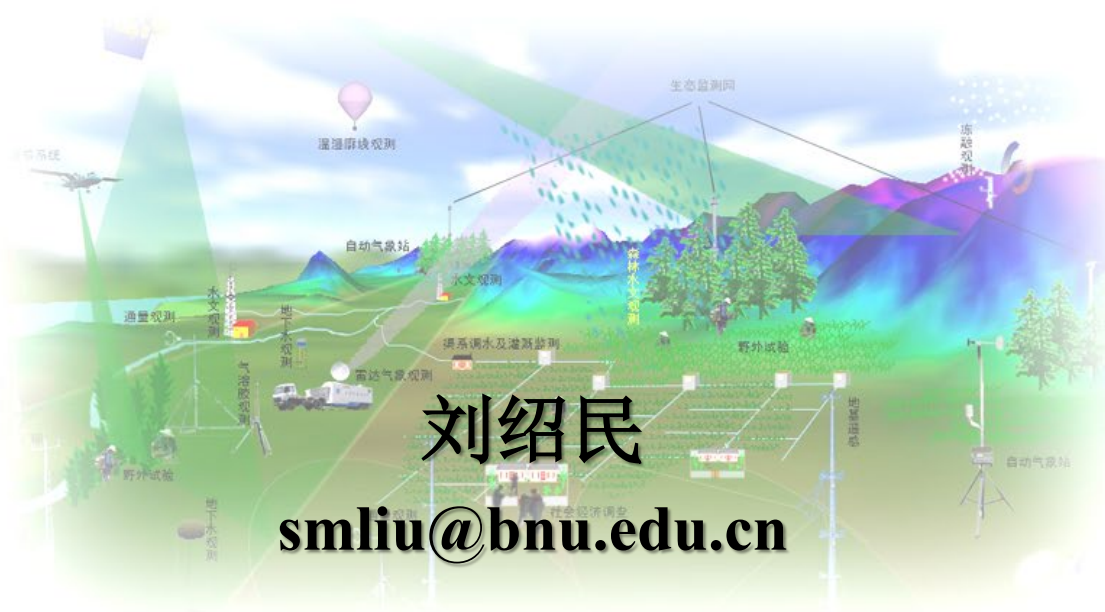


# 流域综合观测研究：从黑河到祁连山



刘绍民

smliu@bnu.edu.cn

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

2022年4月1日

# 主要内容

一、研究背景

二、黑河流域地表过程综合观测网

三、祁连山天空地一体化综合监测网

四、主要结论

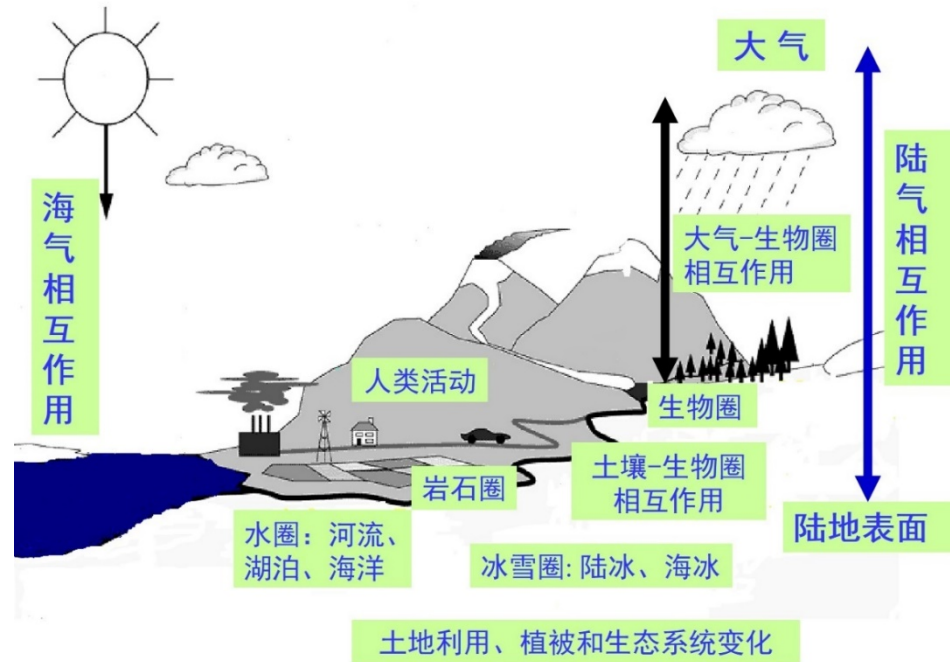


# 一、研究背景

**流域**是自然界的基本单元，也是适合开展陆表过程观测的绝佳单元。目前以流域为单元开展**天空地一体化综合观测**是陆地表层系统科学研究中的发展趋势。

陆地表层系统：“水-土-气-生-人”变化趋势与影响机制  
“山水林田湖草”生命共同体：健康状态/演化规律/驱动机制

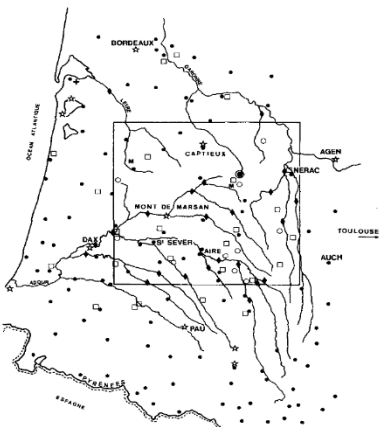
为改善对陆表系统的认识与理解，需要在**全球不同的气候区**进行全面系统的、国际合作的、大型的**野外观测试验**。



自20世纪80年代以来，在水文-大气试点试验（HAPEX）、国际地圈-生物圈计划（IGBP）、世界气候研究计划（WCRP）的“全球能量和水循环试验（GEWEX）”、国际卫星-陆面-云研究计划（ISLSCP）等研究项目的协调与组织下，以全球大气环流模式（GCM）网格为基本尺度，在世界不同地区进行了一系列大型的野外试验。

# 国外大型野外试验

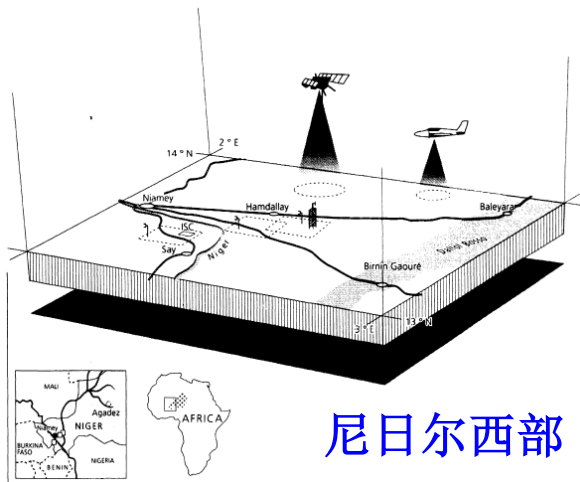
法国西南部



**HAPEX-MOBILHY**

(1985-1986, 100km × 100km)

森林、草地、农田、果园

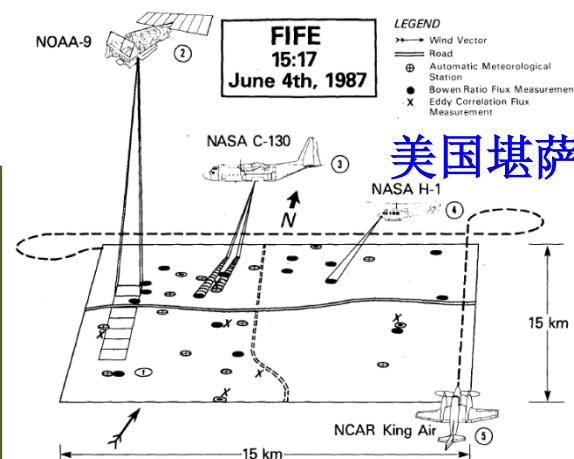


尼日尔西部

**HAPEX-Sahel**

(1991-1992, 100 km × 100 km)

