

中蒙俄经济走廊地区年降水量时空数据集 (1982–2018, 1-km/y)

李广帅^{1,2}, 于灵雪^{1*}, 刘廷祥², 卜坤¹, 杨久春¹, 焦悦^{1,3},
包玉龙⁴, 张树文¹

1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所遥感与地理信息研究中心, 长春 130102;
2. 长春师范大学地理科学学院, 长春 130032; 3. 辽宁师范大学生命科学学院, 大连 116081;
4. 内蒙古师范大学地理科学学院, 呼和浩特 010022

摘要: 对中蒙俄经济走廊地区近 37 年的降水进行空间插值分析, 选取最优模型去生成 1-km 网络数据集, 为中蒙俄经济走廊地区的经济发展、植被分布、气候变化和生态环境建设等的研究提供支持。基于中蒙俄经济走廊地区的 353 个气象站点的实测数据进行读取、合并、检查、统计空间插值批处理代码生成数据等操作, 利用经度、纬度作为 ANUSPLIN 软件插值的变量, 对降水进行开平方的预处理。采用薄盘光滑样条法得到了 1982–2018 年中蒙俄降水 1-km 网格插值数据集。采用相关系数 (R^2) 验证插值结果与气象站点数据的相关性, R^2 为 0.937, 7。采用平均绝对误差 (Mean Absolute Error, MAE) 和均方根误差 (Root Mean Square Error, RMSE) 作为精度评价指标, MAE 和 RMSE 平均值分别为 4.546, 4 mm、2.305, 7 mm。数据集包括: 1982–2018 年各年的年平均降水栅格数据。数据集存储为.tif 格式, 空间分辨率为 1 km, 由 185 个数据文件组成, 数据量为 5.43 GB。本栅格数据集在精准度和时间序列上较新且公开共享和下载服务, 可为中蒙俄国际走廊地区陆地生态系统、时空变化等方面的研究提供数据支持。

关键词: 中蒙俄经济走廊; 年降水量; ANUSPLIN; 1-km 网格

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2022.03.13>

CSTR: <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2022.03.13>

数据可用性声明:

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志 (中英文)》出版, 可获取:

<https://doi.org/10.3974/geodb.2022.02.07.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2022.02.07.V1>.

1 前言

“一带一路”建设是中国在新时期推动国际合作共赢所发起的倡议, 旨在“践行绿色发展的新理念, 倡导绿色、低碳、循环、可持续的生产生活方式, 加强生态环保合作, 建

收稿日期: 2022-03-03; 修订日期: 2022-06-01; 出版日期: 2022-09-25

基金项目: 中华人民共和国科学技术部 (2017FY101301)

*通讯作者: 于灵雪, 中国科学院东北地理与农业生态研究所, yulingxue@iga.ac.cn

数据引用方式: [1] 李广帅, 于灵雪, 刘廷祥等. 中蒙俄经济走廊地区年降水量时空数据集 (1982–2018, 1-km/y) [J]. 全球变化数据学报, 2022, 6(3): 425–432. <https://doi.org/10.3974/geodp.2022.03.13>.
[2] 李广帅, 刘廷祥, 卜坤等. 中蒙俄经济走廊地区年降水量时空数据集 (1982–2018, 1-km/y) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2022. <https://doi.org/10.3974/geodb.2022.02.07.V1>.
<https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2022.02.07.V1>.

设生态文明，共同实现 2030 年可持续发展目标”^[1]。而“中蒙俄经济走廊”是建设丝绸之路六大经济走廊之一。建设“中蒙俄经济走廊”将给沿线国家带来巨大的利益，但各地区资源环境条件的差异巨大，生态系统复杂多样，生态环境较为脆弱，对区域社会经济发展产生了深刻影响。因而加强环境、生物多样性、自然资源保护，应对气候变化、抗灾、减灾、提高灾害风险管理能力，促进旅游、智库、媒体、可再生能源和能效等领域务实合作，一系列的相关研究正在陆续展开^[2,3]。由此，需要建立一套高分辨率、长时间序列、年为单位的降水网格插值数据集，为建设“中蒙俄经济走廊”提供基础气象数据，为研究本区域环境、植被、水利、生态和社会等方面提供数据支持。

