiff。本数据集是第一个基于地面实测数据生成的中国大气氮干沉降可公开共享数据集, 可为中国大气氮沉降的生态效应和环境效应评估提供数据基础, 也可为我国的氮素管理政策提供理论支持。

关键词: 中国; 干沉降; 遥感模型; 时空格局

数据库 (集) 基本信息简介

数据库 (集) 名称	2006–2015 年中国大气无机氮干沉降时空格局数据集
数据作者	贾彦龙、王秋凤、朱剑兴、陈智、何念鹏、于贵瑞
数据通信作者	于贵瑞 (yugr@igsnr.ac.cn)
数据时间范围	2006–2015 年
地理区域	中国大陆区域
空间分辨率	10000 m
数据量	27.0 MB
数据格式	*.tiff
数据服务系统网址	http://www.cnern.org.cn/data/meta?id=40575 http://www.sciencedb.cn/dataSet/handle/921
基金项目	河北省自然科学基金 (C2018204096); 国家自然科学基金项目 (31700377); 中国科学院战略性先导科技专项 (XDA19020302); 国家重点研发计划 (2016YFA0600104)。

文献 DOI:

10.11922/csdata.2019.0078.zh

数据 DOI:

10.11922/sciencedb.921

文献分类: 地球科学

收稿日期: 2019-12-18

开放同评: 2020-01-02

录用日期: 2020-02-25

发表日期: 2021-06-25

* 论文通信作者

于贵瑞: yugr@igsnr.ac.cn

数据库（集）组成	<p>数据集共包括6个指标：NH_4^+，大气颗粒态铵干沉降；NO_3^-，大气颗粒态硝干沉降；NO_2，气态二氧化氮干沉降；HNO_3，气态硝酸气干沉降；NH_3，气态氨气干沉降；Total dry N，为总干沉降，即5种类型干沉降之和。</p> <p>数据集包括12个数据文件，分别为不同时期各形态干沉降空间格局数据，命名规则为XXX_d_YYYY_YYYY.tif，其中XXX代表氮沉降的种类，d代表干沉降，YYYY_YYYY代表时间段。例如：$\text{HNO}_3\text{-d-2006-2010.tif}$是2006–2010年中国大气$\text{HNO}_3$干沉降空间格局数据。</p>
----------	---

引言

大气氮沉降是指大气气态和颗粒态含氮物质沉降到地表的过程，通过降水发生的为湿沉降，在没有降水时通过重力、湍流等作用发生的是干沉降^[1]。干沉降是大气氮沉降的重要组成部分，其在氮沉降中所占比例约为30%–70%，存在区域差异和动态变化^[2]。干沉降中的氮素可通过叶片的气孔进入植物或沉降到土壤，对生态系统的养分吸收、氮循环、温室气体平衡等过程有重要影响。而且，干沉降也是一种指示大气污染的指标，对人类健康、动植物生存、工农业生产等产生影响。因此，获取大气氮干沉降的时空格局数据是评估其生态效应和环境效应的关键。

中国是全球大气氮沉降的三大热点区之一^[3]，以前对于我国氮沉降的站点监测和空间评估主要集中在湿沉降^[4–6]。相比大气氮湿沉降，干沉降组分更加复杂，其无机态的形式主要有气态的 NO_2 、 HNO_3 、 NH_3 和颗粒态的 NH_4^+ 、 NO_3^- ，这给干沉降的监测带来了很大的难度，因此站点尺度的干沉降观测在我国非常少，这也为评估我国干沉降的空间格局带来了挑战。在干沉降空间格局评估上，大气化学传输模型是一种主要方法，但是其模拟结果具有较大的不确定性^[2]。近年来， NO_2 和 NH_3 遥感柱浓度数据先后释放，其具有空间分辨率高、覆盖区域广、时间连续性的特点，如何利用该数据评估大气氮干沉降的时空格局成为目前亟待解决的问题。