森林、草地、农田等

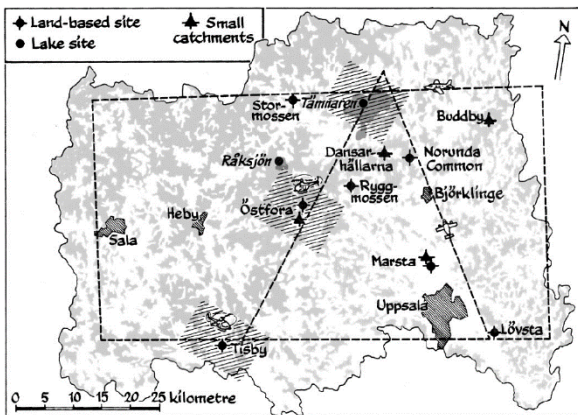


美国堪萨斯

**FIFE(1987-1989, 15km × 15km)**

草地

瑞典斯堪的纳维亚

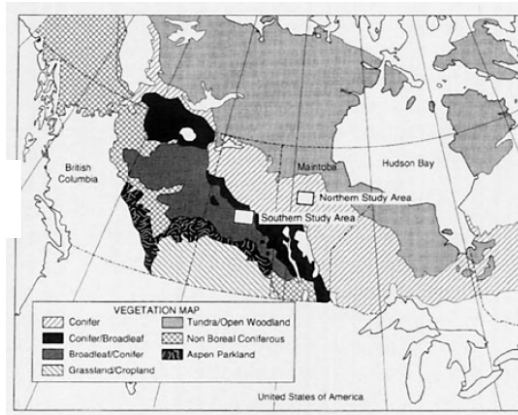


**NOPEX**

1994-1999, 50 km × 100km

森林、农田、水体

GCM网格尺度



加拿大北部森林

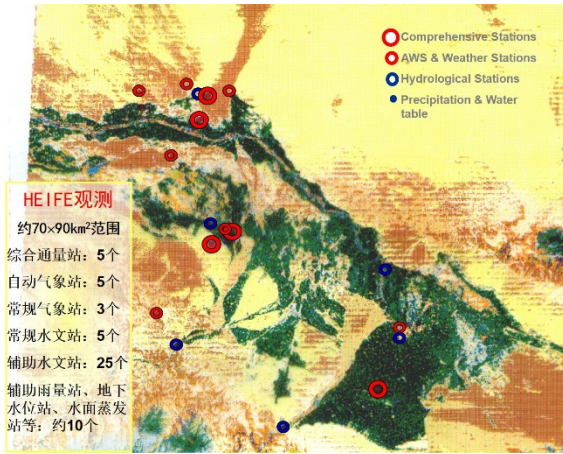
**BOREAS**

1993-1994, 1000 km × 1000km

我国的陆表系统观测试验研究居于世界前列。  
自上世纪80年代末开始，国内陆续在西北干旱区、  
青藏高原区、东部季风区和农牧交错带开展了  
“黑河地区地气相互作用野外观测试验”  
(HEIFE)、 “青藏高原试验” (GAME-  
Tibet)、 “淮河试验” (GAME-HUBEX) 和  
“内蒙古半干旱草原土壤—植被—大气相互作用”  
试验 (IMGRASS)。

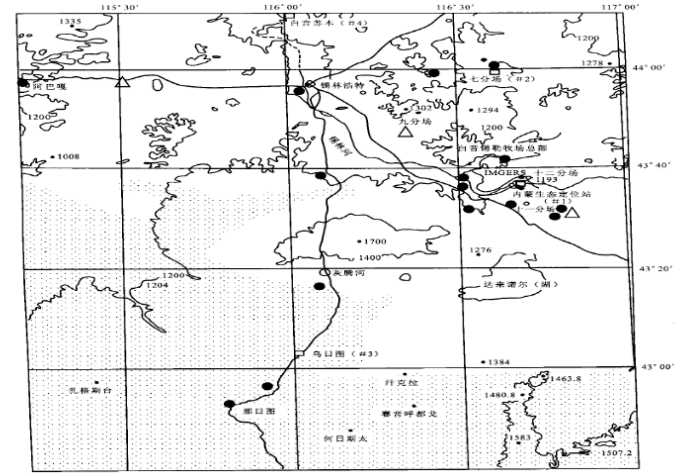
# 国内大型野外试验

## 黑河流域中游



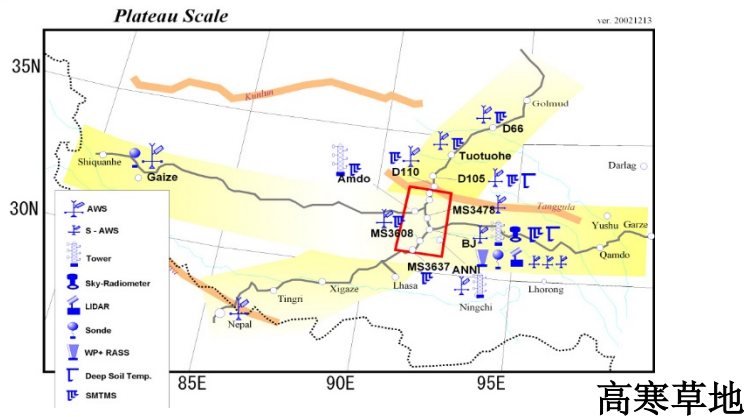
**HEIFE** 农田、戈壁等  
(1988-1992, 70km × 90km)

## 内蒙古草原



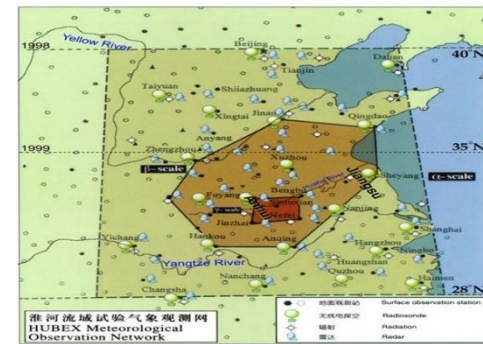
**IMGRASS** 草地  
(1997-2000, 100km × 150km)

## 青藏高原



**GAME-TIBET**(1997-1998,  
200km × 100km, 2000km × 1300km)

## 淮河流域



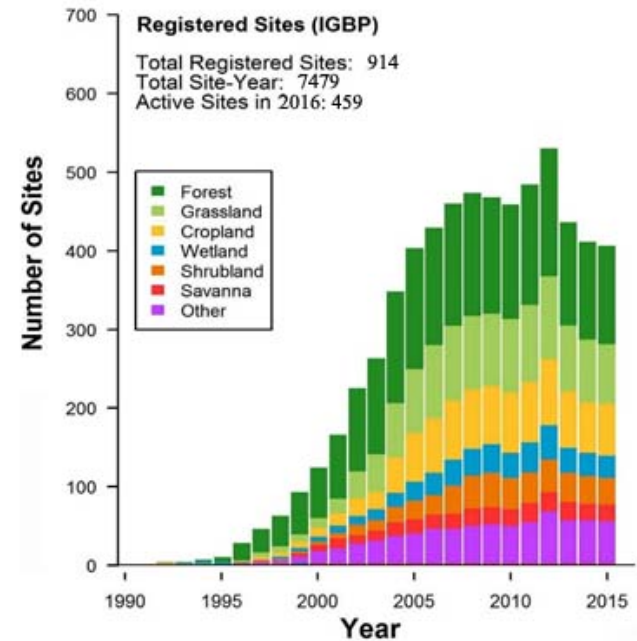
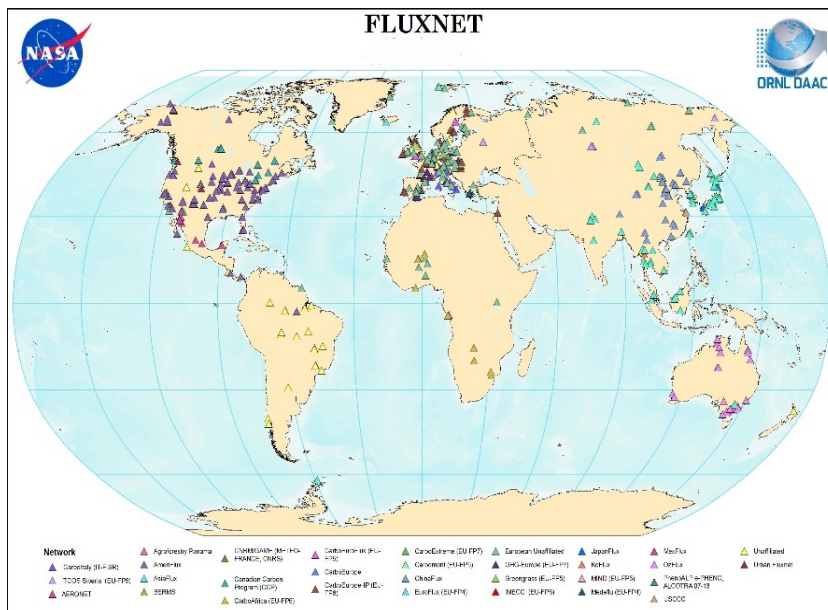
农田、森林、水体等

**GAME-HUBEX**  
1998-1999, 140km × 140km( $\gamma$ 尺度),  
700km × 700km( $\beta$ 尺度), 1200km × 1500km( $\alpha$ 尺度)



# 全球通量观测网络

- 20世纪90年代末全球通量观测网络(FLUXNET)成立，实现从单站观测到多站点联网、长时间连续观测的转变。
- 包括北/南美洲、欧洲、亚洲、大洋洲、非洲等区域，涵盖森林、农作物、草原、丛林、湿地、苔原等下垫面类型。



