



文献 CSTR:
32001.14.11-6035.csd.2023.0009.zh



文献 DOI:
10.11922/11-6035.csd.2023.0009.zh
数据 DOI:
10.57760/sciencedb.o00119.00052

文献分类: 生物学

收稿日期: 2022-12-01
开放同评: 2023-01-30
录用日期: 2023-03-07
发表日期: 2023-06-21

2015–2020 年若尔盖高寒草甸碳水热通量观测数据集

陈卫楠^{1,2}, 王松^{1,2}, 牛书丽^{1,2*}

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院重点实验室, 北京 100101
2. 中国科学院大学, 资源与环境学院, 北京 100043

摘要: 高寒草甸由于其巨大的碳储量和广泛的分布, 是青藏高原最重要的生态系统之一。了解高寒草甸生态系统中的碳通量对于理解和预测高寒地区碳储存的动态至关重要。本数据集为若尔盖 (红原) 高寒草甸生态系统 2015–2020 年通量观测数据, 数据采集地位于青藏高原东缘的红原县高寒草甸生态系统野外科学观测研究站, 基于开路式涡度相关系统, 同时观测了二氧化碳通量、甲烷通量以及水热通量。本站数据通过中国通量观测研究网络 (ChinaFLUX) 数据处理体系形成了一套长期连续标准化的生态系统碳水通量和关键气象要素数据集。本数据集对准确评价青藏高原高寒草甸生态系统碳水通量在区域和全球碳水循环中的地位和作用具有重要意义。

关键词: 碳水热通量; 气象因子; 高寒草甸; 涡度相关法

数据库 (集) 基本信息简介

数据库 (集) 名称	2015–2020 年若尔盖高寒草甸碳水热通量观测数据集
数据通信作者	牛书丽 (sniu@igsnr.ac.cn)
数据作者	陈卫楠、王松、牛书丽
数据时间范围	2015–2020 年
地理区域	32°48' N, 102°33' E
数据量	23.1 MB
数据格式	*.xlsx
数据服务系统网址	https://dx.doi.org/10.57760/sciencedb.o00119.00052
基金项目	国家自然科学基金 (31988102), 青藏高原第二次科考 (2019QZKK0302)。
数据库 (集) 组成	本数据集为 30 分钟、日、月和年尺度的碳、水、能量及气象要素数据集, 数据集共包括 8 个数据文件, 其中包含气象数据和通量数据两类, 每类各 4 个文件。

引言

高寒草甸生态系统是青藏高原最重要的生态系统之一, 面积约 $70 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占整个高原的约 35%^[1-2]。由于低温、高湿度、土壤腐殖质分解率低和有机质积累率高^[3], 高寒草甸生态系统中储存了约 16.2 Gt 的碳, 约占整个高原的 48%^[4-5]。

* 论文通信作者

牛书丽: sniu@igsnr.ac.cn

同时，高寒草甸生态系统对环境变化高度敏感^[6-8]。该区域的温度升高（每十年 0.3~0.4 °C）比全球平均值快两倍^[9]，并且随着海拔的升高，温度升高更为显著^[10]。因此，持续观测、准确量化和理解高寒生态系统碳通量特征至关重要。

自 2015 年开始的若尔盖高寒草甸生态系统的碳水通量观测，至今已积累了比较完整的长期碳水通量观测数据。本数据集包含 2015–2020 年若尔盖站观测 CO₂、CH₄、H₂O 通量以及常规气象数据，其共享与使用将为区域乃至全球碳水通量和气候变化研究提供坚实的数据基础。

1 数据采集和处理方法

1.1 数据采集地概况

若尔盖站（原红原站，下同）位于四川省阿坝州红原县，地处青藏高原东缘，地理坐标为东经 102°33′，北纬 32°48′，海拔约 3500 m。红原县属大陆性高原寒温带季风气候，四季不分明，气候偏冷，长冬无夏，春秋季节皆短促。根据多年气象资料统计，该地区年均温为 1.5 °C，最热月（7 月）平均温度 11.1 °C，最冷月（1 月）平均温度 -9.7 °C，昼夜温差大。年均降雨量为 747.0 mm，雨量充足，雨热同期，降雨主要集中在植物的生长季（5–9 月），约占全年降雨量的 80%。研究区属于高寒草甸生态系统，植物群落组成以适应高寒环境的禾本科、莎草科和杂类草为主。主要优势种包括：禾本科的发草（*Deschampsia cespitosa*）、草地早熟禾（*Poa pratensis*）、垂穗披碱草（*Elymus nutans*）和甘青剪股颖（*Agrostis hugoniana*）；莎草科的四川嵩草（*Carex setschwanensis*）；豆科的甘肃棘豆（*Oxytropis kansuensis*）、野豌豆（*Vicia sepium*）；杂类草主要有草玉梅（*Anemone rivularis*）、蕨麻（*Argentina anserina*）、珠芽蓼（*Bistorta vivipara*）、黄帚橐吾（*Ligularia virgaurea*）等。样地土壤类型为亚高山草甸土，土壤厚度为 0.3~0.5 m，表层土壤容重为 0.89 g cm⁻³，总碳含量为 37.36 g kg⁻¹，总氮含量约为 3.51 g kg⁻¹ ^[11]。