在本研究中，我们基于文献收集的大气氮干沉降站点数据，结合 NO_2 和 NH_3 遥感柱浓度数据，建立了评估大气氮干沉降遥感统计模型，生产了2006–2015年（5年一期，共2期）中国大气无机氮干沉降的空间格局数据集，指标包括气态的 NO_2 、 HNO_3 、 NH_3 和颗粒态的 NH_4^+ 、 NO_3^- 。本数据集的公开共享可为中国大气氮沉降的生态效应和环境效应评估提供数据基础，也可为我国的氮素管理政策提供理论支持。

1 数据采集和处理方法

在本研究中，中国大气无机氮干沉降时空格局数据集的生成是基于地面观测数据和遥感数据建立的遥感统计模型，因此，数据集的生产流程包括干沉降站点监测数据收集、遥感数据收集、遥感建模方法、干沉降速率数据处理和干沉降通量空间格局生成5个部分，主要流程见图1。

1.1 干沉降站点观测数据收集

本研究中，中国大气无机氮干沉降站点数据来自中国农业大学建立的氮沉降观测网络数据（43个站点）^[7–8]，数据指标包括颗粒态 NH_4^+ 、 NO_3^- ，气态 NO_2 、 HNO_3 、 NH_3 的年均浓度和年通量数据。由于干沉降观测方法难度较大，我国的干沉降数据一直较少，而该网络是目前我国观测较为系统、

方法统一、覆盖面广的干沉降观测网络，因此，本研究使用该网络数据作为建立遥感统计模型的站点数据。

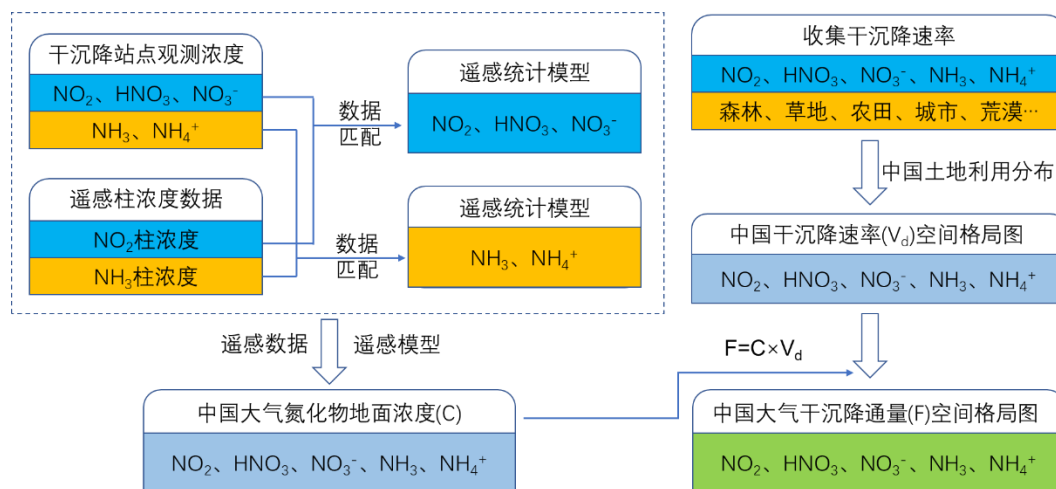


图1 中国大气无机氮干沉降空间格局生成主要流程示意图

1.2 遥感数据收集和处理

本研究利用的 NO_2 遥感数据来源于对流层排放监测网络服务中心 (TEMIS, www.temis.nl) 发布的 OMI 探测器 NO_2 对流层垂直柱浓度数据。我们下载了 2006–2015 年 NO_2 柱浓度的月尺度数据产品，数据空间分辨率为 0.125° ，数据单位为 $10^{15} \text{ molec}/\text{cm}^2$ ，数据格式为 ESRI grid。 NO_2 柱浓度的年均值由其月均值算术平均得到。