截止2017年2月总计注册站点达到914个，7479站年

# 流域观测系统

过去10多年来，以流域为单元建立分布式的观测系统蔚然成风。

推进水文科学大学联盟的水观测网

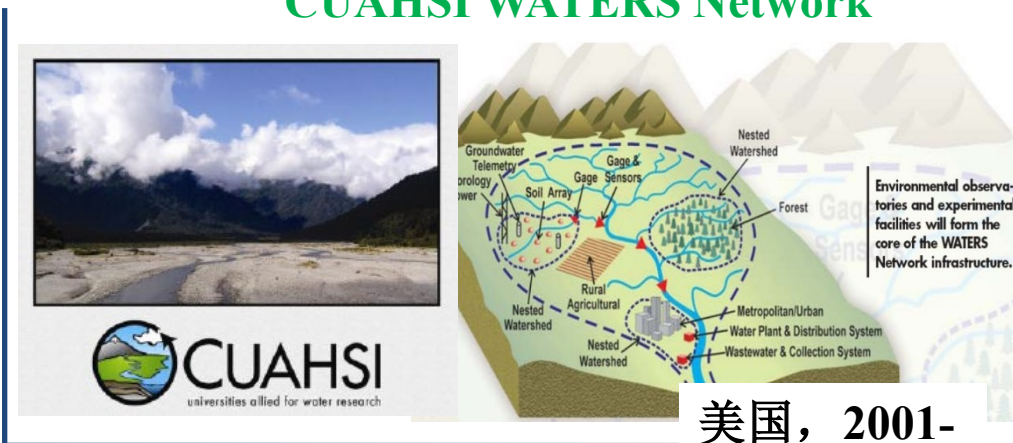
CUAHSI WATERS Network

关键带观测平台

CZO



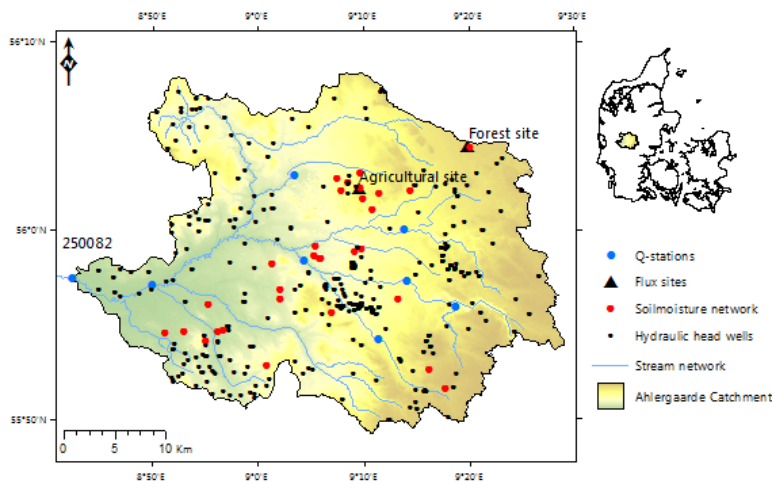
美国, 2007-



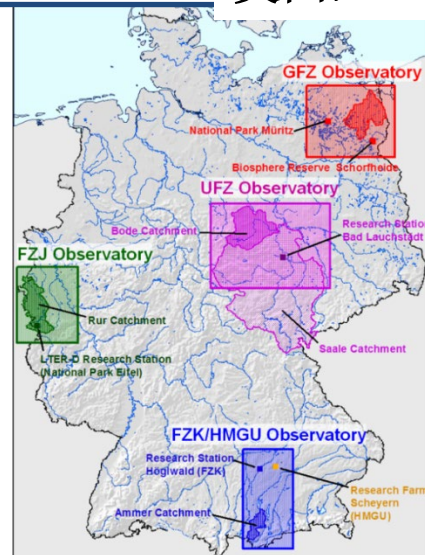
美国, 2001-

丹麦水文观测系统

HOBE



丹麦西部  
Skjern  
River  
2007-



德国,  
4个典型  
的流域  
2008~

欧洲陆地环境观测平台

TERENO

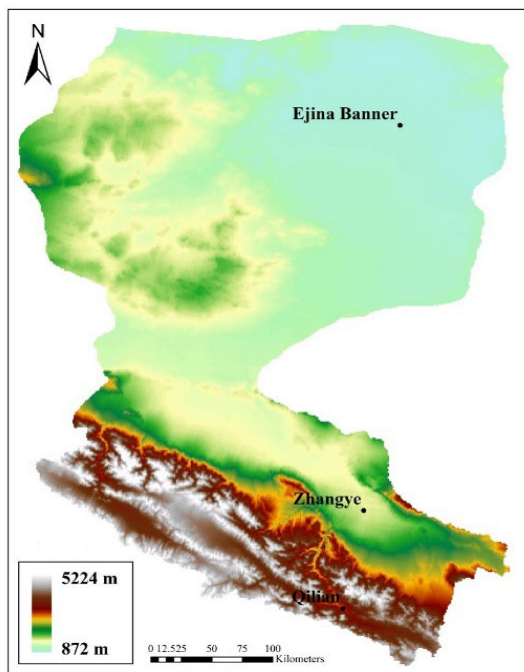
- **大型野外试验**主要是在局地精细观测研究的基础上，由点及面，为区域尺度即GCM网格点提供有代表性的陆表过程参数化方案——**某个典型区域（以站点为主）、短期**；
- **全球通量观测网络**主要是测量地气之间碳、水、能的交换，并为NPP、ET、FPAR等遥感产品提供验证数据——**多站点、长期、松散联盟**；
- 多尺度、多变量的观测，传感器网络的应用。**观测平台与信息系统的结合**是**流域观测系统**的共同特征——**多站点、长期、优化设计——整体性、综合性和系统性**；
- 强调**模式发展与观测（地面+卫星遥感）数据分析结合**；
- **遥感数据**，尤其是航空/高分辨率卫星遥感是进行**尺度转换的桥梁**。

## 流域尺度分布式的观测网

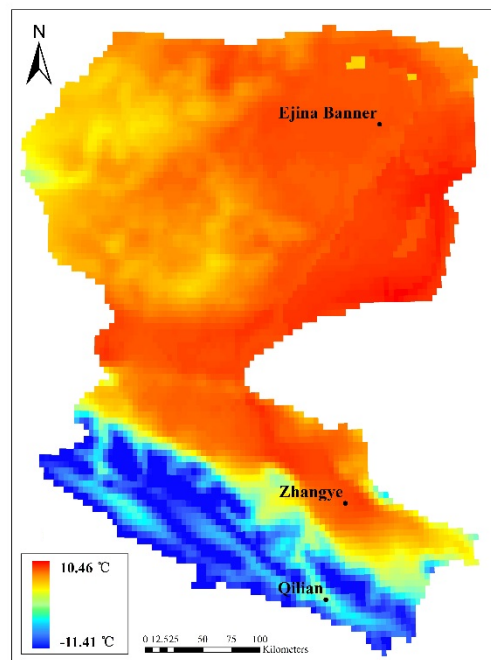


## 二、黑河流域地表过程综合观测网

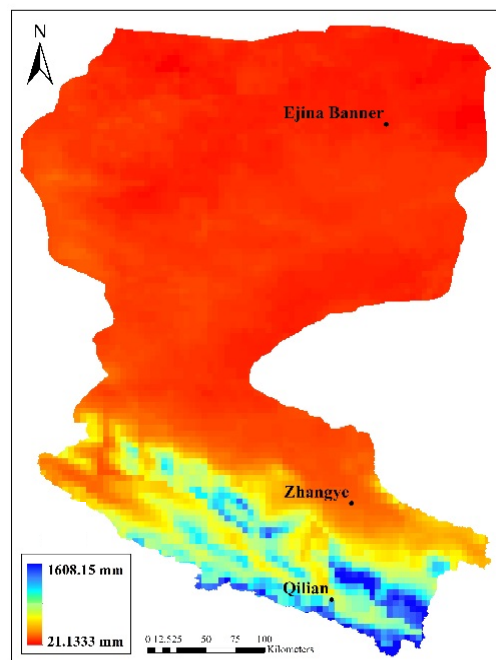
黑河流域位于中国西部干旱半干旱区，是我国第二大内陆河流域（948km），流域面积约14.3万km<sup>2</sup>。从上游（青海祁连和甘肃肃南）到中游（甘肃张掖）、下游（甘肃金塔和内蒙古额济纳旗），随着海拔高度（2000-5000、1000-2000、800-1000m）的降低，气温（1.5-2.0、2.8-7.6、8°C）、降水量（250-500、100-250、<50mm）呈现明显地带性。



海拔高度



气温（2012-2015年）



降水（2012-2015年）

黑河流域的景观地带性也十分明显，从上游到中、下游，以水为纽带，形成了“**冰雪/冻土**—**森林—草甸—绿洲**（**农田+防护林、河岸林**）—**荒漠/沙漠/戈壁**—**湖泊**”的多元自然景观。





黑河流域处于丝绸之路经济带的核心地段，向西有塔里木河流域和中亚的咸海流域等内陆河流域，因此**黑河流域的观测与研究成果**对丝绸之路经济带上的内陆河具有很高的**借鉴和推广应用价值**。



黑河流域地表过程综合观测网始建于2007年开始的“黑河综合遥感联合试验”（**WATER**, 2007-2011）；在国家自然科学基金重大研究计划“黑河流域生态-水文过程集成研究”框架下，建成于2012年启动的“黑河流域生态-水文过程综合遥感观测联合试验”（**HiWATER**, 2012-2016）。