1.2 数据采集方法

本数据集涉及碳水热通量数据集的数据均为仪器自动观测，并储存在相应数据采集器中，具体的仪器及对应型号、仪器制造商及数据采集相关仪器等信息详见表 1。碳水热通量数据的采样频率为 10 Hz，经仪器计算并存储其 30 min 的平均通量数据于 CR5000 中；常规气象要素数据的采样频率为 1 min，计算并存储 30 min 的平均数据于 CR23X 中。

表 1 若尔盖高寒草甸的观测项目所用分析仪相关信息

Table 1 Information of analyzers used for the observation in Zoige alpine meadow

观测系统	测定要素	仪器型号	仪器制造商	数据采集器	数据采集制造商
CO ₂ 、H ₂ O、感热通量	三维超声风速仪	CSAT3	CAMPBELL	CR5000	CAMPBELL
	CO ₂ /H ₂ O/CH ₄ 快速红外气体分析仪	LI-7500/LI-7700	LI-COR		
常规气象要素	空气温度/湿度	HMP45C	VAISALA	CR23X	CAMPBELL
	降雨量	52203	RM YOUNG		
	总辐射	CM111	KIPP & ZONEN		
	净辐射	XNR-1	KIPP & ZONEN		

观测系统	测定要素	仪器型号	仪器制造商	数据采集器	数据采集制造商
	光合有效辐射	LI190SB	LI-COR		
	风速	034A-L	RM YOUNG		
	风向	014A	RM YOUNG		
	压力	CS105	VAISALA		
	红外温度传感器	IRTS-P	POGEE		
	土壤温度	105T	CAMPBELL		

1.3 数据处理和数据产品加工方法

本数据集发布的数据遵循中国通量观测研究网络（China FLUX）制定的标准化的数据处理和质量控制技术体系^[12]。

数据质量控制：本数据集采用国际普遍认可的涡度数据质量控制方法，包括原始数据分析、超声虚温校正、坐标轴旋转、WPL 校正、频率损失校正、冠层储存项校正、稳态测试与湍流积分特性、夜间摩擦风速阈值的筛选和异常值剔除，以及能量闭合评价^[13]。

关于缺失数据插补：通过线性内插的方法插补短时间（小于 2 小时）缺失的通量和气象观测数据；采用平均日变化法或周边临近气象站数据插补缺失时间较长的气象数据^[13]。

缺失时间较长的 CO₂ 通量数据基于非线性回归的方式插补。其中夜间缺失数据通过基于土温和土壤水分建模的 Arrhenius 方程进行插补。白天缺失的数据利用与光合有效辐射之间的直角双曲线方程进行插补，最小的插补时间窗口为 7 天，如果数据缺失大小超过 7 天，会继续增大窗口，最大窗口为 60 天。

CO₂ 通量数据的拆分：本数据集使用基于夜间数据的拆分算法进行数据拆分。首先，基于夜间的观测数据建立的 Arrhenius 方程插补得到全天的生态系统呼吸数据，估算数据窗口为 7 天，如果数据缺失大小超过 7 天，则继续增大窗口，最大窗口为 60 天；白天 CO₂ 通量插补完整数据和生态系统呼吸之和即为总生态系统初级生产力。以上所有处理由 matlab 完成，详细处理过程及相应代码参见中国通量观测研究联盟网站（<http://www.chinaflux.org/index.aspx>）^[14]。