NH_3 遥感数据来自于红外大气探测干涉仪 (Infrared Atmospheric Sounding Interferometer, IASI)。搭载该仪器的卫星于 2006 年 10 月发射，2008 年开始有 NH_3 柱浓度数据产品发布。我们从 ESPRI Data Centre 下载了 2008–2015 年的 NH_3 柱浓度数据，数据单位为 $10^{15} \text{ molec}/\text{cm}^2$ 。应用 MATLAB 软件将原始数据产品处理为 ESRI grid 格式的 NH_3 柱浓度年均值数据，数据空间分辨率为 0.25° 。具体方法详见本研究团队的前期论文^[9]。

1.3 大气氮化物地面浓度的评估

根据氮排放、转化、沉降的过程，本研究团队基于大气氮化物地面浓度和 NO_2 、 NH_3 遥感柱浓度数据分别建立了估算颗粒态 NH_4^+ 、 NO_3^- 和气态 NO_2 、 HNO_3 、 NH_3 地面浓度的遥感统计模型^[9]。利用该模型和 NO_2 、 NH_3 遥感柱浓度数据，我们得到了 2006–2015 年 5 年一期共 2 个时期中国颗粒态 NH_4^+ 、 NO_3^- 和气态 NO_2 、 HNO_3 、 NH_3 地面浓度的空间分布图，空间分辨率为 $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ 。需要说明的是，由于从 2008 年才有 NH_3 遥感柱浓度数据，且 2010 年数据有缺失，因此 2006–2010 年颗粒态 NH_4^+ 和气态 NH_3 地面浓度的空间格局数据由 2008、2009 年两年的数据平均计算得出。

1.4 干沉降速率数据收集和处理

研究表明，土地利用类型是影响干沉降速率最主要的因素^[10]。我们收集了不同土地类型下颗粒态 NH_4^+ 、 NO_3^- 和气态 NO_2 、 HNO_3 、 NH_3 的沉降速率，土地利用类型涵盖了森林、草地、农田、城市、灌木、湿地、荒漠、水域等，并将干沉降速率按照土地利用类型进行平均，得到了各种土地利用类型 5 种氮化物的沉降速率的均值^[11]。然后，结合中国的土地利用分布图 (来自 Globcover^[12])，得

到了 5 种氮化物沉降速率的中国分布图。

1.5 大气氮干沉降通量的评估

基于推算法 (Inferential Method), 干沉降通量 (F_{dry}) 可以表达为氮化物的地面浓度 (C) 与其沉降速率 (V_d) 的乘积:

$$F_{dry} = C \times V_d \quad (1)$$

与其他形态干沉降不同, 气态的 NH_3 在以干沉降方式向下沉降的同时, 地表的下垫面也会同时会以挥发的形式向上排放 NH_3 [13], 这种过程被称为 NH_3 干沉降的补偿作用。因此, 有别于其他 4 种氮化物, NH_3 的干沉降通量的计算公式为:

$$F_{dry} = (C - C_0) \times V_d \quad (2)$$

其中, C_0 表示 NH_3 的补偿点浓度 (即当空气中的 NH_3 浓度超过补偿点时才发生净的 NH_3 向下沉降)。各种生态系统类型的 C_0 值从文献中得到 [14-15]。

根据公式 (1) 和 (2), 我们通过氮化物的地面浓度与沉降速率来计算了 2006–2015 年 5 年一期共 2 个时期中国颗粒态 NH_4^+ 、 NO_3^- 和气态 NO_2 、 HNO_3 、 NH_3 干沉降通量的空间分布图。

2 数据样本描述

2.1 命名格式

中国大气无机氮干沉降时空格局数据集的命名规则为: XXX_d_YYYY_YYYY.tiff, 其中 XXX 代表氮沉降的种类, d 代表干沉降, YYYY_YYYY 代表时间段。例如, $\text{HNO}_3_d_2006_2010.tiff$ 是 2006–2010 年中国大气 HNO_3 干沉降空间格局数据。