Li Xin et al., Journal of Geophysical Research- Atmospheres, 2009, 114, D22103  
Li Xin et al., Bulletin of American Meteorological Society, 2013, 94(8), 1145-1160  
Liu Shaomin et al., Vadose Zone Journal, 2018, 17, 180072

北京师范大学地理科学学部与中国科学院西北生态环境资源研究院在2007-2016年期间共同构建与运行了黑河流域地表过程综合观测网，2017年6月5日北京师范大学与中国科学院西北生态环境资源研究院正式签署协议，共建该观测网，9月14日举行了揭牌仪式。

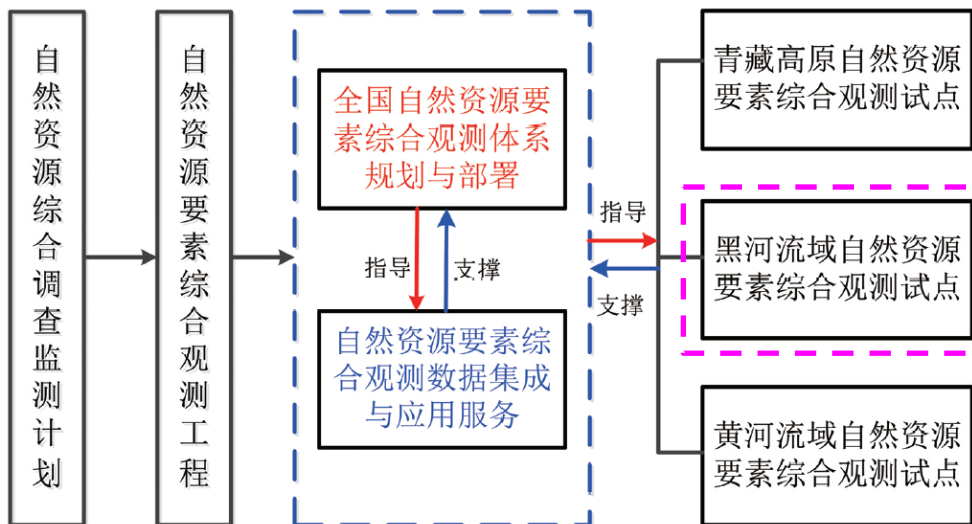




2018年自然资源部在《自然资源科技创新发展规划纲要》中将“**自然资源要素综合观测网络工程**”列为12个重大科技工程之首，并于2019年正式启动，**黑河流域被遴选为首批三个试点流域之一**。

2020年与自然资源部中国地质调查局**西宁自然资源综合调查中心**合作，依托黑河流域地表过程综合观测网，**建设“全国自然资源要素综合观测工程”的样板**。

2021年与自然资源部中国地质调查局西宁自然资源综合调查中心签署**三方共建协议**。



自然资源要素综合观测网络工程



黑河流域自然资源要素综合观测试点项目技术研讨会（2020.08.22）

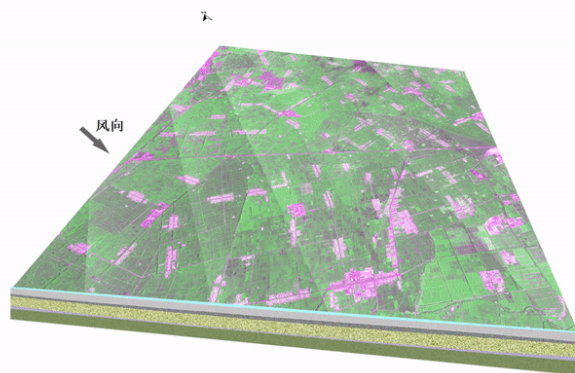
# 综合观测网的定位

- 1、以**流域**为研究对象，构建**国际领先的多尺度-多要素-多过程-分布式-立体的观测物联网**，显著提升对流域陆表系统的观测能力；
- 2、建设寒旱区**典型地表像元尺度的遥感试验场**，形成从**单站到航空像元到卫星像元尺度转换的综合观测能力**，成为国内外**主流遥感产品的真实性检验场**；
- 3、开展**天空地一体化的流域尺度长期监测**，积累长时间序列数据集，打通**观测—数据—模型—决策链条**，支撑**流域综合管理**。

- 长期观测平台—综合观测网、传感器网络、遥感监测

- 专题试验—2012年非均匀下垫面地表蒸散发的多尺度观测试验（星-机-地遥感试验、**通量观测矩阵**、传感器网络等）

通量观测矩阵



- 涡动相关仪和自动气象站
- 植物液流仪
- 土壤温湿度/叶面积指数传感器网络
- 闪烁仪
- 水文气象要素梯度观测

- 观测站网的运行与维护
- 数据共享与产出



# （一）长期观测平台

## 1、综合观测网

观测网始建于**2007年**（3个观测站），完成于**2013年**（23个观测站点：3个超级站和20个普通站），覆盖了黑河流域上、中、下游主要下垫面类型（草甸、青海云杉、农田、湿地、山前荒漠、怪柳、胡杨、戈壁/沙漠等）。**2016年起**，精简与优化为**11个观测站**（3个超级站和8个普通站），开始业务化运行。**2020年**，与自然资源部中国地质调查局西宁自然资源综合调查中心合作，在中游金塔、下游居延海各建了一个普通站。

