专刊 中国区域陆地生态系统碳氮水通量及其辅助参数观测

# 2000–2010 年中国典型陆地生态系统实际蒸散量和水分利用效率数据集

郑涵[1]，于贵瑞[2,3*]，朱先进[4]，王秋凤[2,3]，张雷明[2,3]，陈智[2,3]，孙晓敏[2,3]，何洪林[2,3]，苏文[2]，王艳芬[3]，韩士杰[5]，周国逸[6]，赵新全[7]，王辉民[2]，欧阳竹[2]，张宪洲[2]，张扬建[2]，石培礼[2]，李英年[7]，赵亮[7]，张一平[8]，闫俊华[6]，王安志[5]，张军辉[5]，郝彦宾[3]，赵风华[2]，张法伟[7]，周广胜[9]，林光辉[10]，陈世苹[11]，刘绍民[12]，赵斌[13]，贾根锁[14]，张旭东[15]，张玉翠[16]，古松[7]，刘文兆[17]，李彦[18]，王文杰[19]，杨大文[20]，张劲松[15]，张志强[21]，赵仲辉[22]，周石硚[23]，郭海强[13]，沈彦俊[16]，徐自为[12]，黄辉[15]，孟平[15]

1. 中国科学院地球环境研究所黄土与第四纪地质国家重点实验室，西安 710061
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，北京 100190
4. 沈阳农业大学农学院，沈阳 110161
5. 中国科学院沈阳应用生态研究所森林生态与管理重点实验室，沈阳 110016
6. 中国科学院华南植物园，广州 510650
7. 中国科学院西北高原生物研究所，西宁 810008
8. 中国科学院西双版纳植物园热带森林生态学重点实验室，云南勐仑 666303
9. 中国气象科学研究院，北京 100081
10. 清华大学地球系统科学系，北京 100084
11. 中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室，北京 100093
12. 北京师范大学地理科学学部地表过程与资源生态国家重点实验室，北京 100875
13. 复旦大学生物多样性与生态工程教育部重点实验室，上海 200433
14. 中国科学院大气物理研究所东亚区域气候-环境重点实验室，北京 100029
15. 中国林业科学研究院林业研究所，北京 100091
16. 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心，石家庄 050021

* 论文通信作者

于贵瑞：yugr@igsnrr.ac.cn

ISSN 2096-2223
CN 11-6035/N

文献 DOI:
10.11922/csdata.2018.0034.zh
数据 DOI：
10.11922/sciencedb.610
文献分类：地球科学

收稿日期：2018-05-27
开放同评：2018-06-28
录用日期：2018-09-06
发表日期：2018-12-29

17. 西北农林科技大学水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室，杨凌 712100
18. 中国科学院新疆生态与地理研究所荒漠与绿洲生态国家重点实验室，乌鲁木齐 830011
19. 东北林业大学森林植物生态学教育部重点实验室，哈尔滨 150040
20. 清华大学水利水电工程系，北京 100084
21. 北京林业大学水土保持学院，北京 100083
22. 中南林业科技大学生命科学与技术学院，长沙 410004
23. 中国科学院青藏高原研究所，北京 100101

**摘要：**蒸散是陆地生态系统水分循环和能量平衡的关键过程，水分利用效率是反映生态系统碳水循环间耦合关系的重要指标，二者在生态学、农学、水文学、气候学等多个学科中均具有重要的应用价值。涡度相关法被认为是现今唯一能直接测量生物圈与大气间物质与能量交换通量的标准方法，已成为生态系统尺度碳水交换通量观测的主要方法。本文通过整合中国陆地生态系统通量观测联盟（ChinaFLUX）的长期观测数据和中国区域其他观测站点基于涡度相关法发表的文献数据，构建了一套中国典型陆地生态系统实际蒸散量和水分利用效率数据集。本数据集共有实际蒸散量数据记录 143 条、水分利用效率数据记录 96 条，涉及 5 种生态系统类型 45 个生态系统，时间跨度为 2000–2010 年。本数据集可以为陆地生态系统碳水循环、生态系统管理和评估、全球变化等相关领域的研究提供数据支持。

**关键词：**实际蒸散量；水分利用效率；涡度相关；陆地生态系统；中国；ChinaFLUX

## 数据库（集）基本信息简介

| | |
|---|---|
| **数据库（集）名称** | 2000–2010 年中国典型陆地生态系统实际蒸散量和水分利用效率数据集 |
| **数据作者** | 郑涵、于贵瑞、朱先进、王秋凤、张雷明、陈智、孙晓敏、何洪林、苏文、王艳芬、韩士杰、周国逸、赵新全、王辉民、欧阳竹、张宪洲、张扬建、石培礼、李英年、赵亮、张一平、闫俊华、王安志、张军辉、郝彦斌、赵风华、张法伟、周广胜、林光辉、陈世苹、刘绍民、赵斌、贾根锁、张旭东、张玉翠、古松、刘文兆、李彦、王文杰、杨大文、张劲松、张志强、赵仲辉、周石硚、郭海强、沈彦俊、徐自为、黄辉、孟平 |
| **数据通信作者** | 于贵瑞（yugr@igsnrr.ac.cn） |
| **数据时间范围** | 2000–2010年 |
| **地理区域** | 中国区域典型陆地生态系统 |
| **数据量** | 143条实际蒸散量数据记录、96条水分利用效率数据记录 |
| **数据格式** | *.xlsx |
| **数据服务系统网址** | http://www.cnern.org.cn/data/meta?id=40573；<br>http://www.sciencedb.cn/dataSet/handle/610 |
| **基金项目** | 国家自然科学基金项目（31700414，31500390），国家重点研发计划（2016YFA0600104），中国科学院战略性先导科技专项（XDA19020302）,中国科学院科技服务网络计划（STS计划，KFJ-SW-STS-169）。 |
| **数据库（集）组成** | 本数据集含1个数据文件，包括4部分：（1）生态系统基础信息，含生态系统代码、 |

| | |
|---|---|
| | 生态系统名称、所属省级行政区、经纬度、海拔、生态系统类型、植被类型、主要物种、多年平均气温、多年平均降雨量等信息；（2）实际蒸散量数据，含各生态系统观测时期内的逐年实际蒸散量数据；（3）水分利用效率数据，含各生态系统观测时期内的逐年水分利用效率数据；（4）参考文献。 |