本数据基于 1982–2018 年“中蒙俄经济走廊”地区的 353 个气象站的日降水资料，应用国际目前使用较多的澳大利亚国立大学开发的软件 ANUSPLIN 气象数据空间插值方法，用经度和纬度作为 ANUSPLIN 软件插值的变量，采用薄盘光滑样条法（Thin Plate Splines，简称 TPS）生成 1982–2018 年“中蒙俄经济走廊”降水 1-km 网格插值数据集，并与气象站点真实值进行比较，检验数据集的准确性。

2 数据集元数据简介

《中蒙俄经济走廊地区年降水量时空数据集（1982–2018, 1-km/y）》^[4]的名称、作者、地理区域、数据年代、时间分辨率、空间分辨率、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

表 1 《中蒙俄经济走廊地区年降水量时空数据集（1982–2018, 1-km/y）》元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	中蒙俄经济走廊地区年降水量时空数据集（1982–2018, 1-km/y）
数据集短名	CMREC_Prcp
作者信息	李广帅 HGB-7976-2022，中国科学院东北地理与农业生态研究所, liguangshuai@iga.ac.cn 刘廷祥，长春师范大学地理科学学院, liutingxiang@ccsfu.edu.cn 卜坤，中国科学院东北地理与农业生态研究所, bukun@iga.ac.cn 杨久春，中国科学院东北地理与农业生态研究所, yangjiuchun@iga.ac.cn 焦悦，中国科学院东北地理与农业生态研究所, jiaoyue@iga.ac.cn 于灵雪，中国科学院东北地理与农业生态研究所, yulingxue@iga.ac.cn 包玉龙，内蒙古师范大学地理科学学院, baoyulong@imnu.edu.cn 张树文，中国科学院东北地理与农业生态研究所, zhangshuwen@iga.ac.cn
地理区域	地理范围包括 27°47'N–61°57'N，25°51'E–157°51'E，包括中国、蒙古、俄罗斯部分地区
数据年代	1982–2018 年
时间分辨率	年
空间分辨率	1 km
数据格式	.tif
数据量	5.43 GB
数据集组成	包括 37 个中蒙俄经济走廊地区年平均降水量数据文件。其中：yyyy_prcp.tif 是年平均降水量数据，如 1982_prcp.tif 是 1982 年平均降水数据
基金项目	中国科学院（XDA2003020301）；国家自然科学基金（42071025）；中华人民共和国科学技术部（2017FY101301）
数据计算环境	ArcGIS10.3、Python3.7

续表 1

条 目	描 述
出版与共享	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
服务平台	
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101，中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据（中英文）、通过《全球变化数据仓储电子杂志（中英文）》发表的实体数据集和通过《全球变化数据学报（中英文）》发表的数据论文。其共享政策如下：（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放，用户免费浏览、免费下载；（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源；（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报（中英文）》编辑部签署书面协议，获得许可；（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10%引用原则，即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%，同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[5]
数据和论文检索系统	DOI, CSTR, Crossref, DCI, CSCD, CNKI, SciEngine, WDS/ISC, GEOSS

3 数据研发方法

3.1 数据来源

本数据集中所采用的中国地区气象站点的数据来自于国家气象科学数据中心发布的《中国地面气候资料年值数据集》，选取研究区内的 108 个气象站点；俄罗斯和蒙古国地区的气象站点数据来自于美国国家海洋和大气管理局（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA）提供的每日观测数据，选取俄罗斯 224 个气象站点，蒙古国地区选取 21 个气象站点。最终共选取中蒙俄经济走廊 353 个地面气象站点（如图 1）。将三个国

