

2003–2010 年千烟洲人工针叶林碳水通量观测数据集

戴晓琴^{1,2}, 王辉民^{1,2*}, 徐明洁^{1,3}, 杨风亭^{1,2}, 温学发^{1,2}, 陈智^{1,2},

张雷明^{1,2*}, 孙晓敏^{1,2}, 于贵瑞^{1,2}

ISSN 2096-2223

CN 11-6035/N



文献 DOI:

10.11922/csdata.2020.0036.zh

数据 DOI:

10.11922/sciencedb.993

文献分类: 地球科学

收稿日期: 2020-05-09

开放同评: 2020-07-01

录用日期: 2021-01-27

发表日期: 2021-03-29

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千烟洲试验站, 北京 100101

2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100190

3. 沈阳农业大学农学院, 沈阳 110866

摘要: 全球变化背景下陆地生态系统碳水循环过程、控制机理及其对环境变化的响应是生态学与全球变化科学长期致力解决的重大科学问题。涡度相关技术是原位、连续、高频观测生态系统碳水交换过程的强有力技术途径。中国科学院千烟洲亚热带森林生态系统观测研究站(简称千烟洲站)作为国内首批建立涡度相关观测系统的野外台站,已经持续积累了17年的人工针叶林生态系统碳水交换通量的科学观测数据。为了推动中国乃至全球陆地生态系统通量研究及相关领域的发展,千烟洲站公开发表了整理加工的2003–2010年连续观测的碳水通量及相关气象要素数据。本数据集包含生态系统总初级生产力、生态系统呼吸、净生态系统生产力、潜热通量、显热通量、空气温度、空气相对湿度、水汽压、风速、风向、土壤温度、土壤水分、太阳辐射、光合有效辐射和降水等观测指标,形成了半小时、日、月和年尺度数据产品。

关键词: 涡度相关技术; 通量数据; 碳水循环; 气象要素; 人工针叶林

数据库(集)基本信息简介

数据库名称	2003–2010 年千烟洲人工针叶林碳水通量观测数据集
数据通信作者	王辉民 (wanghm@igsrr.ac.cn), 张雷明 (zhanglm@igsrr.ac.cn)
数据生产者	数据观测者: 戴晓琴, 徐明洁, 杨风亭, 温学发; 数据负责人: 王辉民, 张雷明
数据时间范围	2003–2010 年
地理区域	中亚热带江西省泰和县千烟洲站
生态系统类型	人工针叶林生态系统
数据量	36 MB
数据格式	*.xlsx
数据服务系统网址	http://www.cnern.org.cn/data/initDRsearch?classcode=SYC_A02 http://www.sciencedb.cn/dataSet/handle/993
基金项目	国家自然科学基金项目 (41830860), 中国科学院战略性先导科技专项 (XDA19020302)

* 论文通信作者

王辉民: wanghm@igsrr.ac.cn

张雷明: zhanglm@igsrr.ac.cn

数据库组成	分为半小时、日尺度、月尺度和年尺度常规气象数据（空气温度、空气相对湿度、水汽压、风速、风向、土壤温度、土壤水分、太阳辐射、光合有效辐射和降水等）和碳水通量（生态系统总初级生产力、生态系统呼吸、净生态系统生产力、潜热通量、显热通量）数据产品表格。
-------	--

引言

全球变化背景下陆地生态系统碳水循环过程、控制机理及其对环境变化的响应是生物地球化学家们一直致力解决的重大科学问题。涡度相关技术是直接观测生态系统与大气间 CO₂ 和水热通量的微气象学技术，该技术实现了没有任何干扰的条件下对生态系统多过程、多要素的长期连续的协同观测^[1]，为解决这一关键科学问题提供了强有力的工具。

在中国科学院知识创新工程重大项目“中国陆地和近海生态系统碳收支研究”的资助下，中国科学院千烟洲亚热带森林生态系统观测研究站（原中国科学院—江西省千烟洲红壤丘陵综合开发试验站，简称千烟洲站）作为国内首批建立碳水通量涡度相关观测系统的野外台站，于 2002 年开始积累人工林生态系统碳水交换通量的科学观测数据。到目前为止，已经持续观测 17 年，获得了宝贵的第一手数据资料，该数据已经在多领域、多学科，被广大科研院校的研究人员大量应用^[2-11]，极大推动了相关学科的发展。