## 引　言

蒸散（Evapotranspiration，ET）是陆地生态系统水分循环和能量平衡的关键过程，与陆地生态系统碳循环密切相关[1-2]。水分利用效率（Water Use Efficiency，WUE）是反映生态系统碳水循环间耦合关系的重要指标，通常被定义为生态系统总初级生产力（Gross Primary Productivity，GPP）与 ET 的比值[3-4]，对于量化生态系统–大气间相互关系以及生态系统水资源管理具有重要意义。因此，在全球气候变化的大背景下，陆地生态系统的实际蒸散量和水分利用效率数据对于陆地生态系统碳水循环、生态系统管理和服务功能评估、全球变化等相关领域的研究具有重要的应用价值[5-6]。

在不同的时间和空间尺度上，GPP 和 ET 的观测方法有所不同。基于微气象学原理的涡度相关法可以长期连续自动测定生态系统尺度的植被–大气之间的碳水交换通量，在通量求算过程中几乎没有包含经验性的假设，并由此获得生态系统 GPP 和 ET 的观测值，被微气象学家和生态学家广泛接受和认可[7-9]。同时，以涡度相关法为主要技术手段，现已形成了国际通量观测网络（FLUXNET）和多个区域性观测网络，如美洲通量网（AmeriFLUX）、欧洲通量网（EUROFLUX）和中国陆地生态系统通量观测联盟（ChinaFLUX）等[9]，为基于网络化观测数据探讨区域尺度 ET 和 WUE 的时空变化特征成为可能。

自 2002 年中国陆地生态系统通量观测研究网络（ChinaFLUX）成立以来，中国已经开始使用涡度相关法对典型生态系统开展碳水通量观测[10]，填补了亚洲季风区观测研究的空白。2014 年，通过联合国内行业部门及高等院校观测站点，共同组建了中国通量观测研究联盟（ChinaFLUX）。现已积累了丰富的碳水通量观测数据，为中国典型陆地生态系统实际蒸散量和水分利用效率数据集的构建提供了重要契机。本文基于 ChinaFLUX 的长期观测数据和中国区域其他观测站点已发表的文献数据，系统整理了 2000–2010 年中国典型陆地生态系统实际蒸散量和水分利用效率数据集，可为区域乃至全球陆地生态系统碳水循环、生态系统综合管理和评估、以及全球变化等相关领域的研究提供坚实的数据基础。

## 1　数据采集和处理方法

通过整合 2000–2010 年 ChinaFLUX 站点的长期观测数据和中国区域其他观测站点已发表的文献数据，共获得中国区域 45 个生态系统的碳水通量观测数据（生态系统分布见图 1，基本信息见表 1），由此构建了实际蒸散量子集和水分利用效率子集。其中，实际蒸散量子集共有数据记录 143 条，涉及 5 种生态系统类型 45 个生态系统。按照生态系统类型划分，包括森林生态系统 14 个、草地生态系统 12 个、农田生态系统 11 个、湿地生态系统 6 个、荒漠生态系统 2 个。

水分利用效率子集共有数据记录 96 条，涉及 5 种生态系统类型 34 个生态系统。按照生态系统类型划分，包括森林生态系统 12 个、草地生态系统 10 个、农田生态系统 4 个、湿地生态系统 6 个、荒漠生态系统 2 个。