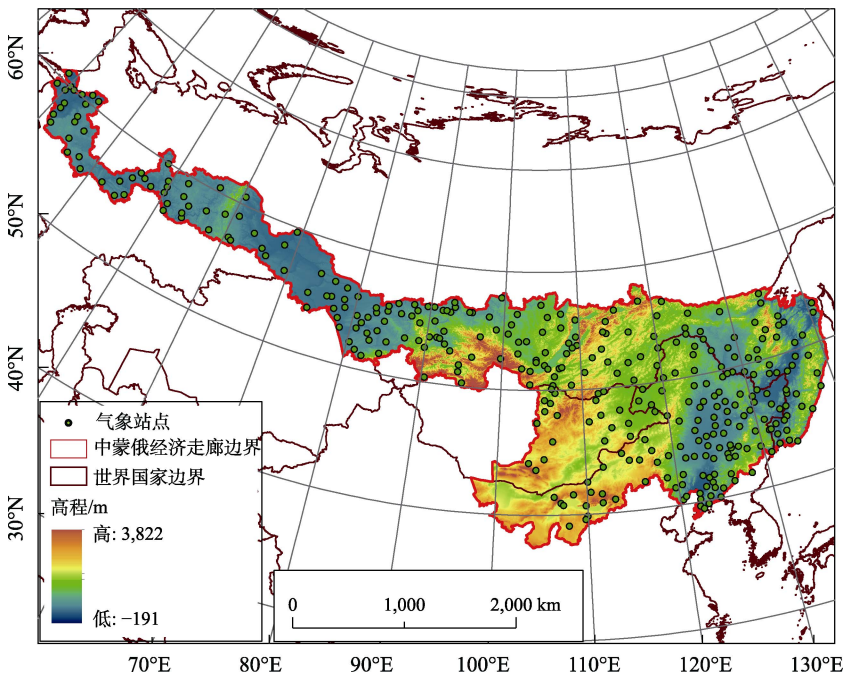


图 1 中蒙俄经济走廊地面气象站点空间分布及 DEM

家的降水数据整理成适合 ANUSPLIN 软件使用的格式以便接下来进行空间批量插值处理。中蒙俄经济走廊地区边界参考中蒙俄经济走廊地区平均气温时空数据集^[6]。

DEM (Digital Elevation Model) 数据来源于全球多分辨率地形高程数据 (Global Multi-resolution Terrain Elevation Data, GMTED2010), 是美国地质调查局 (United States Geological Survey, USGS) 和美国国家地理空间情报局 (National Geospatial-Intelligence Agency, NGA) 共同推出的全球陆地区域的空间数据集。该数据集发布于 2010 年, 空间水平分辨率为 30 弧秒。本研究中的 DEM 数据是以 GMTED2010 数据为基础, 通过 ArcGIS10.3 软件处理、空间综合计算, 得到空间分辨率为 1 km 的 DEM 数据 (如图 1)。再用 ArcGIS 转成 ASCII 格式留作备用。

3.2 研究方法

本年降水量时空数据集采用的是由澳大利亚国立大学研发的一个多元数据插值分析软件 (ANUSPLIN) ^[7, 8]。降水和气温插值主要应用了其中的 APLINA 和 LAPGRD 两个模块, 其内置的薄盘光滑样条函数插值效果远优于 Kriging 等插值方法^[9-11]。本数据集在对降水进行空间插值时, 采用最优空间插值模型即以经度和纬度为自变量的局部薄盘光滑样条函数^[12], 通过试验样条次数设置为 2 插值效果最好。

3.3 技术路线

本数据集的生成流程包括源数据输入、源数据处理、数据输出及空间插值四个部分 (主要流程如图 2)。源数据输入、处理和输出包括将 1982–2018 年中蒙俄经济走廊地区降水数据和气象站点信息整合在一块并使用 SPSS 软件处理成 ANUSPLIN 软件适用的数据格式、DEM 数据利用 ArcGIS 进行重采样为 1 km、裁剪和变换投影, 输出为 ASCII 格式留作插值备用。空间插值主要通过编写 splina.cmd 和 lapgrd.cmd 脚本在 ANUSPLIN 软件中完成插值。