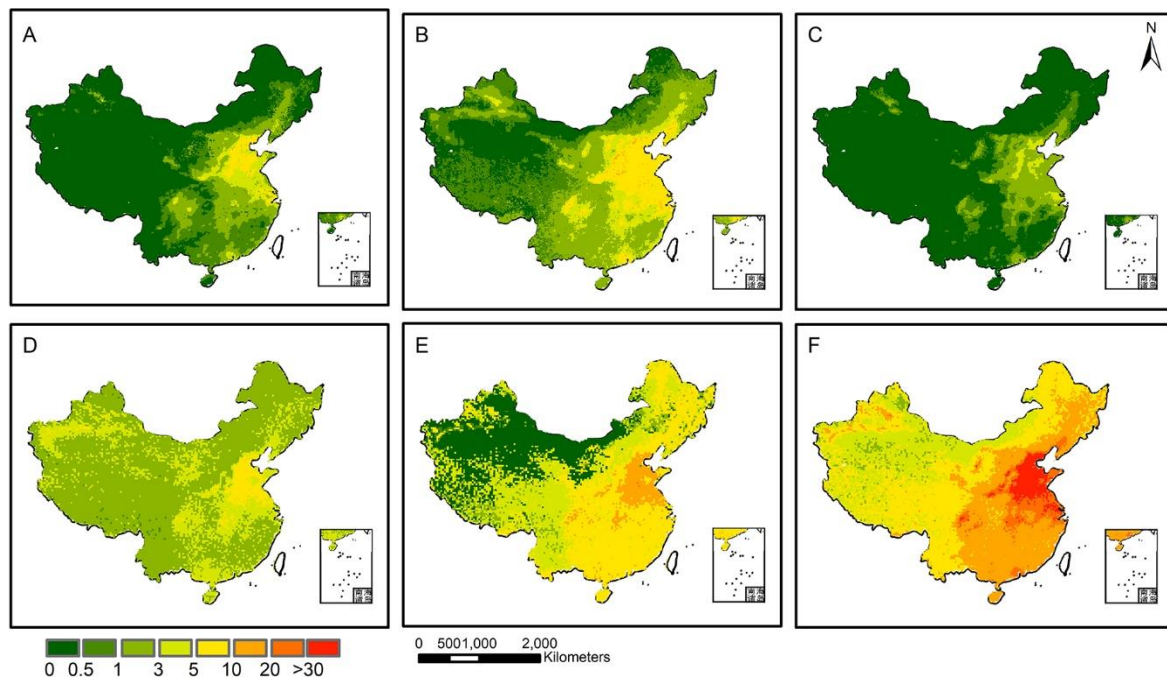
2.2 数据样本

本数据集包括 2006–2010 年、2011–2015 年 2 个时期中国颗粒态 NH_4^+ 、 NO_3^- 、气态 HNO_3 、 NO_2 、 NH_3 和总干沉降通量的空间格局分布图, 共 12 个文件。图 2 为 2011–2015 年中国颗粒态 NH_4^+ 、 NO_3^- 、气态 NO_2 、 HNO_3 、 NH_3 和总干沉降通量空间格局图的数据展示, 颜色由绿到红代表干沉降通量由低到高, 白色区域代表无数据区域。