为了进一步推动中国乃至全球陆地生态系统碳水通量研究及相关领域的发展，千烟洲站通过数据加工整理，公开发表 2003–2010 年连续观测的碳水通量及相关气象要素数据，以期服务更多的政府机构、科研人员和公众使用这些数据开展研究，充分发挥所获数据的价值，进一步推动相关领域的发展。本数据集包含生态系统总初级生产力、生态系统呼吸、净生态系统生产力、潜热通量、显热通量、空气温度、空气相对湿度、水汽压、风速、风向、土壤温度、土壤水分、太阳辐射、光合有效辐射和降水等观测指标，形成了半小时、日、月和年尺度数据产品。

1 数据采集和处理方法

1.1 数据来源

通量塔位于江西省泰和县灌溪镇千烟洲站，115°04'E，26°44'N，平均海拔为 110.8 m，相对高差 20–50 m。站区属亚热带季风气候，年平均温度为 17.9℃，1 月平均温度为 6.4℃，7 月平均温度为 28.8℃；年平均降水量为 1489 mm，主要集中在 3–6 月。土壤类型主要为红壤，成土母质多为红色砂岩和砂砾岩^[12]。站区属于中亚热带常绿阔叶林区，但原生植被在 20 世纪 80 年代初被破坏，现有森林主要为 1985 年左右营造的人工林，主要树种为马尾松（*Pinus massoniana*）、湿地松（*P. elliottii*）和杉木（*Cunninghamia lanceolata*）。

千烟洲站通量塔建于 2002 年 8 月，是中国首批通量观测站点之一，通量塔总高度 43 m。以通量塔为中心 1 hm² 的样地内建群种为马尾松、湿地松和杉木，以 49：48：3 的面积呈块状混生，并伴有少量以木荷（*Schima superba*）为主的阔叶树；林下灌木由白栎（*Quercus fabri*）、櫟木（*Loropetalum chinense*）、美丽胡枝子（*Lespedeza formosa*）组成；草本植物以刺芒野古草（*Arundinella setosa*）为主^[13]。建塔初期冠层高度平均为 12 m，叶面积指数为 3.5 m²/m²^[14]。

1.2 数据采集方法

本数据集包含的观测数据均通过自动化采集。各观测项目测定所用仪器及型号、仪器制造商、以及数据采集传感器及其厂家等相关信息见表 1。CO₂、H₂O 和能量通量安装在 39.6 m，原始数据为 10 Hz，与 30 min 的平均通量数据利用数据采集器记录并储存；气象数据观测高度见表 2，采集频率 1 min，计算为 30 min 数据存储在数据采集器中。

表 1 观测项目所用分析仪相关信息

观测系统	测定要素	分析仪型号	分析仪制造商	数据采集传感器型号	数据采集传感器制造商
常规气象要素	空气温度/湿度	HMP45C	VAISALA	CR10X CR23X	CAMPBELL
	降水量	52203	RM YOUNG		
	总辐射	CM11	KIPP&ZONEN		
	净辐射	CNR-1	KIPP&ZONEN		
	光合有效辐射	LI190SB	LI-COR		
	风速	A100R	VECTOR		
	风向	W200P	VECTOR		
	压力	CS105	VAISALA		
	红外温度传感器	IRTS-P	POGEE		
	土壤温度	105T, 107-L	CAMPBELL		
	土壤水分	CS615-L	CAMPBELL		
土壤热通量	HFP01	HUKSEFLUX			
CO ₂ 和水热通量	三维超声风速	CSAT3	CAMPBELL	CR5000	CAMPBELL
	CO ₂ 、H ₂ O 密度	LI-7500	LI-COR		
	显/潜热通量	LI-7500	LI-COR		

表 2 气象数据表说明及指标观测高度

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
秒	-	-	秒
近地面空气温度	°C	1.6 m	近地面平均空气温度
冠层上方空气温度	°C	39.6 m	冠层上方平均空气温度
近地面空气湿度	%	1.6 m	近地面平均相对湿度
冠层上方空气湿度	%	39.6 m	冠层上方平均相对湿度

数据项	计量单位	观测高度	数据项说明
近地面水汽压	kPa	1.6 m	近地面水汽压
冠层上方水汽压	kPa	39.6 m	冠层上方水汽压
近地面风速	m/s	1.6 m	近地面风速
冠层上方风速	m/s	39.6 m	冠层上方风速
风向	degree	41.6 m	风向
大气压	kPa	2 m	大气压强
太阳辐射	W/m ²	41.6 m	太阳辐射
净辐射	W/m ²	41.6 m	净辐射
光合有效辐射	μmol/(m ² s ⁻¹)	39.6 m	光合有效辐射
一层土壤温度	°C	-5 cm	5 cm 土壤温度
二层土壤温度	°C	-10 cm	10 cm 土壤温度
三层土壤温度	°C	-20 cm	20 cm 土壤温度
四层土壤温度	°C	-50 cm	50 cm 土壤温度
五层土壤温度	°C	-100 cm	100 cm 土壤温度
一层土壤体积含水量	m ³ /m ³	-5 cm	5 cm 土壤水分
二层土壤体积含水量	m ³ /m ³	-20 cm	20 cm 土壤水分
三层土壤体积含水量	m ³ /m ³	-50 cm	50 cm 土壤水分
降水量	mm	41.6 m	总降雨量