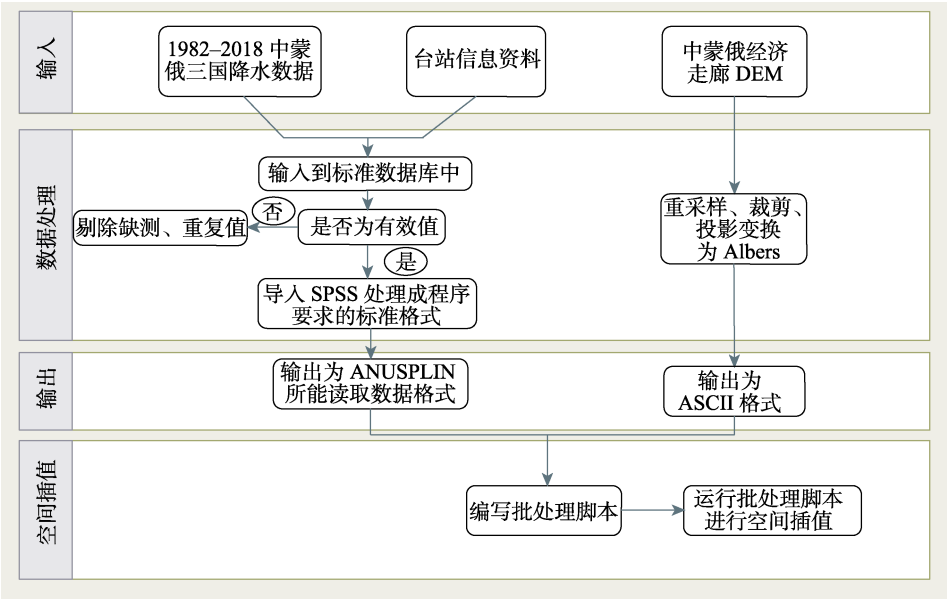


图 2 数据集研发技术流程图

3.4 误差分析

为验证 ANUSPLIN 插值的精度, 本文利用相关分析和误差分析对插值结果进行精度检验^[13–15]。检验气象站的预测值与观测值之间的相关性, 本文计算了相关系数 (R^2)。

$$R^2 = \frac{\sum_i (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (1)$$

式中, 分子表示使用预测值预测的残差; 分母表示使用样本均值预测所有数据得到的残差。当 $R^2 < 0$ 时, 表示模型预测结果的残差比基准模型 (用样本均值预测所有数据) 得到的残差还要大, 表示模型预测结果非常差。当 $R^2 > 0$ 时, R^2 越大表示模型预测结果的残差越小, 预测效果越好。

为检验插值结果误差, 本文计算了均方根误差 (RMSE) 和平均绝对误差 (MAE)。均方根误差可以作为衡量真实值与预测值误差的重要指标, 即当 RMSE 值越小, 则插值效果越好。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (x^{(i)} - y^{(i)})^2} \quad (2)$$

式中, m 为台站数, $x^{(i)}$ 和 $y^{(i)}$ 分别表示第 i 个气象站的观测值与预测值。平均绝对误差则反映的是真实误差, 是绝对误差的平均值。MAE 越小, 误差越小。

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - x_i|}{n} \quad (3)$$

式中, n 为台站数, y_i 和 x_i 表示第 i 个台站的观测值与估算值。

4 数据结果与验证

4.1 数据集组成

《中蒙俄经济走廊地区年降水量时空数据集 (1982–2018, 1-km/y)》包括 37 个中蒙俄经济走廊地区年平均降水量数据文件。其中, yyyy_prap.tif 是年平均降水量数据, 如 1982_prap.tif 是 1982 年平均降水数据。