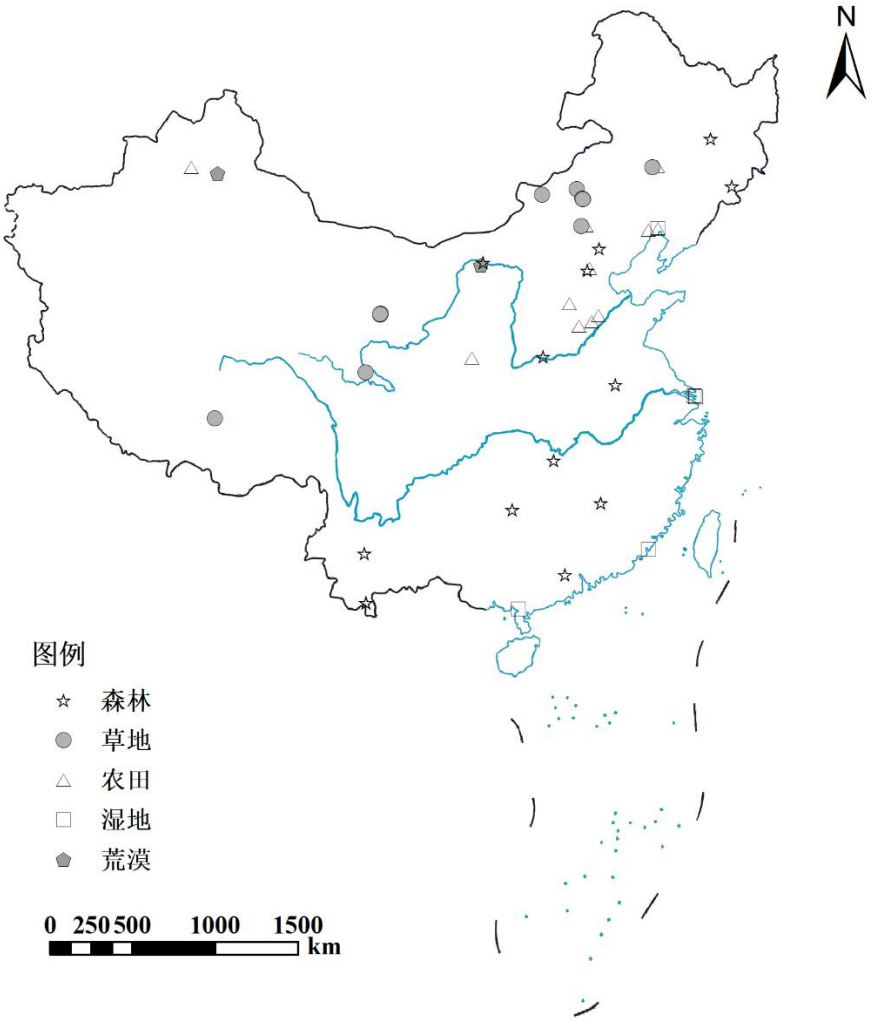



**图 1　生态系统分布图（审图号：GS（2018）4935 号）**

**表 1　生态系统基本信息**

| 生态系统代码 | 生态系统名称 | 纬度（°N） | 经度（°E） | 海拔（m） | 生态系统类型 |
|---|---|---|---|---|---|
| ALS | 哀牢山 | 24.53 | 101.02 | 2476 | 森林 |
| CBS | 长白山 | 42.4 | 128.1 | 738 | 森林 |
| CW | 长武 | 35.23 | 107.67 | 1200 | 农田 |
| DHS | 鼎湖山 | 23.17 | 112.53 | 300 | 森林 |
| DLC | 多伦农田 | 42.05 | 116.67 | 1350 | 农田 |
| DLG | 多伦草地 | 42.05 | 116.28 | 1350 | 草地 |
| DT1 | 东滩–高滩 | 31.52 | 121.96 | 4 | 湿地 |
| DT2 | 东滩–中滩 | 31.58 | 121.9 | 4 | 湿地 |
| DT3 | 东滩–低滩 | 31.52 | 121.97 | 4 | 湿地 |
| DX | 当雄 | 30.85 | 91.08 | 4333 | 草地 |
| DXC | 大兴农田 | 39.62 | 116.43 | 20 | 农田 |

| 生态系统代码 | 生态系统名称 | 纬度（°N） | 经度（°E） | 海拔（m） | 生态系统类型 |
|---|---|---|---|---|---|
| DXF | 大兴森林 | 39.53 | 116.25 | 30 | 森林 |
| FK | 阜康 | 44.28 | 87.93 | 475 | 荒漠 |
| GQ | 高桥 | 21.57 | 109.76 | 22.8 | 湿地 |
| GTC | 馆陶 | 36.52 | 115.13 | 30 | 农田 |
| HB1 | 海北矮嵩草草甸 | 37.6 | 101.3 | 3250 | 草地 |
| HB2 | 海北灌丛草甸 | 37.66 | 101.33 | 3293 | 草地 |
| HB3 | 海北沼泽化草甸 | 37.61 | 101.31 | 3160 | 草地 |
| HN | 怀宁 | 33 | 117 | 15 | 森林 |
| HT | 会同 | 26.83 | 109.75 | 330 | 森林 |
| JZ | 锦州 | 41.15 | 121.2 | 17 | 农田 |
| KBQD | 库布齐荒漠 | 40.38 | 108.55 | 1169.2 | 荒漠 |
| KBQF | 库布齐森林 | 40.54 | 108.69 | 1033 | 森林 |
| LC | 栾城 | 37.83 | 114.67 | 50 | 农田 |
| LS | 老山 | 45.33 | 127.57 | 340 | 森林 |
| MY | 密云 | 40.63 | 117.32 | 350 | 森林 |
| PJC | 盘锦水稻田 | 41.15 | 121.92 | 3.8 | 农田 |
| PJW | 盘锦湿地 | 41.14 | 121.91 | 7 | 湿地 |
| QYZ | 千烟洲 | 26.74 | 115.06 | 102 | 森林 |
| SJY | 三江源 | 34.35 | 100.5 | 3963 | 草地 |
| SNTZ | 苏尼特左旗 | 44.08 | 113.57 | 974 | 草地 |
| TYC | 通榆农田 | 44.57 | 122.92 | 184 | 农田 |
| TYG | 通榆草地 | 44.59 | 122.52 | 184 | 草地 |
| WLWS | 乌兰乌苏 | 44.28 | 85.82 | 469 | 农田 |
| WS | 位山 | 36.65 | 116.05 | 30 | 农田 |
| XFS | 锡林浩特围封典型草原 | 44.13 | 116.33 | 1030 | 草地 |
| Xi1 | 锡林浩特围封草地 | 43.55 | 116.68 | 1250 | 草地 |
| Xi2 | 锡林浩特放牧草地 | 43.55 | 116.67 | 1250 | 草地 |
| Xi3 | 锡林浩特羊草草原 | 43.55 | 116.68 | 1200 | 草地 |
| XLD | 小浪底 | 35.02 | 112.47 | 410 | 森林 |
| XSBN1 | 西双版纳雨林 | 21.93 | 101.27 | 750 | 森林 |
| XSBN2 | 西双版纳橡胶林 | 21.93 | 101.27 | 750 | 森林 |
| YC | 禹城 | 36.95 | 116.57 | 28 | 农田 |
| YX | 云霄 | 23.92 | 117.42 | 64.5 | 湿地 |
| YY | 岳阳 | 29.31 | 112.51 | 31 | 森林 |