1.3 数据处理和产品加工方法

本数据集发布的数据从观测、采集、质控、处理和存储方面均严格遵循中国通量观测研究网络（ChinaFLUX）制定的标准化的数据处理和质量控制技术体系^[14]，详细方法见于贵瑞等^[15]、Wen 等^[16]和 Yu 等^[17]。

数据质量控制：采用国际上普遍认可的涡度通量数据质量控制方法，主要包括原始数据分析、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、夜间摩擦风速阈值筛选和异常值剔除，以及能量闭合评价。坐标轴旋转采用平面拟合，冠层 CO₂ 存储项估算采用单点 CO₂ 浓度变化的方式。

缺失数据插补：对于短时间（小于 2 小时）内缺失的通量和气象观测数据，采用线性内插的方式完成插补；对于长时间缺失的气象数据，利用气象站观测资料（土壤湿度和降水数据除外）开展插补；如未能完成插补，则利用平均日变化法完成数据插补。

对于长时间缺失的 CO₂ 通量数据，采用非线性回归的方式。其中夜间缺失数据利用 Arrhenius 方程插补，方程中 Q₁₀ 表达为土壤温度和土壤水分的线性方程。白天缺失数据利用直角双曲线方程插补，最小插补时间窗口为 7 天。

CO₂ 通量数据拆分：采用边际分布采样法完成数据拆分。首先，基于夜间观测数据，采用和缺失数据插补时相同的回归方程，确定生态系统呼吸方程中的系数；然后，利用该方程计算夜间和白天的生态系统呼吸；最后，利用插补完成的白天 CO₂ 通量数据和计算得到的生态系统呼吸，求和得到总生态系统生产力。

2 数据样本描述

2.1 数据子集与数据量

本数据集为千烟洲站人工林 2003–2010 年连续 8 年的碳水通量观测数据，每年有 8 个 EXCEL 数据文件，分为两类数据文件，一类常规气象数据文件，一类通量数据文件。每年每类数据文件各有 4 个，即 30 分钟、日、月和年尺度，总共 64 个文件，总数据量 36 MB。

2.2 数据文件示例

以 2003 年数据文件为例，表 2–3 分别为 2003 年千烟洲 30 分钟气象和通量数据表头说明，所有数据项数据均是以数字形式呈现。

表 3 通量数据表说明

数据项	计量单位	数据项说明
年	-	年份
月	-	月份
日	-	日期
时	-	小时
分	-	分钟
NEE	mg CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	半小时尺度的净生态系统生产力/ CO ₂ 通量
RE	mg CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	半小时尺度的生态系统呼吸
GEE	mg CO ₂ m ⁻² s ⁻¹	半小时尺度的总生态系统生产力
LE	W m ⁻²	半小时尺度的潜热通量
Hs	W m ⁻²	半小时尺度的显热通量

3 数据质量控制和评估

半小时尺度上，不同年份之间净生态系统生产力（CO₂ 通量）、潜热通量和显热通量的有效观测数据比例分别为 48.3%–76.7%、49.8%–84.2%、51.7%–87.4%，其中 2003 年和 2010 年有效数据量最低，一般为 50%左右。另外，除 2007 年净生态系统生产力有效数据在 65.7%外，其余年份净生态系统生产力（CO₂ 通量）、潜热通量和显热通量有效数据量均达到 70%以上（表 4）。

表 4 半小时尺度上不同年份质控后有效的通量数据比例（%）

年份	净生态系统生产力	潜热通量	显热通量
2003	48.3	49.8	51.7
2004	76.7	84.2	87.4
2005	73.3	81.8	83.8
2006	75.6	83.0	84.8
2007	65.7	72.7	75.7

年份	净生态系统生产力	潜热通量	显热通量
2008	70.5	79.3	81.5
2009	74.4	82.1	84.8
2010	48.5	52.0	54.2