2 数据样本描述

2.1 数据子集与数据量

本数据集为若尔盖站（原红原站）2015–2020 年的 6 年碳水热通量观测数据，CO₂ 通量包括净生态系统 CO₂ 交换量（Net ecosystem exchange of CO₂ fluxes, NEE）、生态系统呼吸（Ecosystem respiration, ER）和总初级生产力（Gross primary productivity, GPP），H₂O 通量包括潜热通量（Latent heat flux, LE）和显热通量（Sensible heat flux, H）。一共 8 个 EXCEL 数据文件，分为气象数据文件和通量数据文件两类。每类数据各 4 个文件，分别是 30 分钟、日、月和年尺度，总数据量 23.1 MB。其中，本站的建立时间为 2015 年 5 月，故 2015 年的数据从 2015 年 5 月 17 日开始记录。2019 年由于设备故障，通量数据缺失，仅有气象数据。且由于插补方法限制，本数据集中的甲烷数据为原始数据，未进行插补。

2.2 数据文件示例

表 2 为若尔盖站 30 分钟气象和通量数据表说明，所有数据项数据均以数字形式呈现，所有数据缺失值标为-9999。

表 2 若尔盖站常规气象数据及通量表说明

Table 2 Description of the conventional meteorological data and fluxes of Zoige Station

数据项	计量单位	观测高度	数据项说明
年	-	-	年份
月	-	-	月份
日	-	-	日期
时	-	-	小时
分	-	-	分钟
空气温度	°C	1.2 m, 2.5 m	各层平均空气温度
空气湿度	%	1.2 m, 2.5 m	各层平均相对湿度
风速	m/s	1.2 m, 2.5 m	各层平均风速
风向	degree	2.5 m	平均风向
大气压	kPa	2.5 m	大气压强
净辐射	W/m ²	2.5 m	净辐射
光合有效辐射	μmol/(m ² s ⁻¹)	2.5 m	光合有效辐射
土壤温度	°C	-5 cm, -10 cm, -20 cm, -30 cm, -50 cm	各层土壤温度
土壤体积含水量	m ³ /m ³	-5 cm, -10 cm, -20 cm	土壤水分
降雨量	mm	50 cm	总降雨量
NEE	g CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	2.5 m	净生态系统 CO ₂ 交换量
RE	g CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	2.5 m	生态系统呼吸
GPP	g CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	2.5 m	生态系统总初级生产力
CH ₄	g CH ₄ m ⁻² s ⁻¹	2.5 m	净生态系统 CH ₄ 通量
LE	W m ⁻²	2.5 m	潜热通量
HS	W m ⁻²	2.5 m	感热通量

3 数据质量控制和评估

若尔盖站 CO₂ 通量 2015–2020 年半小时尺度数据能量闭合分析表明，本数据集能量闭合方程斜率为 1.17，截距为 4，R² 为 0.70，平衡比率约为 0.83。能量不闭合问题在草地生态系统中比较普遍，通常在 30% 以内，故若尔盖站也处在通量观测能量平衡的正常变率以内。在半小时尺度上，若尔盖站不同年份 CO₂ 通量、CH₄ 通量、潜热通量和感热通量的有效观测数据比例分别为 35.4% ± 3.7%、39.7% ± 26.2%、37.7% ± 8.7% 和 43.4.6% ± 6.4%（表 3）。数据缺失的原因主要分为两类：一类是因为在高原严酷恶劣的环境条件下，受电力、仪器故障、探头结霜、天气突变等影响，通量数据不可避免的出现缺失；另一类是数据处理原因，主要是在数据质量控制过程中进行了以下数据剔除：降雨发生时的数据剔除；夜间呼吸负值的数据剔除；夜间摩擦风速低于阈值时的数据剔除；非生长季

负值的数据剔除；三倍标准差之外的数据剔除等，进而引起有效观测数据降低。基于本数据集已发表数篇关于若尔盖高寒草甸生态系统碳水热通量变化特征及其影响机制的论文，证明本数据集具有一定的代表性^[15-17]。

表 3 若尔盖站半小时尺度上通量数据有效数据比例（%）

Table 3 Valid data proportion of flux data on the half-hourly scale at Zoige Station (%)

年份	CO ₂ 通量	CH ₄ 通量	潜热通量	感热通量
2016	32.8	72.2	47.7	51.5
2017	37.7	49.6	26.8	37.8
2018	31.8	17.4	36.0	38.7
2019	-	-	-	-
2020	39.3	19.6	40.1	45.6

4 数据使用方法和建议

本数据集收录了若尔盖站高寒草甸生态系统碳水通量数据和常规气象数据，适用于高寒生态系统碳水循环的相关研究，可应用于模型开发、验证，亦适用于不同站点数据的比较分析。本数据集采用 China FLUX 规定的标准技术方法进行数据质量和质量控制。但由于不同站点的数据处理和质