# 普通站

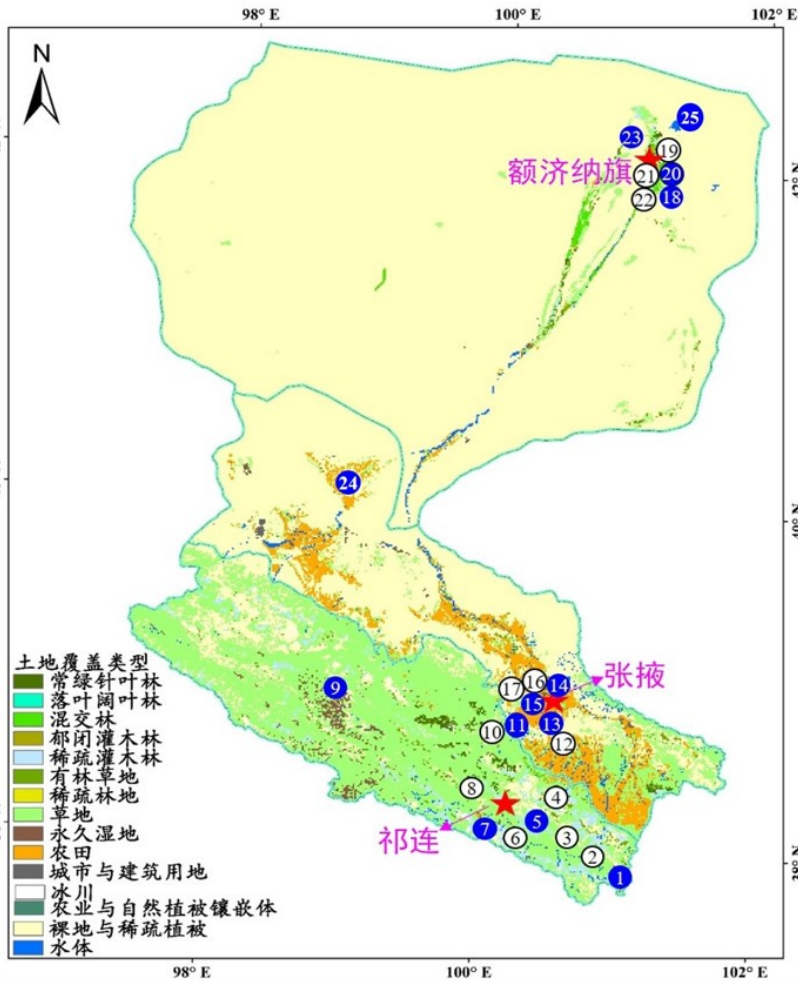
# 综合观测网

# 超级站

下游 3

中游 4

上游 3



下游 1

中游 1

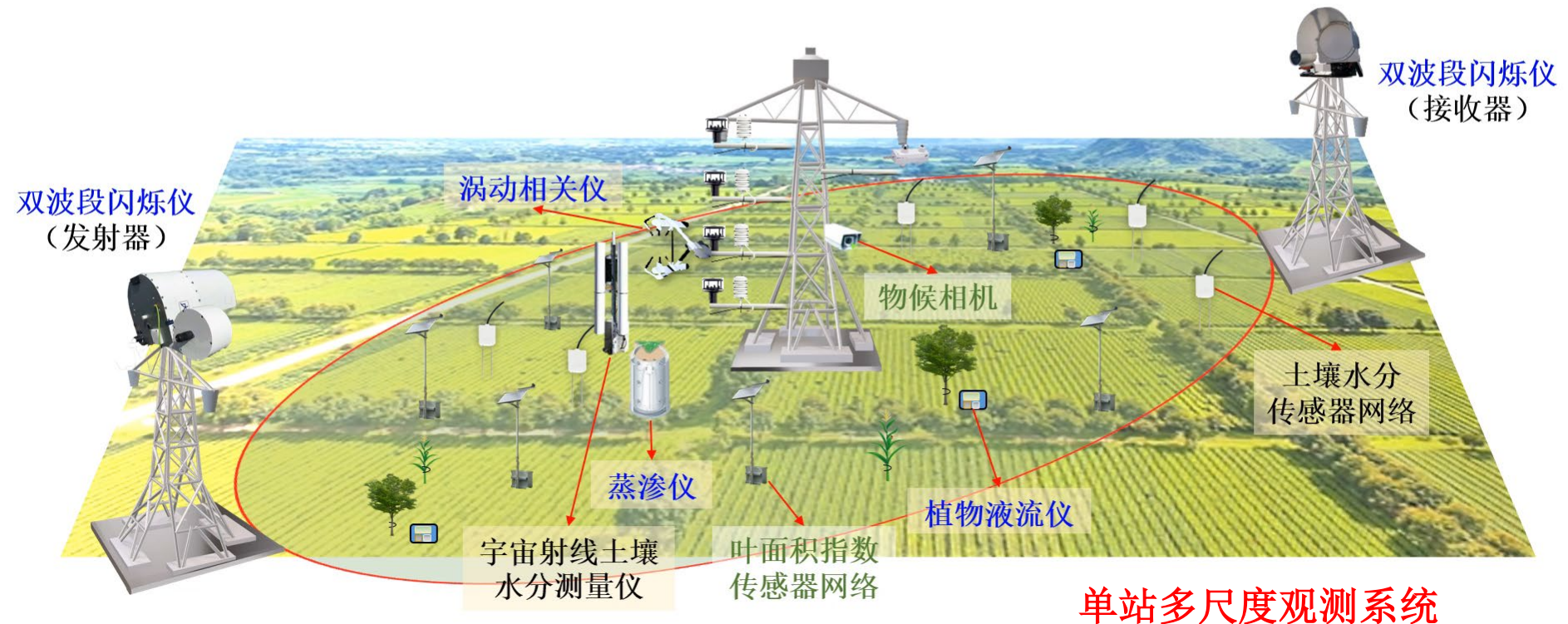
上游 1



# (1) 地表通量（水、热、碳、甲烷）与气象要素

超级站

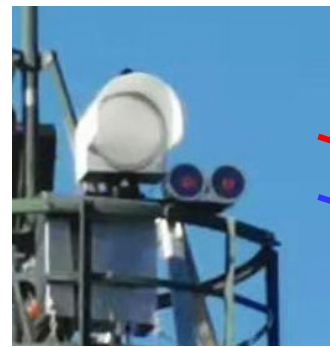
超级站多尺度观测系统由**蒸渗仪/植物液流仪-涡动相关仪-闪烁仪多尺度地表通量观测**以及影响因子观测等组成，如：**多尺度土壤水分**（土壤水分探头-宇宙射线土壤水分测量仪-土壤温湿度传感器网络）、**气象要素**（梯度观测系统）。



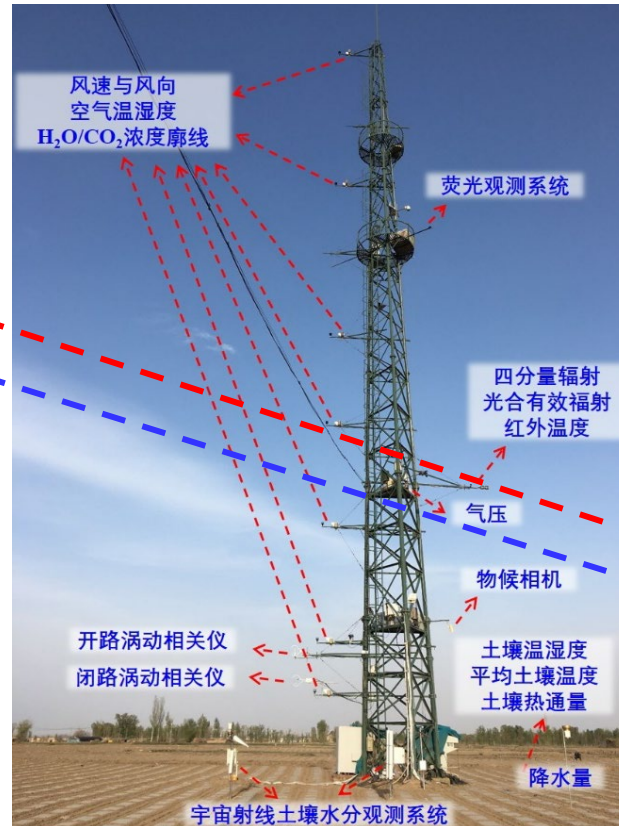
## 大满超级站（40米铁塔）：

**1套气象要素梯度观测系统：**7层气温、湿度、风速与风向、CO<sub>2</sub>浓度与水汽密度（3、5、10、15、20、30、40m）、四分量辐射与光合有效辐射（12m）、红外辐射温度（2个，12m）、气压、降水量以及土壤温湿度廓线（0、2、4、10、20、40、80、120、160cm）、土壤热通量（3块、6cm）等；