## 1.1 ChinaFLUX 的数据采集与处理方法

ChinaFLUX 于 2002 年依托于中国生态系统研究网络（CERN）创建。自 2002 年以来，ChinaFLUX 不断发展和壮大，现已成为全球重要的区域性观测网络之一[10-11]。在考虑生态系统类型的完整性和区域代表性的基础上，ChinaFLUX 参照国际上其他通量观测网络的设计和运行机制，在各通量观测台站采用统一的观测设备、规范化的观测项目和观测方法，数据的测定和采集均为自动化完成[7]。

ChinaFLUX 站点的观测系统主要由一套涡度相关通量观测系统和一套常规气象观测系统组成。ChinaFLUX 以开路式涡度相关系统（Open-Path Eddy Covariance，OPEC）作为生态系统碳水通量的标准观测系统。OPEC 系统由开路式红外 $CO_2$/$H_2O$ 分析仪（型号 Li-7500，Li-Cor Inc.，Lincoln，Nebraska，USA）、三维超声风速仪（型号 CSAT3，Campbell Scientific Inc.，Logan，Utah，USA）和数据采集器（型号 CR5000，Campbell Scientific Inc.，Logan，Utah，USA）构成。原始采样频率为 10 Hz，由 CR5000 进行数据采集和在线计算，并输出平均周期为 30 min 的 $CO_2$ 和 $H_2O$ 通量数据。常规气象观测要素主要包括总辐射、净辐射、光合有效辐射、空气温/湿度、风速风向、降水量、土壤温/湿度、土壤热通量、土壤含水量等。气象要素与碳水通量同步观测，原始采样频率为 2 Hz，由数据采集器（型号 CR10X 和 CR23X，Campbell Scientific Inc.，Logan，Utah，USA）采集并在线计算和输出 30 min 统计值。

基于获取的生态系统碳水通量 30 min 观测数据，利用 ChinaFLUX 技术体系完成标准化的质量控制和数据处理，以控制数据质量，保证进一步研究结果的可靠性。ChinaFLUX 的标准数据处理流程如图 2 所示，主要包括坐标轴旋转、Webb-Pearman-Leuning（WPL）校正、储存项计算、异常数据剔除和缺失数据插补等方法[10]。首先进行坐标轴旋转，以消除平均垂直通量[7,12-13]，并进行 WPL 校正，以排除水热通量引起的微量气体密度变化[7,14]，并在森林生态系统中分别利用单点 $CO_2$ 和 $H_2O$ 浓度估算方式计算冠层储存项[15-16]。然后，采用阈值剔除、降水剔除、方差剔除、低湍流通量剔除等方法剔除因降雨、仪器污染等所导致的异常数据，并对缺测数据和异常数据进行插补。缺失数据插补方法具体为：对于短时间（＜2 小时）内缺失的通量数据，采用线性内插的方式完成插补；对于长时间缺失的 $CO_2$ 通量数据，采用非线性回归的方式进行插补[17]，其中白天缺失数据利用 $CO_2$ 通量与光合有效辐射间的直角双曲线关系进行插补，夜间缺失数据则是基于生态系统呼吸与温度间的指数关系插补；对于长时间缺失的水汽通量数据，采用查表法完成缺失数据插补[18]。

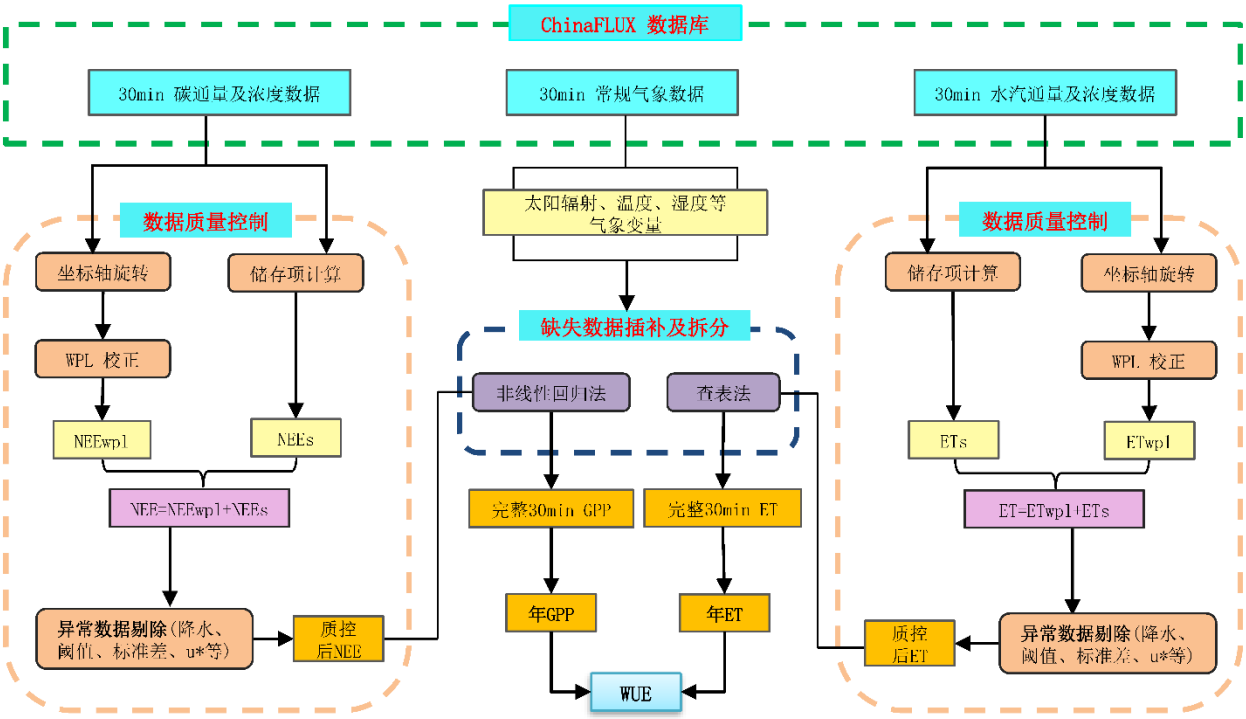
为获得生态系统总初级生产力（GPP）数据，采用非线性拟合法将涡度相关法获得的净生态系统 $CO_2$ 交换通量（Net Ecosystem Exchange，NEE）拆分为 GPP 和生态系统呼吸（Ecosystem Respiration）[18]。首先，基于夜间 NEE 观测数据，采用和缺失数据插补时相同的回归方程，确定生态系统呼吸方程中的系数，然后估算夜间和白天的生态系统呼吸；其次，利用插补完成的白天 NEE 数据和估算的同时刻的生态系统呼吸数据，求和得到相应时段内的 GPP 数据。