4.2 数据结果

图 3 为 ANUSPLIN 软件插值得到的 1982–2018 年年平均降水量空间分布图。从图中可以看出, 整个中蒙俄经济走廊地区降水表现出明显的从沿海向内陆递减的规律。整个研究区低值区与高值区年降水量相差 1,000 mm 以上, 差异非常显著。中国的内蒙古西部以及蒙古国的南戈壁盟与东戈壁盟等区域年降水量不足 100 mm, 是中蒙俄经济走廊年降水量最少的地区。在俄罗斯哈卡斯共和国西部、克麦罗沃州东南部、克拉斯诺亚尔斯克边疆区南部、阿尔泰边疆区南部以及布里亚特共和国西南部地区年降水量大于 800 mm。而在太平洋沿岸中国的辽宁省和吉林省的东部地区以及俄罗斯的沿海边疆区、哈巴罗夫斯克边疆区东部地区降水可达 800 mm 以上。

降水与地形的关系十分密切, 尤其是沿海地带。中蒙俄经济走廊中中国东北地区东部分布有长白山地与小兴安岭, 距离海洋较近, 接收到的海洋水汽更多, 并且来自海洋暖湿

气流遇到山地时被迫抬升，形成更多的地形雨。而虽同在中国东北的大兴安岭地区则是由于距海较远，接收到的海洋暖湿水汽比小兴安岭与长白山地更少，而降水量较少。蒙古国的乌兰巴托市、色楞格盟、鄂尔浑盟以及肯特盟的部分地区受地形抬升的影响降水稍多。俄罗斯东部地区主要受到锡霍特山脉的阻挡，使太平洋的暖湿水汽截流在山地的迎风坡处。