**2套涡动相关仪**（开路+闭路，4.5m/3.5m；采集器CR6）、**1套双波段闪烁仪**、**蒸渗仪**以及**宇宙射线仪**、**土壤温湿度传感器网络**（10个节点）等。

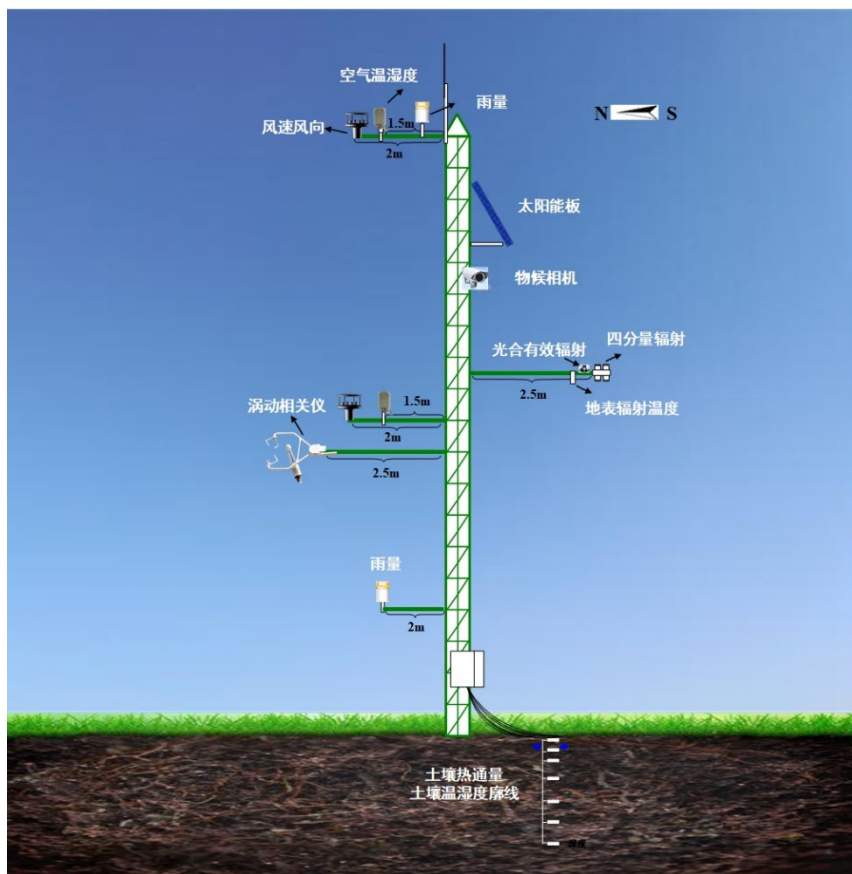


1854m



普通站 由涡动相关仪、自动气象站等构成。

花寨子普通站（10米铁塔）：



普通站10米塔

1套自动气象站：

2层气温、湿度（5、10m）

2层风速（5、10m）、风向（10m）

四分量辐射（6m）、

红外辐射温度（2个，6m）、

气压、降水量

土壤温湿度廓线（0、2、4、10、20、40、60、100cm）

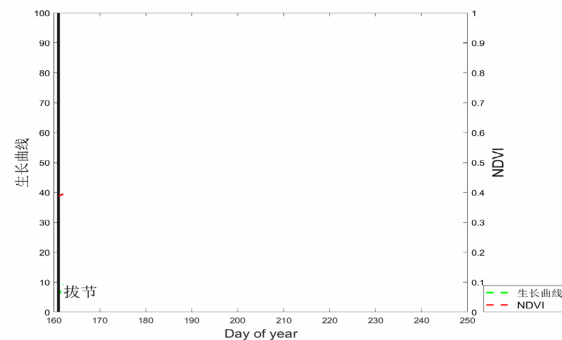
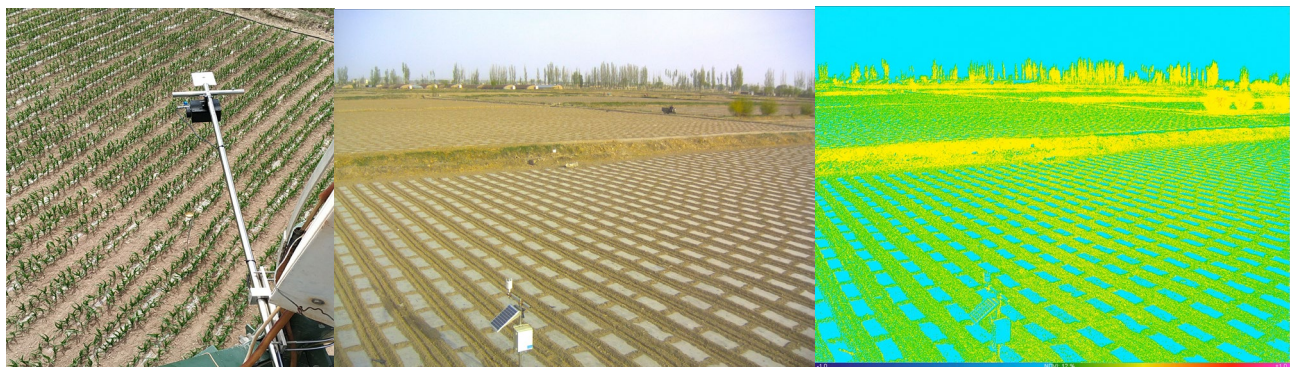
土壤热通量（3块、6cm）等；

1层涡动相关仪（4.5m）。

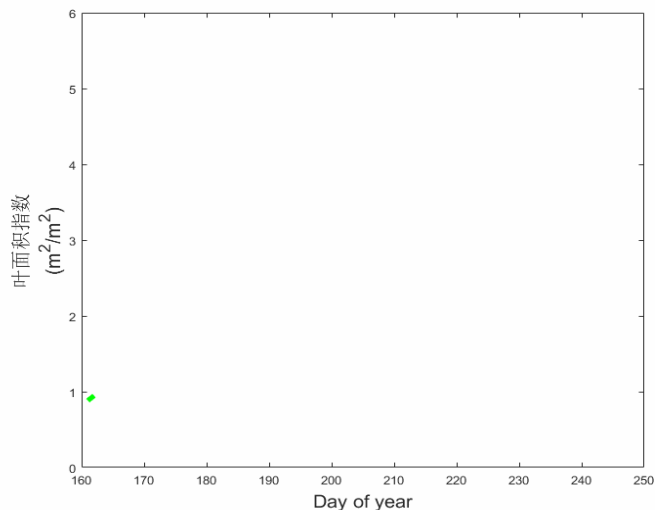
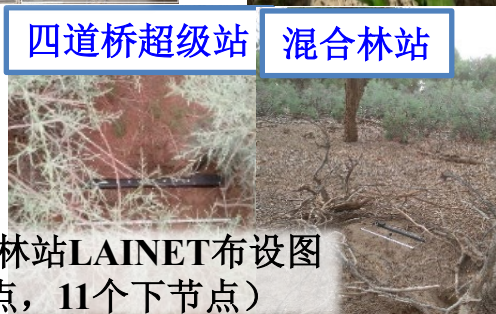
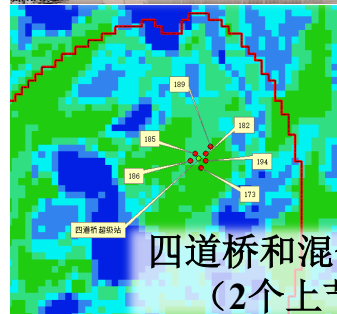


## (2) 植被参数

在黑河流域各观测站点安装了物候相机，阿柔、大满与四道桥超级站、混合林站安装了叶面积指数传感器网络（LAINet）。



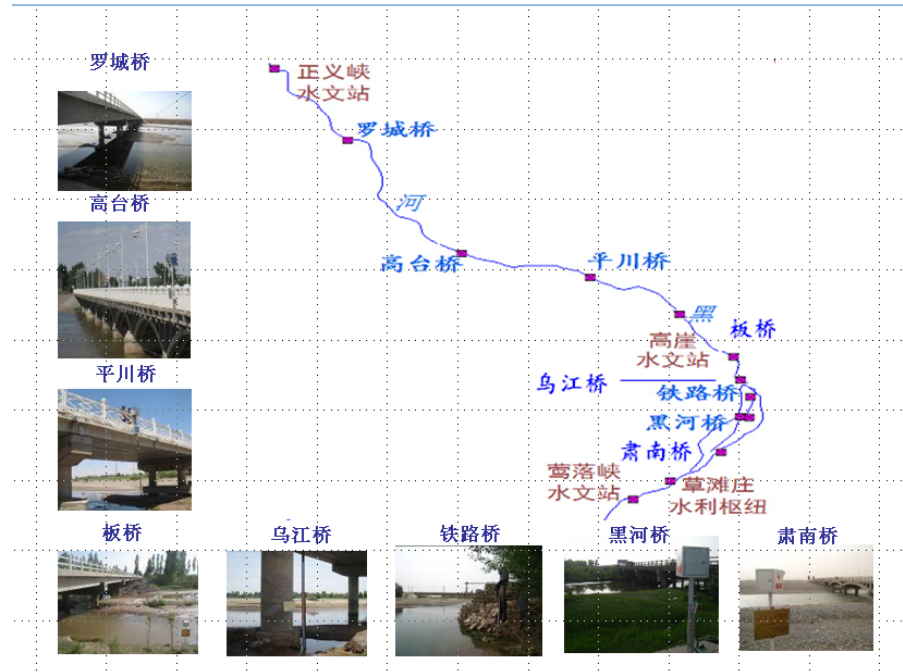
大满超级站物候相机（植被指数、物候，2021.5-9）



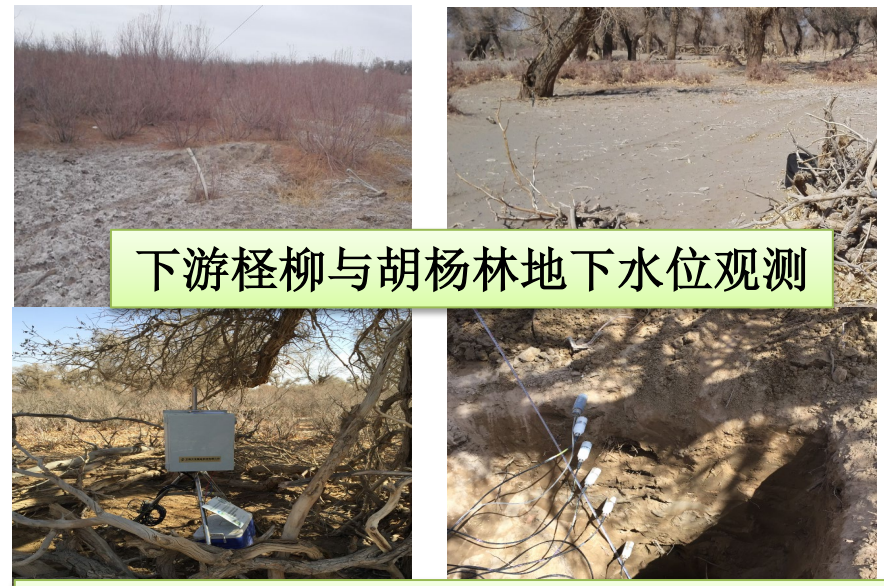
大满超级站叶面积指数（2021.5-9）

### (3) 水文参数

2012-2015年在213国道黑河桥、312国道黑河桥、兰新铁路桥、乌江桥、板桥、高崖水文站、平川桥、高台桥**8个水文断面**监测黑河中游各断面流量变化过程（**河流水位和流速**）。



2013年8月起，在下游开展针对胡杨与怪柳的**5个点地下水位观测**。2016年4月起开展针对**胡杨林的林下和林间土壤水分廓线对比观测**（2、4、10、20、40、60、100、160、200、240cm）。