根据以上 ChinaFLUX 的数据采集和处理方法，本数据集获得了长白山、鼎湖山、当雄、海北灌丛、海北湿地、锡林浩特羊草草原、千烟洲、哀牢山等 8 个生态系统观测时期内 30 min 的 GPP 和 ET（以水汽通量表示）数据的完整时间序列，以此累加得到各生态系统逐年的 GPP 和 ET 年总值，并以二者之比作为该生态系统相应年份的平均水分利用效率（WUE）。

## 1.2 中国区域通量观测文献数据的收集与整合

通过收集近年来在中国区域观测并且已公开发表的文献数据，获取 ChinaFLUX 观测站点以外的

其他站点的数据。基于 Web of Science 数据库（http://apps.webofknowledge.com）和中国知网数据库（http://www.cnki.net），采用以下方法来筛选文献数据：首先，GPP 和 ET 数据统一由涡度相关法获得，并由各站点研究人员对原始观测数据进行了一系列数据处理，包括坐标轴旋转、WPL 校正、异常值剔除、缺失数据插补等。其次，对于特定生态系统，只有当同时具备同一观测时期内的 GPP 和 ET 涡度相关观测数据时，方可计算该生态系统的 WUE 值。第三，本数据集要求各生态系统具有连续一年以上的有效观测数据，并据实记录各生态系统的 ET 和 WUE 观测时间，如 DLC 和 DLG 生态系统的观测时间为 2005 年 12 月至 2006 年 11 月。




**NEE 为净生态系统 $CO_2$ 交换通量，GPP 为生态系统总初级生产力，ET 为生态系统实际蒸散量，WUE 为生态系统水分利用效率。下标“wpl”指经过 WPL 校正后获得的数据，下标“s”指与 NEE 和 ET 相对应的储存项。**

**图 2　ChinaFLUX 碳水通量数据处理流程示意图**

同时，对于文献中提取的月尺度 GPP 和 ET 观测值进行加和计算年值，并制定统一单位进行换算，即：将 ET（包括水汽通量和潜热通量）统一转化为 kg $H_2O$ $m^{-2}$ $yr^{-1}$（即 mm $yr^{-1}$），将 GPP 数据统一转化为 g C $m^{-2}$ $yr^{-1}$，由此获得的 WUE 单位为 g C $kg^{-1}H_2O$。

此外，我们还收集了相应的生态系统基础信息，包括经度、纬度、海拔等地理要素数据以及植被类型、主要物种、多年平均气温和多年平均降雨量等信息。

## 2　数据样本描述

本数据集数据结构如表 2 所示，包括 4 部分：

（1）生态系统基础信息：含生态系统代码、生态系统名称、经纬度、海拔、生态系统类型、植被类型、主要物种、参考文献等信息。其中，生态系统代码是各生态系统名称的首字母缩写，如 CBS

是 Chang Bai Shan 的首字母缩写。对于个别生态系统，首字母相同时，以生态系统管理措施或者生态系统类型的首字母予以区分，如 DLC 和 DLG 分别表示多伦农田（Cropland）和多伦草地（Grassland）生态系统。各生态系统的植被类型是根据相关文献描述和《中国植被及其地理格局：中华人民共和国植被图（1:1 000 000）说明书》[19]进行确定。“√”表示该生态系统具有实际蒸散量数据或水分利用效率数据。参考文献对应于本数据集第 4 部分中相同编号的文献。

（2）实际蒸散量数据：含各站点观测时期内的逐年实际蒸散量数据，如 2003 年 CBS 的年实际蒸散量为 520.56 mm。

（3）水分利用效率数据：含各生态系统观测时期内的逐年水分利用效率数据，如 2003 年 CBS 的年均水分利用效率为 2.62 g C $kg^{-1}$ $H_2O$。

（4）参考文献：此处是对“生态系统基础信息”中“参考文献”的具体描述。

**表 2　中国典型陆地生态系统实际蒸散量数据集结构及示例**

| 数据项 | 数据类型 | 示例 |
|---|---|---|
| **生态系统基础信息** | | |
| 序号 | 数字 | 3 |
| 生态系统代码 | 字符 | CBS |
| 生态系统名称 | 字符 | 长白山 |
| 所属省级行政区 | 字符 | 吉林 |
| 纬度（°N） | 数字 | 42.40 |
| 经度（°E） | 数字 | 128.10 |
| 海拔（m） | 数字 | 738 |
| 生态系统类型 | 字符 | 森林 |
| 植被类型 | 字符 | 温带针阔混交林 |
| 主要物种 | 字符 | 红松、紫椴、蒙古栎、水曲柳、色木槭 |
| 多年平均气温（℃） | 数字 | 3.6 |
| 多年平均降水量（mm $yr^{-1}$） | 数字 | 695.3 |
| 实际蒸散量数据 | 字符 | √ |
| 水分利用效率数据 | 字符 | √ |
| 参考文献 | 字符 | [2] |
| **实际蒸散量数据** | | |
| 生态系统代码 | 字符 | CBS |
| 观测时间 | 日期 | 2003 |
| 年实际蒸散量（mm $yr^{-1}$） | 数字 | 520.56 |
| **水分利用效率** | | |
| 生态系统代码 | 字符 | CBS |
| 观测时间 | 日期 | 2003 |
| 年均水分利用效率（g C $kg^{-1}$ $H_2O$） | 数字 | 2.62 |
| **参考文献** | | |