3 数据质量控制和评估

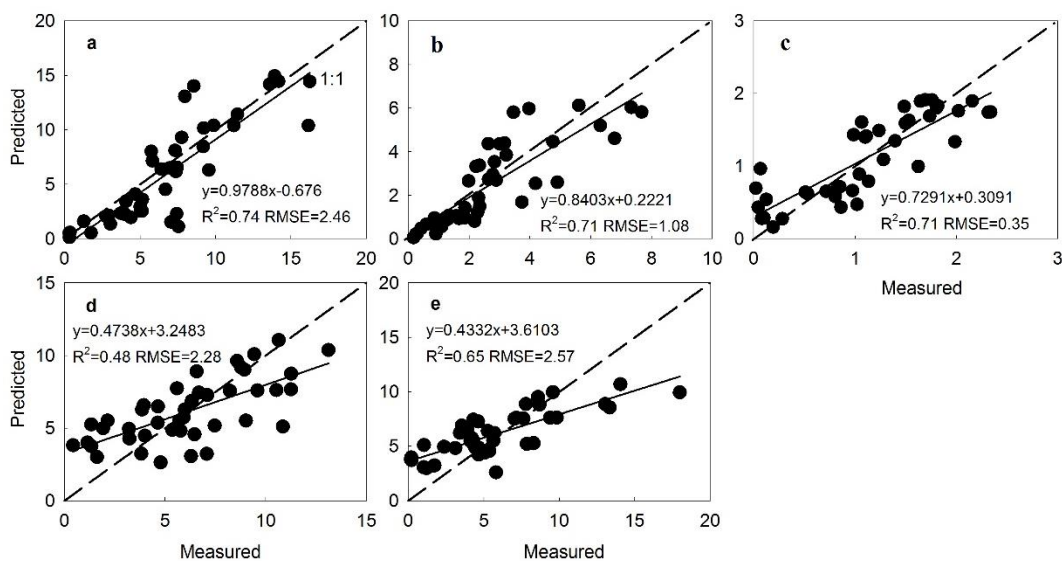
本研究中国干沉降空间格局的生成是基于实测站点的遥感统计模型完成。为了保证结果的可靠性, 需要对评估结果进行验证, 但是我国干沉降站点观测数据很少, 因此我们利用中国农业大学的氮沉降观测网络数据对干沉降结果进行了交叉验证。评价指标包括 R^2 、RMSE、回归系数、p 值 (图 3)。验证结果表明, 基于本研究遥感统计模型的结果能够较好地表达中国大气氮干沉降的空间格局分布趋势。但是, 仍然存在一些不确定性因素会影响对于干沉降通量的评估结果。这些不确定性因素主要来源于以下几个方面: (1) NO_2 遥感柱浓度产品。探测器对流层遥感柱 NO_2 浓度反演的误差来源主要是大气质量因子 (AMF) 的计算, 而 AMF 的不确定性为 10%–40% [16]。(2) 地面观测站数据。中国农业大学的氮沉降观测网络是目前国内比较系统的观测网

络,但由于干沉降观测技术难度较大,其观测也会存在一定误差。(3)干沉降速率的评估。干沉降速率的评估主要来自模型模拟的结果,存在较大的不确定性^[17],同时,干沉降速率的季节变异也会引起年干沉降通量评估的不确定性。(4) NH_3 干沉降的补偿点(C_0)。不同作物在不同生长阶段的 C_0 值是变化的^[18],这也在一定程度上会影响 NH_3 年干沉降通量的评估。鉴于此,我国应加强对大气氮干沉降的联网观测,增加观测点数量、分布的均匀性和长期性,同时增强对干沉降速率的数值模拟,以减少对干沉降空间评估的不确定性。



A: NO_2 ; B: HNO_3 ; C: NO_3^- ; D: NH_4^+ ; E: NH_3 ; F: 总干氮沉降。单位 $\text{Kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 。审图号: GS (2021) 2091。

图2 2011–2015 年中国大气无机氮干沉降通量空间格局图(数据不包括我国台湾省和南海诸岛)



a: NO_2 干沉降; b: HNO_3 干沉降; c: NO_3^- 干沉降; d: NH_3 干沉降; e: NH_4^+ 干沉降。单位: $\text{kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ 。

图3 干沉降空间格局评估结果的交叉验证

4 数据使用方法和建议

本数据集在 ArcGIS 环境下制作生成, 格式为 tiff, 可在支持以上格式的可视化地理信息系统软件中查看和使用。需要注意的是, 本数据集适用于对我国干沉降生态效应和环境效应的时空格局评估, 但对于单站点的评估可能会存在一定的误差。

致 谢

感谢氮沉降观测者和 NO_2 、 NH_3 遥感柱浓度观测分析者的辛勤付出和为科学进步的无私奉献!