量控制标准存在差异，在进行多站点分析或模型开发验证时须考虑站点数据之间的差异性。

本数据集可通过链接 Science Data Bank 在线服务网址（<https://www.scidb.cn/>）下载数据。

数据作者分工职责

陈卫楠（1993—），女，河南省周口市人，博士研究生，研究方向为高寒生态系统碳通量机理机制研究。主要承担工作：数据整理和文章撰写。

王松（1996—），男，湖北省宜昌市人，博士研究生，研究方向为全球变化与高寒生态系统碳循环。主要承担工作：文章撰写。

牛书丽（1976—），女，河南省南阳市人，博士，研究员，研究方向为全球变化与陆地生态系统碳循环。主要承担工作：实验设计与指导，文章的审核与修改。

参考文献

- [1] NI J. Carbon storage in grasslands of China[J]. Journal of Arid Environments, 2002, 50(2): 205–218. DOI: 10.1006/jare.2001.0902.
- [2] NIU B, HE Y T, ZHANG X Z, et al. CO₂ exchange in an alpine swamp meadow on the central Tibetan Plateau[J]. Wetlands, 2017, 37(3): 525–543. DOI: 10.1007/s13157-017-0888-2.
- [3] WANG S Q, ZHOU C H. Estimating soil carbon reservoir of terrestrial ecosystem in China[J]. Geographical Research, 1999, 18(4): 349–356.
- [4] SAITO M, KATO T, TANG Y H. Temperature controls ecosystem CO₂ exchange of an alpine meadow on the northeastern Tibetan Plateau[J]. Global Change Biology, 2009, 15(1): 221–228. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2008.01713.x.

- [5] WANG G X, QIAN J, CHENG G D, et al. Soil organic carbon pool of grassland soils on the Qinghai-Tibetan Plateau and its global implication[J]. *Science of the Total Environment*, 2002, 291(1/2/3): 207–217. DOI: 10.1016/S0048-9697(01)01100-7.
- [6] CHENG G D, WU T H. Responses of permafrost to climate change and their environmental significance, Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2007, 112(F2): F02S03. DOI: 10.1029/2006jg000631.
- [7] LIU X D, CHEN B D. Climatic warming in the Tibetan Plateau during recent decades[J]. *International Journal of Climatology*, 2000, 20(14): 1729–1742. DOI: 10.1002/1097-0088(20001130)20: 14<1729: aid-joc556>3.0.co;2-y.
- [8] XU W X, LIU X D. Response of vegetation in the Qinghai-Tibet Plateau to global warming[J]. *Chinese Geographical Science*, 2007, 17(2): 151–159. DOI: 10.1007/s11769-007-0151-5.
- [9] CHEN H, ZHU Q A, PENG C H, et al. The impacts of climate change and human activities on biogeochemical cycles on the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Global Change Biology*, 2013, 19(10): 2940–2955. DOI: 10.1111/gcb.12277.
- [10] LIU X D, CHEN B D. Climatic warming in the Tibetan Plateau during recent decades[J]. *International Journal of Climatology*, 2000, 20(14): 1729–1742. DOI: 10.1002/1097-0088(20001130)20: 14<1729: aid-joc556>3.0.co;2-y.
- [11] SONG B, NIU S L, LI L H, et al. Soil carbon fractions in grasslands respond differently to various levels of nitrogen enrichments[J]. *Plant and Soil*, 2014, 384(1): 401–412. DOI: 10.1007/s11104-014-2219-1.
- [12] 张雷明, 罗艺伟, 刘敏, 等. 2003—2005 年中国通量观测研究联盟(China FLUX)碳水通量观测数据集[J]. *中国科学数据*, 2019, 4(1). (2018-12-29). DOI: 10.11922/csdata.2018.0028.zh. [ZHANG L M, LUO Y W, LIU M, et al. Carbon and water fluxes observed by the Chinese Flux Observation and Research Network(2003-2005)[J]. *China Scientific Data*, 2019, 4(1). (2018-12-29). DOI: 10.11922/csdata.2018.0028.zh.]
- [13] 戴晓琴, 王辉民, 徐明洁, 等. 2003—2010 年千烟洲人工针叶林碳水通量观测数据集[J]. *中国科学数据*, 2021, 6(1). (2020-06-02). DOI: 10.11922/csdata.2020.0036.zh. [DAI X Q, WANG H M, XU M J, et al. An observation dataset of carbon and water fluxes of artificial coniferous forests in Qianyanzhou(2003-2010) [J]. *中国科学数据*, 2021, 6(1). (2020-06-02). DOI: 10.11922/csdata.2020.0036.zh.]
- [14] 李春, 何洪林, 刘敏, 等. ChinaFLUX CO₂ 通量数据处理系统与应用[J]. *地球信息科学*, 2008, 10(5): 557–565. DOI: 10.3969/j.issn.1560-8999.2008.05.002. [LI C, HE H L, LIU M, et al. The design and application of CO₂ flux data processing system at ChinaFLUX[J]. *Geo-Information Science*, 2008, 10(5): 557–565. DOI: 10.3969/j.issn.1560-8999.2008.05.002.]
- [15] CHEN W N, WANG B X, ZHANG F Y, et al. Hysteretic relationship between plant productivity and methane uptake in an alpine meadow[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2020, 288/289: 107982. DOI: 10.1016/j.agrformet.2020.107982.
- [16] CHEN W N, ZHANG F Y, WANG B X, et al. Diel and seasonal dynamics of ecosystem-scale methane flux and their determinants in an alpine meadow[J]. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 2019, 124(6): 1731–1745. DOI: 10.1029/2019JG005011.
- [17] WANG S, CHEN W N, FU Z, et al. Seasonal and inter-annual variations of carbon dioxide fluxes and their determinants in an alpine meadow[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2022, 13: 894398. DOI: 10.3389/fpls.2022.894398.