| 数据项 | 数据类型 | 示例 |
|---|---|---|
| 序号 | 字符 | [2] |
| 文献 | 字符 | ZHANG et al. (2006) |

# 3 数据质量控制和评估

## 3.1 ChinaFLUX 观测数据的质量控制与评估

为保障通量观测数据质量以及长期、连续的联网观测的开展和运行，ChinaFLUX 制定了严格的质量保证与质量控制规范，在各通量观测台站采用统一的观测设备、规范化的观测项目和观测方法。CERN 综合中心负责 ChinaFLUX 各台站通量观测数据的汇总、审核及数据产品挖掘工作。ChinaFLUX 各台站对原始通量观测数据进行了初步的质量检查后，按年度汇交至 CERN 综合中心，并由 CERN 综合中心进一步开展观测系统性能和数据的完整性和准确性的检验与评估。经过台站初审、CERN 综合中心复审后，高频通量观测数据被整理为 30 min 通量数据格式。基于 30min 通量观测数据，采用 ChinaFLUX 的标准数据处理流程对通量观测数据进行数据处理，包括坐标轴旋转、WPL 校正和缺失数据插补等（图 2），保证 ChinaFLUX 各台站观测数据的可靠性和站点间的一致性。

## 3.2 文献收集数据的质量控制与评估

为保障文献收集数据的可靠性，从数据库选择、检索关键词、文献筛选标准、数据提取和整理整个过程都对数据质量进行了控制。我们采用以下方法对文献数据进行筛选：（1）碳水通量数据统一由涡度相关法观测得到，排除了其他研究方法的干扰，保证了数据采集方法的一致性和可比性；（2）有效数据必须完整和连续 1 年以上，并由各站点研究人员对原始观测数据进行了一系列数据处理，包括坐标轴旋转、WPL 校正、异常值剔除、缺失数据插补等，以此保证原始数据的规范性和可靠性；（3）文献均经过同行专家评阅达到发表标准，使得基于已发表的文献所收集的各生态系统实际蒸散量和水分利用效率数据具有较高的可信度。同时，采用自查和专家审核方式进一步确保数据的准确可靠性。

# 4 数据使用方法和建议

本数据集收录了基于涡度相关法观测的中国区域典型陆地生态系统的实际蒸散量数据和水分利用效率数据，适用于陆地生态系统碳水循环、生态系统管理和服务功能评估、全球变化等相关领域的研究，也可为水文过程模型、遥感模型等提供地面实测验证数据。使用过程中，也可考虑选取典型区域、典型陆地生态系统开展多台站数据整合分析研究。

需要说明的是，由于受到生态系统下垫面、植被特征和气候条件等因素的影响，涡度相关通量观测数据的处理技术与方法目前还没有全球普遍公认的技术体系。即使是完全相同的数据处理流程，不同学者在数据处理过程中的参数设定等细节也会对计算结果产生影响。在本数据集中，ChinaFLUX 各生态系统数据是基于目前 ChinaFLUX 的碳水通量数据质控和处理流程而获得，计算结果可能与部分生态系统的独立计算结果存在一定差异。同时，其他生态系统的 GPP 和 ET 数据是由各生态系统研究人员采用独立的数据质控和处理流程而获得。因此，不同生态系统碳水通量数据处理程序上的差异可能会使得相应生态系统的实际蒸散量和水分利用效率数据存在些许偏差。数据使用中如遇其

他问题，可详细参考本研究组已发表论文[5-6]。

本数据集由中国生态系统研究网络（CERN）数据资源服务网站（http://www.cnern. org.cn）提供数据服务。用户完成用户注册后，登录系统后可在数据资源栏目选择“数据论文数据”中的“碳氮水通量观测专题”，进入相应页面进行数据集全文下载，也可从“数据资源搜索”框中输入关键词进行检索。用户也可从 Science Data Bank（http://www.sciencedb.cn/dataSet/handle/610）进入相关下载页面。

## 致　谢

衷心感谢 CERN 综合中心和 ChinaFLUX 数据资源管理人员、以及各通量观测站点负责人、数据观测人员、现场维护人员和数据管理人员的支持与帮助！感谢何念鹏研究员对本论文写作的指导！

## 数据作者分工职责

郑涵（1988—），女，博士后，研究方向为陆地生态系统碳水循环。主要承担工作：数据汇编与论文撰写。

于贵瑞（1959—），男，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：数据集总体框架构建、论文修改以及 ChinaFLUX 的总体运行与科学发展。