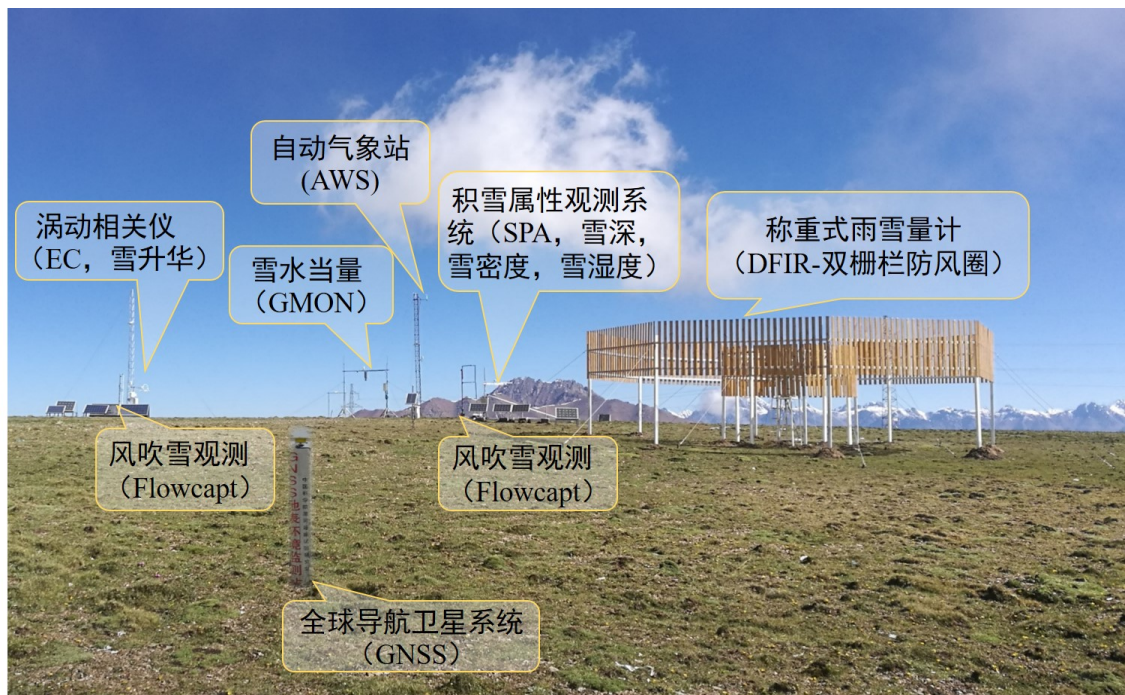
下游怪柳与胡杨林地下水位观测

下游胡杨林的林下和林间土壤水分廓线观测

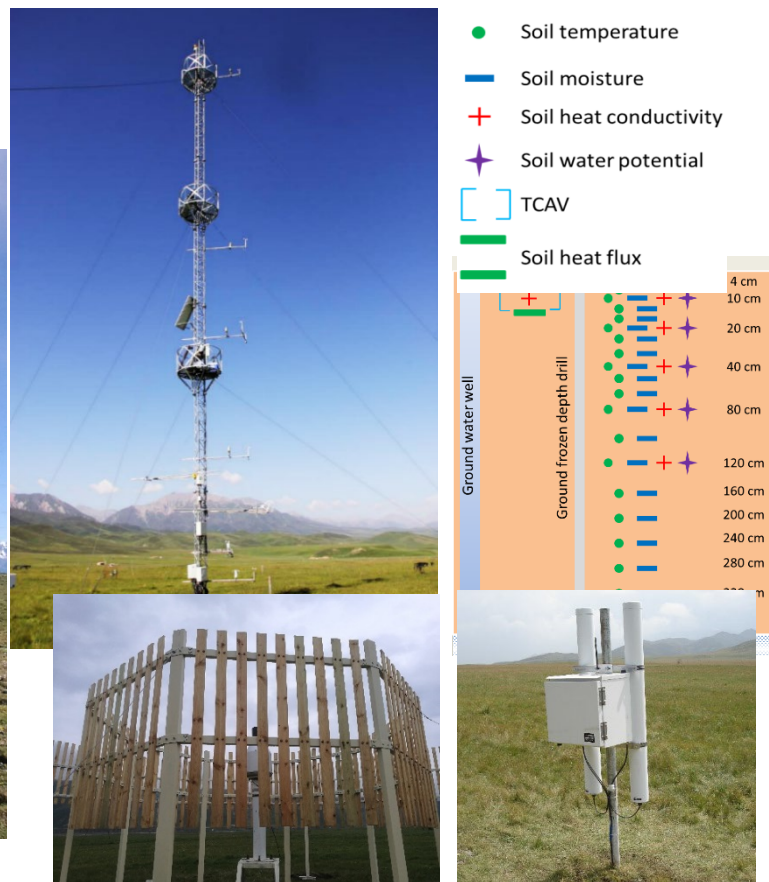


# 积雪和冻土

上游垭口站建有**积雪观测系统**、阿柔超级站设有**冻土观测场**：  
**土壤温湿度观测系统**（0、2、4、6、10、15、20、30、40、60、80、120、160、200、240、280、320cm）、**土壤水势和导热率**（4、10、20、40、80、120 cm）、**雪深、宇宙射线仪以及标准的雨雪量计**。



上游垭口站**积雪观测系统**（降雪、风吹雪、雪升华、雪水当量、积雪深度、积雪属性等）



阿柔超级站的**冻土观测场**



## (4) 其它参数

主要包括土壤与地表辐射特性参数。

2012年各观测站进行了土壤参数（土壤质地、孔隙度、容重、饱和导水率和土壤有机质含量等）测量；

2013年起开展了地物光谱、地表发射率与组分温度、微波辐射特征、叶绿素荧光光谱（大满和阿柔站）的观测。



土壤参数



典型地物的发射率



微波辐射特征



组分温度观测



荧光光谱观测

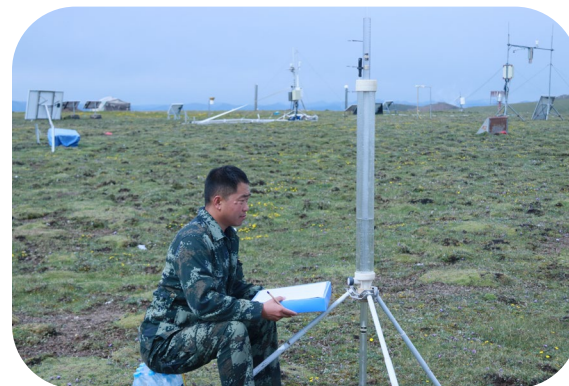
## 2020年在黑河上、中、下游9个站点，开展土壤参数调查。

### ➤ 超级站：阿柔、大满和四道桥

- 土壤质地、土壤容重、孔隙度、田间持水量、入渗率、土壤水分特征曲线、饱和导水率、电导率；
- 土壤矿物组成、有机质、全碳含量、有机碳、腐殖质含量以及氮、磷、钾及有效性肥力指标、根系密度与深度、微生物群落；

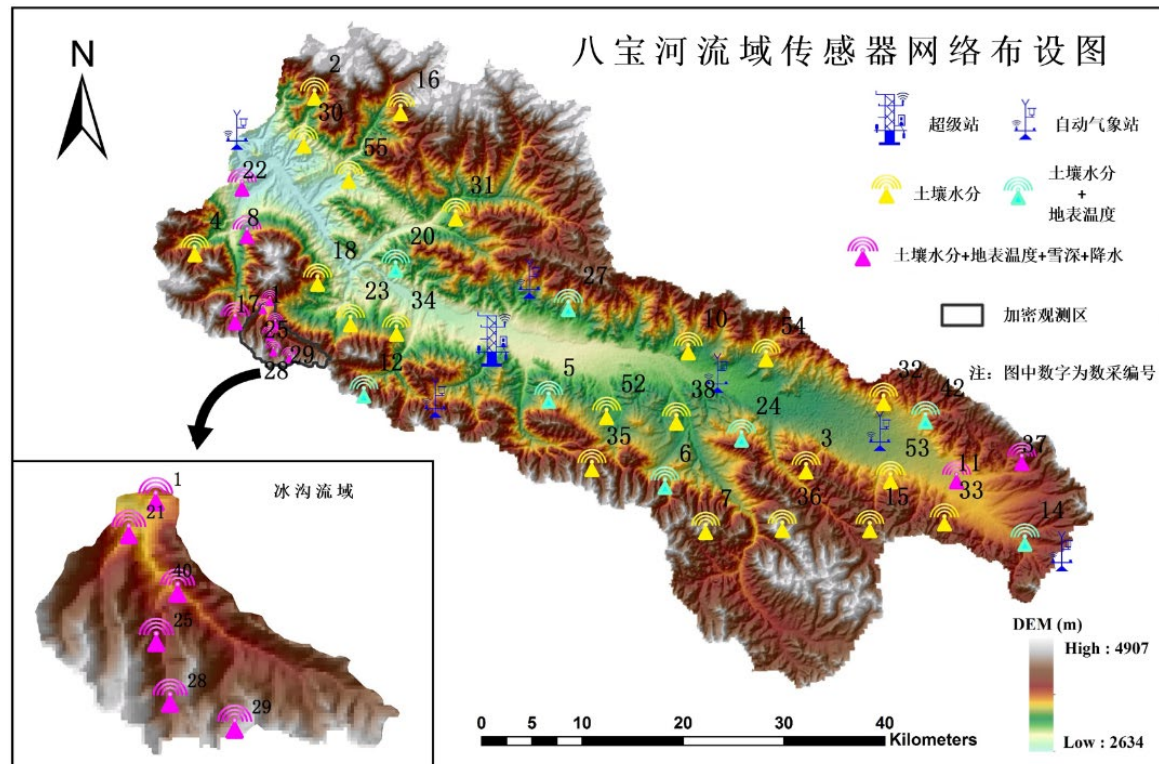
### ➤ 普通站：大沙龙、埡口、景阳岭、花寨子、混合林、荒漠站

- 土壤质地、容重、孔隙度、饱和导水率、碳含量。



## 2、生态水文无线传感器网络

在黑河上游八宝河子流域内（2537km<sup>2</sup>），布设**40套WATERNET土壤水分无线传感器网络节点**，主要观测高寒草地、农田和裸地的4cm、10cm及20cm土壤温度和水分。