数据作者分工职责

贾彦龙 (1986—), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为生态系统生态学。主要承担工作: 实验设计、数据整理与质量控制。

王秋风 (1973—), 女, 博士, 副研究员, 研究方向为全球变化与碳氮水循环。主要承担工作: 方法指导。

朱剑兴 (1991—), 男, 博士, 研究方向为生态系统生态学、全球变化生态学。主要承担工作: 数据提取和数据整理。

陈智 (1986—), 女, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为全球变化与碳循环。主要承担工作: 数据收集。

何念鹏 (1976—), 男, 博士, 研究员, 研究方向为生态系统形状、功能生态学、生物地理生态学。主要承担工作: 方法指导。

于贵瑞 (1959—), 男, 博士, 研究员, 研究方向为生态系统生态学、全球变化与碳氮水循环。主要承担工作: 总体方案设计。

参考文献

- [1] SEINFELD J H & PANDIS S N. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change, 2nd Edition[M]. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2006.
- [2] VET R, ARTZ R S, CAROU S, et al. A global assessment of precipitation chemistry and deposition of sulfur, nitrogen, sea salt, base cations, organic acids, acidity and pH, and phosphorus[J]. Atmospheric Environment, 2014, 93: 3-100.
- [3] DENTENER F, DREVET J, LAMARQUE F, et al. Nitrogen and sulfur deposition on regional and global scales: A multimodel evaluation[J/OL]. Global Biogeochemical Cycles, 2006, 20. Doi:10.1029/2005gb002672.
- [4] LIU X J, ZHANG Y, HAN W X, et al. Enhanced nitrogen deposition over China[J]. Nature, 2013, 494: 459-462.
- [5] JIA Y L, YU G R, HE N P, et al. Spatial and decadal variations in inorganic nitrogen wet deposition in

China induced by human activity[J/OL]. Scientific Reports, 2014, 4. DOI: 10.1038/srep03763.

[6] 贾彦龙, 王秋凤, 朱剑兴, 等. 1996–2015 年中国大气无机氮湿沉降空间格局数据集[J/OL]. 中国科学数据, 2019, 4(1). DOI: 10.11922/csdata.2018.0031.zh.

[7] XU W, LUO X S, PAN Y P, et al. Quantifying atmospheric nitrogen deposition through a nationwide monitoring network across China[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2015, 15: 12345-12360.

[8] XU W, ZHANG L, LIU X J. A database of atmospheric nitrogen concentration and deposition from the nationwide monitoring network in China[J/OL]. Scientific Data, 2019, 6. DOI: doi.org/10.1038/s41597-019-0061-2.

[9] 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.

[10] ZHANG L, BROOK J R & VET R. A revised parameterization for gaseous dry deposition in air-quality models [J]. Atmospheric Chemistry Physics, 2003, 3: 2067-2082.

[11] JIA Y L, YU G R, GAO Y N, et al. Global inorganic nitrogen dry deposition inferred from ground- and space-based measurements[J/OL]. Scientific Reports, 2016, 6: 19810. DOI: 10.1038/srep19810.

[12] ARINO O, RAMOS J, KALOGIROU V, et al. GlobCover 2009[C]. ESA Living Planet Symposium, Bergen, Norway, 2010.

[13] SUTTON M A, BURKHARDT J K, GUERIN D, et al. Development of resistance models to describe measurements of bi-directional ammonia surface-atmosphere exchange[J]. Atmospheric Environment, 1998, 32: 473-480.

[14] ZHANG L, WRIGHT L P & ASMAN W A H. Bi-directional air-surface exchange of atmospheric ammonia: A review of measurements and a development of a big-leaf model for applications in regional-scale air-quality models[J]. Journal of Geophysical Research, 2010, 115. DOI: 10.1029/2009JD013589.

[15] SHEN J L, TANG A H, LIU X J, et al. High concentrations and dry deposition of reactive nitrogen species at two sites in the North China Plain[J]. Environment Pollution, 2009, 157: 3106-3113.

[16] BOERSMA K F, ESKES H J, VEEFKIND J P, et al. Near-real time retrieval of tropospheric NO₂ from OMI[J]. Atmospheric Chemistry Physics, 2007, 7: 2103-2118.

[17] FLECHARD C R, NEMITZ E, SMITH R I, et al. Dry deposition of reactive nitrogen to European ecosystems: a comparison of inferential models across the NitroEurope network[J]. Atmospheric Chemistry Physics, 2011, 11: 2703-2728.