朱先进（1984—），男，副教授，研究方向为全球变化与碳水循环。主要承担工作：数据整理与论文撰写。

王秋凤（1971—），女，副研究员，研究方向为全球变化与碳水循环。主要承担工作：数据论文修改。

张雷明（1974—），男，副研究员，研究方向为生态系统碳水循环过程与全球变化。主要承担工作：碳水通量数据质量控制。

陈智（1981—），女，助理研究员，研究方向为全球变化与碳循环。主要承担工作：数据调查。

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。

何洪林（1971—），男，研究员，研究方向为生态信息学。主要承担工作：数据库的总体构架。

苏文（1968—），女，高级工程师，研究方向为数据库开发与运行。主要承担工作：数据集格式规范化、数据管理和服务。

此外，王艳芬、韩士杰、周国逸、赵新全、王辉民、欧阳竹、张宪洲、张扬建、石培礼、李英年、赵亮、张一平、闫俊华、王安志、张军辉、郝彦斌、赵风华、张法伟、周广胜、林光辉、陈世苹、刘绍民、赵斌、贾根锁、张旭东、张玉翠、古松、刘文兆、李彦、王文杰、杨大文、张劲松、张志强、赵仲辉、周石硚、郭海强、沈彦俊、徐自为、黄辉、孟平等主要承担各生态系统碳水通量数据的观测、管理和质量控制工作。

## 参考文献

[1] WANG K C, DICKINSON R E. A review of global terrestrial evapotranspiration: Observation, modeling, climatology, and climatic variability[J]. Reviews of Geophysics, 2012, 50(2): RG2005.

[2] 于贵瑞, 王秋凤, 于振良. 陆地生态系统水-碳耦合循环与过程管理研究[J].地球科学进展, 2004, 19(5): 831-839.

[3] YU G R, SONG X, WANG Q F, et al. Water-use efficiency of forest ecosystems in eastern China and its relations to climatic variables[J]. New Phytologist, 2008, 177(4): 927-937.

[4] HU Z M, YU G R, FU Y L, et al. Effects of vegetation control on ecosystem water use efficiency within and among four grassland ecosystems in China[J]. Global Change Biology, 2008, 14(7): 1609-1619.

[5] ZHENG H, YU G R, WANG Q F, et al. Spatial variation in annual actual evapotranspiration of terrestrial ecosystems in China: Results from eddy covariance measurements[J]. Journal of Geographical Sciences, 2016, 26(10): 1391-1411.

[6] ZHU X J, YU G R, WANG Q F, et al. Spatial variability of water use efficiency in China's terrestrial ecosystems[J]. Global and Planetary Change, 2015, 129: 37-44.

[7] 于贵瑞, 孙晓敏. 陆地生态系统通量观测的原理与方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.

[8] BALDOCCHI D. 'Breathing' of the terrestrial biosphere: lessons learned from a global network of carbon dioxide flux measurement systems[J]. Australian Journal of Botany, 2008, 56(1): 1-26.

[9] BALDOCCHI D, FALGE E, GU L, et al. FLUXNET: a new tool to study the temporal and spatial variability of ecosystem-scale carbon dioxide, water vapor, and energy flux densities[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2001, 82(11): 2415-2434.

[10] YU G R, WEN X F, SUN X M, et al. Overview of ChinaFLUX and evaluation of its eddy covariance measurement[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2006, 137(3): 125-137.

[11] YU G R, ZHU X J, FU Y L, et al. Spatial patterns and climate drivers of carbon fluxes in terrestrial ecosystems of China[J]. Global Change Biology, 2013, 19(3): 798-810.

[12] FINNIGAN J J, CLEMENT R, MALHI Y, et al. A re-evaluation of long-term flux measurement techniques-Part I: Averaging and coordinate rotation[J]. Boundary-Layer Meteorology, 2003, 107(1): 1-48.

[13] ZHU Z L, SUN X M, ZHOU Y L, et al. Correcting method of eddy covariance fluxes over non-flat surfaces and its application in ChinaFLUX[J]. Science in China Series D-Earth Sciences, 2005, 48: 42-50.

[14] WEBB E K, PEARMAN G I, LEUNING R. Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapour transfer[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1980, 106(447): 85-100.

[15] HOLLINGER D Y, KELLIHER F M, BYERS J N, et al. Carbon Dioxide Exchange between an Undisturbed Old-Growth Temperate Forest and the Atmosphere[J]. Ecology, 1994, 75(1): 134-150.

[16] 张弥, 温学发, 于贵瑞, 等. 二氧化碳储存通量对森林生态系统碳收支的影响[J].应用生态学报, 2010, 21(5): 1201-1209.

[17] FALGE E, BALDOCCHI D, OLSON R, et al. Gap filling strategies for long term energy flux data sets[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2001, 107(1): 71-77.

[18] REICHSTEIN M, FALGE E, BALDOCCHI D, et al. On the separation of net ecosystem exchange into assimilation and ecosystem respiration: review and improved algorithm[J]. Global Change Biology, 2005, 11(9): 1424-1439.

[19] 张新时. 中国植被及其地理格局:中华人民共和国植被图(1:1 000 000) 说明书[M]. 北京: 地质出版社, 2007.

## 论文引用格式

郑涵，于贵瑞，朱先进，等. 2000–2010 年中国典型陆地生态系统实际蒸散量和水分利用效率数据集[J/OL]. 中国科学数据, 2019, 4(1). (2018-06-19). DOI: 10.11922/csdata.2018.0034.zh.

## 数据引用格式

郑涵，于贵瑞，朱先进，等. 2000–2010 年中国典型陆地生态系统实际蒸散量和水分利用效率数据集[DB/OL]. Science Data Bank, 2018. (2018-05-26). DOI: 10.11922/sciencedb.610.