图 4 为中蒙俄经济走廊地区 1982–2018 年年平均降水变化倾斜率空间分布图，中蒙俄

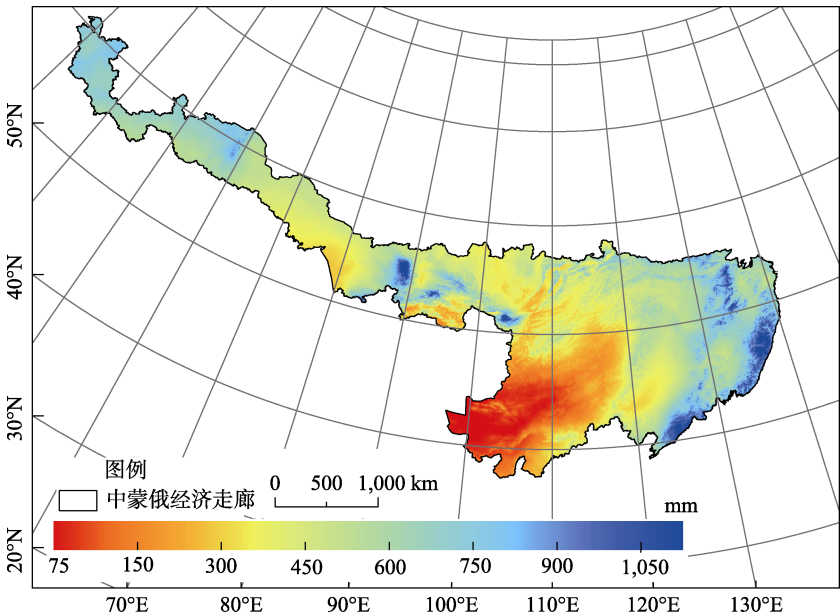


图 3 中蒙俄经济走廊地区多年平均降水分布图

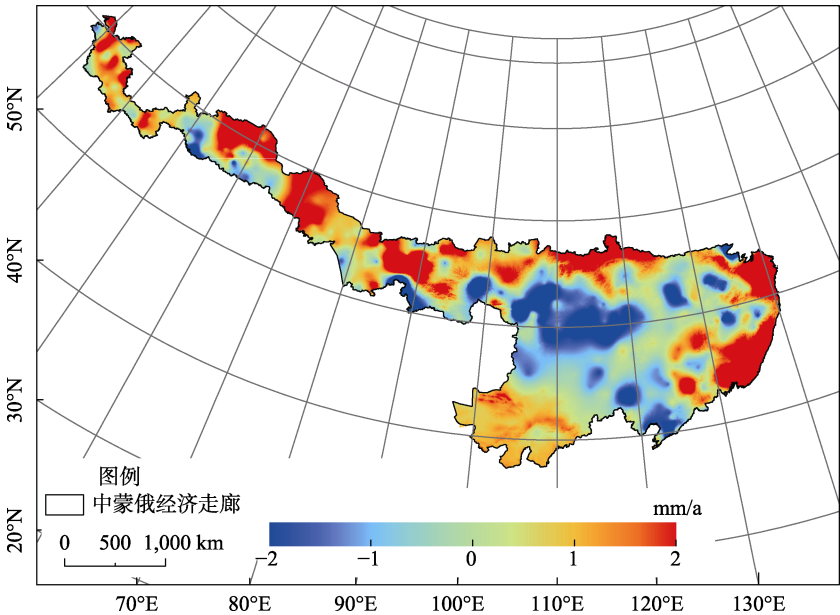


图 4 中蒙俄经济走廊地区 1982–2018 年年平均降水变化倾斜率空间分布

经济走廊地区的年降水量的变化趋势空间差异较大, 俄罗斯部分地区、中国内蒙古中部、南部地区、中国东北地区降水增加趋势相对明显, 降水倾向率为 0–5 mm/a 之间, 其中中国东北地区吉林省中部、黑龙江省的东部及北部地区年降水量增加趋势明显, 年降水量年增加幅度在 5 mm/a 左右, 内蒙地区年降水量以减少为主, 减少幅度在–3 mm/a 以内。俄罗斯大部分地区年降水量增加趋势明显, 伊尔库茨克北部地区、阿尔泰边疆区、阿穆尔州地区、以及俄罗斯远东的广大地区年降水量的年增加幅度都在 5 mm/a 以上。俄罗斯贝加尔湖周围地区降水量主要呈减小趋势, 大部分地区减小幅度在–3 mm/a 以内。此外, 蒙古部分年降水量下降趋势均较为明显, 大部分地区年降水量下降幅度在–1–3 mm/a 之间。

4.3 数据结果验证

利用中蒙俄经济走廊地区气象站点实测值与 ANUSPLIN 插值结果进行验证, 验证结果如图 5 所示。验证结果显示, ANUSPLIN 软件以经纬度作为自变量, 可以较好地模拟出中蒙俄经济走廊地区年平均降水的分布情况。相关系数 (R^2) 范围为 0.873,5–0.989,5, 均方根误差 (RMSE) 为 0.863,9–4.986,1 mm, 平均绝对误差 (MAE) 为 1.365,4–13.542,4 mm。从相关系数、均方根误差和平均绝对误差来看, ANUSPLIN 插值软件在插值中蒙俄经济走廊地区多年降水的精度上相对较高。