[18] DENMEAD O T, FRENEY J R, DUNIN F X. Gas exchange between plant canopies and the atmosphere: case-studies for ammonia. Atmospheric Environment, 2008, 42: 3394-3406.

论文引用格式

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/OL]. 中国科学数据, 2021, 6(2). (2021-04-19). DOI: 10.11922/csdata.2019.0078.zh.

数据引用格式

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[DB/OL]. Science Data Bank, 2019. (2019-12-18). DOI: 10.11922/sciencedb.921.

A spatial and temporal dataset of atmospheric inorganic nitrogen dry deposition in China (2006–2015)

JIA Yanlong¹, WANG Qiufeng^{2,3}, ZHU Jianxing^{2,3}, CHEN Zhi^{2,3},
HE Nianpeng^{2,3}, YU Guirui^{2,3*}

1. College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, P. R. China

2. Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, P. R. China

3. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, P. R. China

* Email: yugr@igsnr.ac.cn

Abstract: As an important component of atmospheric nitrogen deposition, dry deposition has considerable effect on the construction and function of terrestrial ecosystems. Because of the complexity of dry deposition and the demanding technology in its observation, there were few monitoring stations with a short of observation time in China. Therefore, the way to obtain a spatial pattern dataset with high resolution and long-term series of dry deposition observation is essential to evaluate its effect on China's ecosystems. Based on the ground monitoring data of dry deposition and remote sensing data of NO₂ and NH₃, we constructed remote sensing statistical models for different forms of dry deposition, and compiled the spatial dataset of dry deposition during 2006–2010 and during 2011–2015 in China. The dataset covers 6 dry deposition indices: atmospheric particulate ammonium (NH₄⁺), atmospheric particulate nitrate (NO₃), gaseous nitrogen dioxide (NO₂), gaseous nitric acid (HNO₃), gaseous nitric acid (NH₃), and the total nitrogen dry deposition flux, with a spatial resolution of 10 km×10 km in tiff format. This dataset is the first public and sharing dataset of the atmospheric nitrogen dry deposition based on ground monitoring data in China, which can provide basic data reference for the evaluation of its ecological and environmental effect and serve as theoretical support for making the policy about nitrogen management.

Keywords: China; dry deposition; remote sensing model; spatial and temporal pattern

Dataset Profile

Title	A spatial and temporal dataset of atmospheric inorganic nitrogen dry deposition in China (2006–2015)
Data corresponding author	YU Guirui (yugr@igsnr.ac.cn)
Data authors	JIA Yanlong, WANG Qiufeng, ZHU Jianxing, CHEN Zhi, HE Nianpeng, YU Guirui
Time range	2006 – 2015

Geographical scope	Mainland China
Spatial resolution	10000 m
Data volume	27 MB
Data format	*.tiff
Data service system	http://www.cnern.org.cn/data/meta?id=40575 http://www.sciencedb.cn/dataSet/handle/921
Sources of funding	Provincial Science Foundation of Hebei (C2018204096); National Natural Science Foundation of China (31700377); Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences (XDA19020302); National Key Research and Development Program of China (2016YFA0600104).
Dataset composition	<p>The dataset covers 6 dry deposition indices: atmospheric particulate ammonium (NH_4^+), atmospheric particulate nitrate (NO_3), gaseous nitrogen dioxide (NO_2), gaseous nitric acid (HNO_3), gaseous nitric acid (NH_3), and the total nitrogen dry deposition flux.</p> <p>The dataset comprises 12 files indicating the spatial pattern data of different forms of dry deposition in different periods. The name of each file follows the naming rule of XXX_d_YYYY_YYYY.tiff, in which “XXX”, “d” and “YYYY_YYYY” denote “the form of nitrogen deposition”, “dry” and “the study period”, respectively. For example, HNO3_d_2006_2010.tiff records the spatial pattern of gaseous HNO_3 dry deposition flux in China during 2006–2010.</p>