4 数据使用方法和建议

本数据已在国家科技资源共享服务平台 (<http://www.cnern.org.cn>) 发布, 用户登录系统后, 点击“数据资源”栏目, 选择“碳氮水通量观测数据集”, 在右侧数据资源搜索框中输入“千烟洲站”字样, 点击查询, 即可进入相关数据下载界面。

本数据集可应用于模型的开发、验证。为了便于不同站点数据的比较, 本数据集采用 ChinaFLUX 制定的标准技术体系进行数据处理和质量控制。但是由于不同插值方法计算结果存在差异, 即使年通量差异相对较小, 也可能导致季节动态较大的不同, 因此在机理解析中应尤其慎重。

致 谢

感谢黄远芬长期以来在数据采集方面的贡献, 感谢刘允芬研究员在数据质量控制、系统运行与维护方面的贡献。

数据作者分工职责

戴晓琴 (1978—), 女, 副研究员, 研究方向为生态系统物质循环。主要承担工作: 数据监测和论文撰写。

王辉民 (1967—), 男, 研究员, 研究方向为森林生态系统物质循环。主要承担工作: 总体把握与论文修改。

徐明洁 (1984—), 女, 讲师, 研究方向为森林生态系统物质循环。主要承担工作: 数据质控和论文撰写。

杨风亭 (1973—), 女, 高级工程师, 研究方向为森林生态系统物质循环。主要承担工作: 数据管理。

温学发 (1975—), 男, 研究员, 研究方向为同位素生态学。主要承担工作: 数据质量控制。

陈智 (1986—), 女, 副研究员, 研究方向为生态系统碳循环与全球变化。主要承担工作: 数据集的质量控制。

张雷明 (1974—), 男, 副研究员, 研究方向为生态系统碳水循环与全球变化。主要承担工作: 数据处理。

孙晓敏 (1957—), 男, 研究员, 研究方向为地表通量的区域遥感反演。主要承担工作: ChinaFLUX 技术体系构建。

于贵瑞 (1959—), 男, 研究员, 研究方向为生态系统与全球变化。主要承担工作: ChinaFLUX 总体运行与科学发展。

参考文献

- [1] 于贵瑞, 张雷明, 孙晓敏. 中国陆地生态系统通量观测研究网络(ChinaFLUX)的主要进展及发展展望[J]. 地理科学进展, 2014, 33(7): 903-917.
- [2] 沈竞, 张弥, 肖薇, 等. 基于改进 SW 模型的千烟洲人工林蒸散组分拆分及其特征[J]. 生态学报,

- 2016, 36(8): 2164-2174.
- [3] 王克清, 王鹤松, 孙建新. 遥感 GPP 模型在中国地区多站点的应用与比较[J]. 植物生态学报, 2017, 41(3): 337-347.
- [4] 王建林, 温学发, 孙晓敏, 等. 涡动相关系统和小孔径闪烁仪观测的森林显热通量的异同研究[J]. 地球科学进展 2010, 25(11): 1217-1227.
- [5] 任小丽, 何洪林, 刘敏, 等. 基于模型数据融合的千烟洲亚热带人工林碳水通量模拟[J]. 生态学报, 2012, 23: 7313-7326.
- [6] CHEN B, GE Q, FU D, et al. A data-model fusion approach for upscaling gross ecosystem productivity to the landscape scale based on remote sensing and flux footprint modeling[J]. Biogeosciences, 2010, 7: 2943-2958.
- [7] ZHANG W J, WANG H M, YANG F T, et al. Underestimated effects of low temperature during early growing season on carbon sequestration of a subtropical coniferous plantation[J]. Biogeosciences, 2011, 8: 1667-1678.
- [8] YU G R, ZHU X J, FU Y L, et al. Spatial pattern and variation of carbon budget in terrestrial ecosystems of China[J]. Global Change Biology, 2013, 19: 798-810.
- [9] HE M Z, JU W M, ZHOU Y L, et al. Development of a two-leaf light use efficiency model for improving the calculation of terrestrial gross primary productivity[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2013, 173: 28-39.
- [10] XU M J, WEN X F, WANG H M, et al. Effects of climatic factors and ecosystem responses on the inter-annual variability of evapotranspiration of a coniferous plantation in subtropical China[J]. PLoS ONE, 2014, 9 (1): e85593.
- [11] ZHANG L, MAO J F, SHI X Y, et al. Evaluation of the Community Land Model simulated carbon and water fluxes against observations over ChinaFLUX sites[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2016, 226-227: 174-185
- [12] 中国科学院南方山区综合科学考察队. 红壤丘陵综合开发治理——千烟洲综合开发治理试验研究[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [13] 王静, 温学发, 王辉民, 王晶苑. 冰雪灾害对中亚热带人工针叶林净初级生产力的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(17): 5030-5039
- [14] 张雷明, 罗艺伟, 刘敏, 等. 2003–2005 年中国通量观测研究联盟 (ChinaFLUX) 碳水通量观测数据集[J/OL]. 中国科学数据, 2019, 4(1). (2018-12-29). DOI: 10.11922/csdata.2018.0028.zh.
- [15] 于贵瑞, 孙晓敏. 《陆地生态系统通量观测的原理与方法》(第二版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2018.
- [16] WEN X F, YU G R, SUN X M, et al. Turbulence flux measurement above the overstory of a subtropical Pinus plantation over the hilly region in southeastern China[J]. Science in China Series D, 2005, 48(Supp.I): 63-73.
- [17] YU G R, CHEN Z, ZHANG L M, et al. Recognizing the scientific mission of flux tower observation networks—Lay the solid scientific data foundation for solving ecological issues related to global change[J]. Journal of Resources and Ecology, 2017, 8 (2): 115-120.