# A dataset of actual evapotranspiration and water use efficiency of typical terrestrial ecosystems in China (2000–2010)

**Zheng Han[1], Yu Guirui[2,3*], Zhu Xianjin[4], Wang Qiufeng[2,3], Zhang Leiming[2,3], Chen Zhi[2,3], Sun Xiaomin[2,3], He Honglin[2,3], Su Wen[2], Wang Yanfen[3], Han Shijie[5], Zhou Guoyi[6], Zhao Xinquan[7], Wang Huimin[2],Ouyang Zhu[2], Zhang Xianzhou[2], Zhang Yangjian[2], Shi Peili[2], Li Yingnian[7], Zhao Liang[7], Zhang Yiping[8], Yan Junhua[6], Wang Anzhi[5], Zhang Junhui[5], Hao Yanbin[3], Zhao Fenghua[2], Zhang Fawei[7], Zhou Guangsheng[9], Lin Guanghui[10], Chen Shiping[11], Liu Shaomin[12], Zhao Bin[13], Jia Gensuo[14], Zhang Xudong[15], Zhang Yucui[16], Gu Song[7], Liu Wenzhao[17], Li Yan[18], Wang Wenjie[19], Yang Dawen[20], Zhang Jinsong[15], Zhang Zhiqiang[21], Zhao Zhonghui[22], Zhou Shiqiao[23], Guo Haiqiang[13], Shen Yanjun[16], Xu Ziwei[12], Huang Hui[15], Meng Ping[15]**

1. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710061, P. R. China

2. Synthesis Research Center of Chinese Ecosystem Research Network, 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 100049, P. R. China

4. College of Agronomy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, P. R. China

5. Key Laboratory of Forest Ecology and Management, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China

6. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, P. R. China

7. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, P. R. China

8. Key Lab of Tropical Forest Ecology, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Menglun 666303, P. R. China

9. Chinese Academy of Meteorological Sciences, China Meteorological Administration, Beijing 100081, P.

R. China
10. Department of Earth System Science, Tsinghua University, Beijing 100084, P. R. China
11. State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China
12. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China
13. Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, P. R. China
14. Key Laboratory of Regional Climate-Environment for East Asia, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, P. R. China
15. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry Sciences, Beijing 100091, P. R. China
16. Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050021, P. R. China
17. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Northwest A&F University, Yangling 712100, P. R. China
18. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, P. R. China
19. Ministry of Education Key Laboratory of Forest Plant Ecology, Northeast Forestry University, Harbin 150040, P. R. China
20. Department of Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, P. R. China
21. School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, P. R. China
22. School of Life Science and Technology,Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, P. R. China
23. Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, P. R. China
*Email: yugr@igsnrr.ac.cn

**Abstract:** Evapotranspiration (ET) is the central process of terrestrial hydrological cycle and energy balance. Water use efficiency (WUE) reflects the coupling between carbon and water cycles. Both ET and WUE have been widely used in the researches of ecology, agriculture, hydrologyand climatology. Eddy covariance (EC) method is regarded as the only standard method for directly measuring the material and energy exchanges between biosphere and atmosphere, as well as the most important method for GPP and ET ecosystem-scale observations. By synthesizing eddy-covariance carbon and water flux data in China of both ChinaFLUX observations and published literature, we constructed the dataset of actual evapotranspiration and water use efficiency of typical terrestrial ecosystems in China. The dataset contains 143 records of annual actual ET and 96 records of annual mean water use efficiency for 45 ecosystems across China during 2000 – 2010. This dataset can provide data support for analyses on terrestrial carbon and water cycles, ecosystem management and evaluation, global change and other related researches.

**Keywords:** actual evapotranspiration; water use efficiency; eddy covariance; terrestrial ecosystem; China; ChinaFLUX

## Dataset Profile

| | |
|---|---|
| **Title** | A dataset of actual evapotranspiration and water use efficiency of typical terrestrial ecosystems in China (2000–2010) |
| **Data corresponding author** | Yu Guirui（yugr@igsnrr.ac.cn） |
| **Data authors** | Zheng Han, Yu Guirui, Zhu Xianjin, Wang Qiufeng, Zhang Leiming, Chen Zhi, Sun Xiaomin, He Honglin, Su Wen, Wang Yanfen, Han Shijie, Zhou Guoyi, Zhao Xinquan, Wang Huimin, Ouyang Zhu, Zhang Xianzhou, Zhang Yangjian, Shi Peili, Li Yingnian, Zhao Liang, Zhang Yiping, Yan Junhua, Wang Anzhi, Zhang Junhui, Hao Yanbin, Zhao Fenghua, Zhang Fawei, Zhou Guangsheng, Lin Guanghui, Chen Shiping, Liu Shaomin, Zhao Bin, Jia Gensuo, Zhang Xudong, Zhang Yucui, Gu Song, Liu Wenzhao, Li Yan, Wang Wenjie, Yang Dawen, Zhang Jinsong, Zhang Zhiqiang, Zhao Zhonghui, Zhou Shiqiao, Guo Haiqiang, Shen Yanjun, Xu Ziwei, Huang Hui, Meng Ping |
| **Time range** | 2000–2010 |
| **Geographical scope** | typical terrestrial ecosystems in China |
| **Data volume** | 143 entries for actual evapotranspiration and 96 entries for water use efficiency |
| **Data format** | *.xlsx |
| **Data service system** | <http://www.cnern.org.cn/data/meta?id=40573>; <http://www.sciencedb.cn/dataSet/handle/610> |
| **Sources of funding** | National Natural Science Foundation of China (31700414, 31500390), National Key Research and Development Program of China (2016YFA0600104), Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences (XDA19020302), Science and Technology Service Network Initiative of the Chinese Academy of Sciences (KFJ-SW-STS-169). |
| **Dataset composition** | The dataset consists of one data file with four parts of data in total: first. basic information for each ecosystem, including ecosystem code, ecosystem name, province, latitude, longitude, altitude, ecosystem type, vegetation type, dominant species, mean annual temperature, and mean annual precipitation; second. annual actual evapotranspiration data for the observational periods of each ecosystem; third. annual mean water use efficiency data for the observational periods of each ecosystem; fourth. references. |