论文引用格式

陈卫楠, 王松, 牛书丽. 2015–2020 年若尔盖高寒草甸碳水热通量观测数据集[J/OL]. 中国科学数据, 2023, 8(2). (2023-06-21). DOI: 10.11922/11-6035.csd.2023.0009.zh.

数据引用格式

陈卫楠, 王松, 牛书丽. 2015–2020 年若尔盖高寒草甸碳水热通量观测数据集[DS/OL]. Science Data Bank, 2023. (2023-02-21). DOI: 10.57760/sciencedb.o00119.00052.

A dataset of carbon, water and heat fluxes of Zoige alpine meadow from 2015 to 2020

CHEN Weinan^{1,2}, WANG Song^{1,2}, NIU Shuli^{1,2*}

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

2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100043, P. R. China

*Email: sniu@igsnr.ac.cn

Abstract: With abundant and widespread carbon, Alpine meadow boasts one of the most important ecosystems on Qinghai-Tibet Plateau. It is essential to observe the carbon, water and heat fluxes in alpine meadow ecosystem for understanding and predicting the dynamics of carbon storage in alpine regions. This dataset includes the observation data of carbon, water and heat fluxes in Zoige alpine meadow from 2015 to 2020. The data collection work was carried out at the Field Scientific Observation and Research Station of Hongyuan alpine meadow ecosystem on the eastern edge of the Qinghai-Tibet Plateau. Based on the open-circuit vorticity correlation system, the observation work also covers the carbon dioxide flux, methane flux, water and heat flux. The data of this station has been sorted out a set of long-term, continuous and standardized datasets of ecosystem carbon and water fluxes and key meteorological elements through the data processing system of China Flux Observation and Research Network (ChinaFLUX). This dataset is of great significance for accurately evaluating the position and role of carbon and water fluxes in the regional and global carbon and water cycles of the alpine meadow ecosystem in the Qinghai-Tibet Plateau.

Keyword: carbon-water-heat fluxes; meteorological factor; alpine meadow; eddy covariance methods

Dataset Profile

Title	A dataset of carbon, water and heat fluxes of Zoige alpine meadow from 2015 to 2020
Data corresponding author	NIU Shuli (sniu@igsnr.ac.cn)
Data author(s)	CHEN Weinan, WANG Song, NIU Shuli
Time range	2015–2020

Geographical scope	32.8 °N, 102.6 °E
Data volume	23.1 MB
Data format	*.xlsx
Data service system	https://dx.doi.org/10.57760/sciencedb.o00119.00052
Sources of funding	National Natural Science Foundation of China (31988102); the Second Tibetan Plateau Scientific Expedition and Research (STEP) program (2019QZKK0302).
Dataset composition	This dataset covers carbon, water, energy and meteorological elements on half-hourly, daily, monthly and yearly scales. It consists of 8 subsets in total, which contains two types of data, namely meteorological data and flux data. There are 4 files for each type.