论文引用格式

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/OL]. 中国科学数据, 2021, 6(1). (2020-06-02). DOI: 10.11922/csdata.2020.0036.zh.

数据引用格式

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[DB/OL]. Science Data Bank, 2020. (2020-05-09). DOI:10.11922/sciencedb.993.

An observation dataset of carbon and water fluxes of artificial coniferous forests in Qianyanzhou (2003–2010)

DAI Xiaoqin^{1,2}, WANG Huimin^{1,2*}, XU Mingjie^{1,3}, YANG Fengting^{1,2}, WEN Xuefa^{1,2},
CHEN Zhi^{1,2}, ZHANG Leiming^{1,2*}, SUN Xiaomin^{1,2}, YU Guirui^{1,2}

1. Qianyanzhou Ecological Research Station, 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

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

3. College of Agronomy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, P.R. China.

* Email: wanghm@igsnr.ac.cn (WANG Huimin), zhanglm@igsnr.ac.cn (ZHANG Leiming)

Abstract: The cycling process and control mechanism of carbon and water in terrestrial ecosystems and their response to environmental change under global changes are prominent scientific problems in the fields of ecology and the global change for a long time. Eddy covariance is a powerful method for in-situ, continuous and high-frequency observation of the carbon and water exchange process in ecosystems. Qianyanzhou Ecological Research Station (QYZ), as one of the first field station establishing the system of eddy covariance in China, has been continuously accumulating scientific observation data of carbon and water fluxes of artificial coniferous forests for 17 years. In order to promote the development of carbon and water fluxes of terrestrial ecosystem in China and even the world, QYZ published the carbon and water fluxes and related meteorological data observed and processed from 2003 to 2010. The dataset includes the data of gross ecosystem primary productivity, ecosystem respiration, net ecosystem productivity, latent heat flux, sensible heat flux, air temperature, air relative humidity, vapor pressure, wind speed, wind direction, soil temperature, soil moisture, solar radiation, photosynthetic active radiation, and precipitation, etc. The dataset is composed of the observation data on scales of half hour, day, month, and year.

Keywords: eddy covariance technique; flux data; carbon and water cycling; meteorological data; artificial coniferous forests

Dataset Profile

Title	An observation dataset of carbon and water fluxes of artificial coniferous forests in Qianyanzhou (2003–2010)
Correspondence	WANG Huimin (wanghm@igsnr.ac.cn); ZHANG Leiming(zhanglm@igsnr.ac.cn)
Data producers	Observer: DAI Xiaoqin, XU Mingjie, YANG Fengting, WEN Xuefa; Director: WANG Huimin, ZHANG Leiming
Time range	2003–2010
Geographical scope	Qianyanzhou experimental station, Taihe county, Jiangxi province, mid-subtropical China
Ecosystem type	Artificial coniferous forests
Data amount	36 MB
Data format	*.xlsx
Data service system	< http://www.cern.org.cn/data/initDRsearch?classcode=SYC_A02 > < http://www.sciencedb.cn/dataSet/handle/993 >
Source of funding	National Natural Science Foundation of China (41830860); Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences (XDA19020302)
Dataset composition	The dataset includes regular meteorological data on scales of half hour, day, month, and year (air temperature, air relative humidity, vapor pressure, wind speed, wind direction, soil temperature, soil moisture, solar radiation, photosynthetic active radiation, and precipitation), and carbon and water fluxes (gross ecosystem primary productivity, ecosystem respiration, net ecosystem productivity, latent heat flux, sensible heat flux).