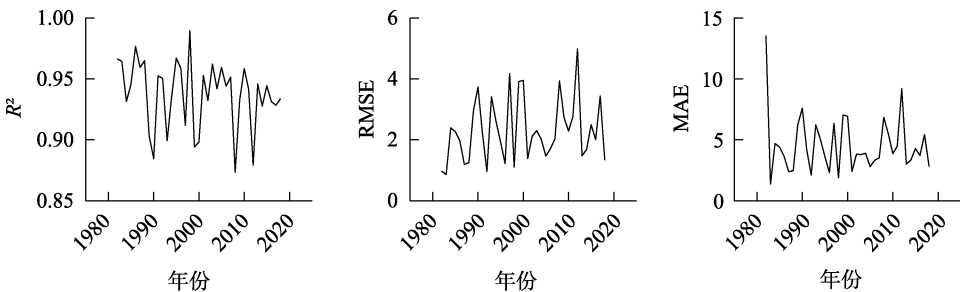


图 5 1982–2018 年平均降水与插值结果精度验证

5 讨论和总结

本数据集基于气象站点的降水数据、台站信息和该区域的 DEM 数据, 使用 ANUSPLIN 气象插值软件建立了 1982–2018 年中俄蒙经济走廊地区 1-km 的年降水量网格数据。利用气象站点的观测值与插值的结果进行验证, 验证结果表明: 相关系数 (R^2) 平均值为 0.937,7, 均方根误差 (RMSE) 平均值为 2.305,7 mm, 平均绝对误差 (MAE) 平均值为 4.546,4 mm, 通过验证说明 ANUSPLIN 插值的精度较高。该数据集反映了中蒙俄经济走廊地区 1982–2018 年年降水量的分布情况, 可为建设“中蒙俄经济走廊”提供基础气象数据, 为研究本区域环境、植被、水利、生态和社会等方面提供数据支持。

作者分工: 于灵雪、刘廷祥对数据集的开发做了总体设计; 李广帅、焦悦、包玉龙、卜坤、杨久春、张树文采集和处理了降水数据; 李广帅做了数据验证; 李广帅和于灵雪撰写了数据论文等。

利益冲突声明: 本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献

- [1] 汪万发, 许勤华. 推动生态文明建设与 2030 年可持续发展议程对接[J]. 国际展望, 2021, 13(4): 134–151, 157, 158.
- [2] 葛新蓉. 俄罗斯与东北亚国家能源合作的前景分析[J]. 商业研究, 2007(2): 153–155.
- [3] 富景筠. 中、蒙、俄三角关系与中国的战略选择[J]. 学习月刊, 2010(4): 43–45.
- [4] 李广帅, 刘廷祥, 于灵雪等. 中蒙俄经济走廊地区年降水量时空数据集(1982–2018, 1-km/y) [J/DB/OL] 全球变化数据仓储电子杂志, 2022. <https://doi.org/10.3974/geodb.2022.02.07.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2022.02.07.V1>.
- [5] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策 [J/OL] DOI: <https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05> (2017 年更新).
- [6] 焦悦, 于灵雪, 李广帅等. 中蒙俄经济走廊地区平均气温时空数据集(1982–2018, 1-km/y) [J/DB/OL] 全球变化数据仓储电子杂志, 2022. <https://doi.org/10.3974/geodb.2022.01.03.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2022.01.03.V1>.
- [7] Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., *et al.* Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas [J]. *International Journal of Climatology*, 2005, 25(15): 1965–1978.
- [8] 刘志红, McVicar, T. R., Niel, V., 等. 专用气候数据空间插值软件 ANUSPLIN 及其应用[J]. 气象, 2008(2): 92–100.
- [9] 谭剑波, 李爱农, 雷光斌. 青藏高原东南缘气象要素 Anusplin 和 Cokriging 空间插值对比分析[J]. 高原气象, 2016, 35(4): 875–886.
- [10] 廖荣伟, 曹丽娟, 张冬斌等. 中国地面气温和降水网格化数据精度比较[J]. 气象科技, 2017, 45(2): 364–374.
- [11] 钱永兰, 吕厚荃, 张艳红. 基于 ANUSPLIN 软件的逐日气象要素插值方法应用与评估[J]. 气象与环境学报, 2010, 26(2): 7–15.
- [12] 刘志红, McVicar, T. M., Niel, V., 等. 基于 ANUSPLIN 的时间序列气象要素空间插值[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008(10): 227–234.
- [13] 徐谢亲, 祝明霞. 基于 GIS 的江西省气温空间插值方法比较[J]. 绿色科技, 2021, 23(10): 21–24.
- [14] 孟清. 秦岭山地降水的时空变化及栅格数据集的获取[D]. 西安: 西北大学, 2021.
- [15] 白燕. 秦岭-大巴山地区 NDVI 时空变化趋势数据集(2000–2019)[J]. 全球变化数据学报, 2020, 4(4): 346–353. <https://doi.org/10.3974/geodp.2020.03.13>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2020.03.13>.