上游八宝河流域无线传感器网络（2013.6-）

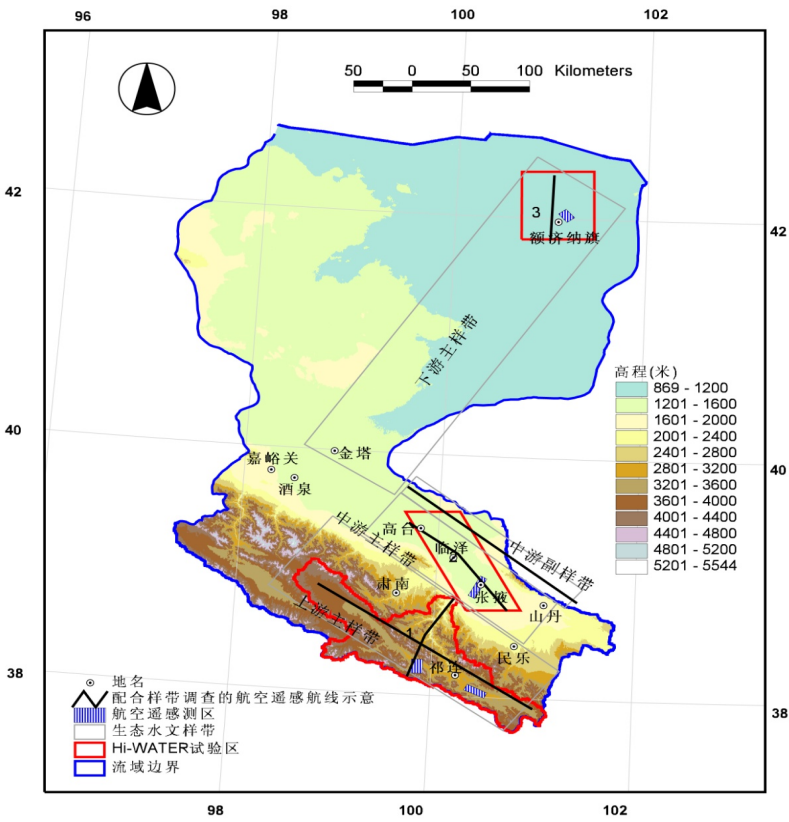


### 3、多源遥感监测-航空遥感

从2012年6月29日开始，至8月底，获取了黑河流域上、中游的成像光谱、多角度的**可见光与红外传感器(CASI、TASI、WIDAS)**、以及**激光雷达(LIDAR)**、**微波辐射计(PLMR)**的全波段机载数据。

2014年7月29日和8月4日在下游额济纳旗飞行，包括**激光雷达、高光谱成像仪、多波段相机、热像仪**。

2014年10月1、2日在上游祁连山飞行，涉及**激光雷达、CCD相机**。



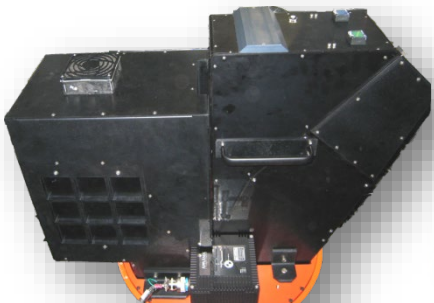
CASI

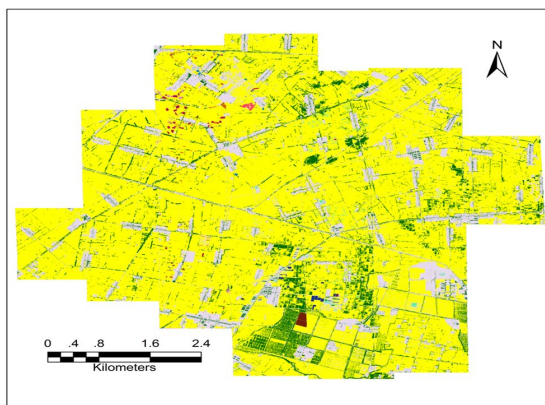
TASI

PLMR

WIDAS

LiDAR





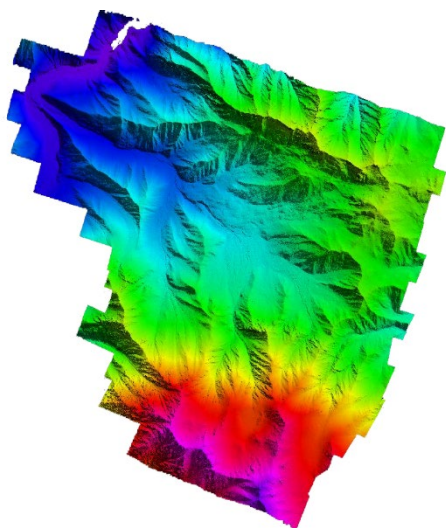
土地利用图



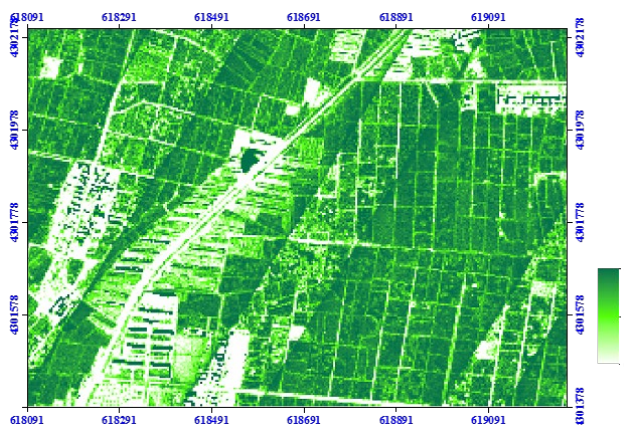
反照率 (5m)



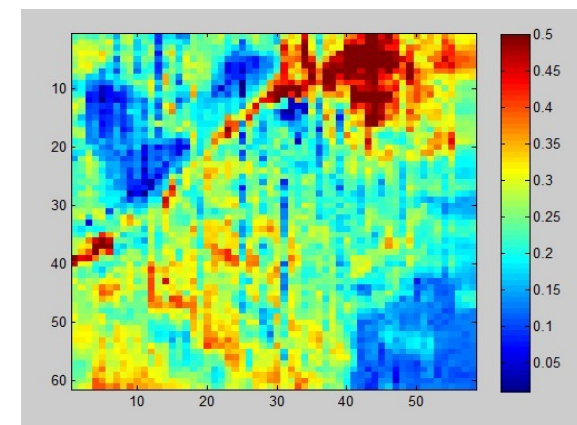
地表温度 (3m)



LiDAR反演的DEM(1m)



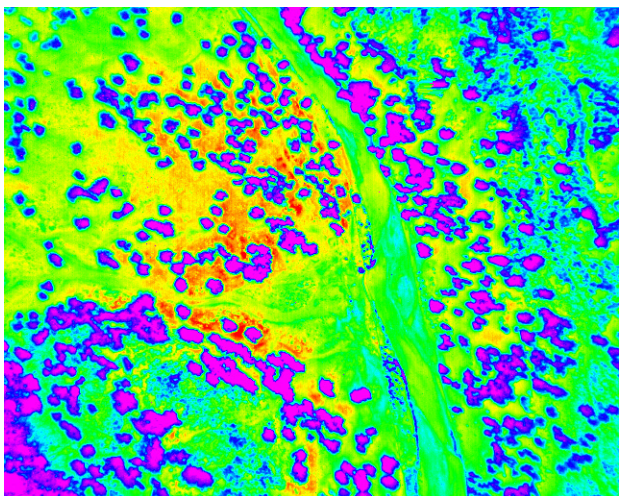
叶面积指数 (1m)



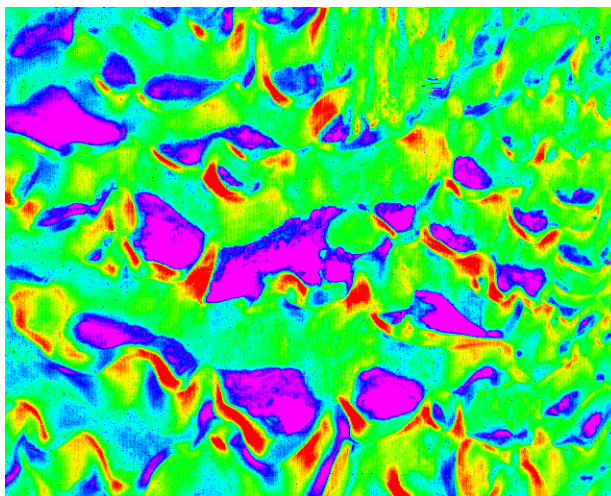
土壤水分 (700m)

2012年中、上游试验期间航空遥感产品

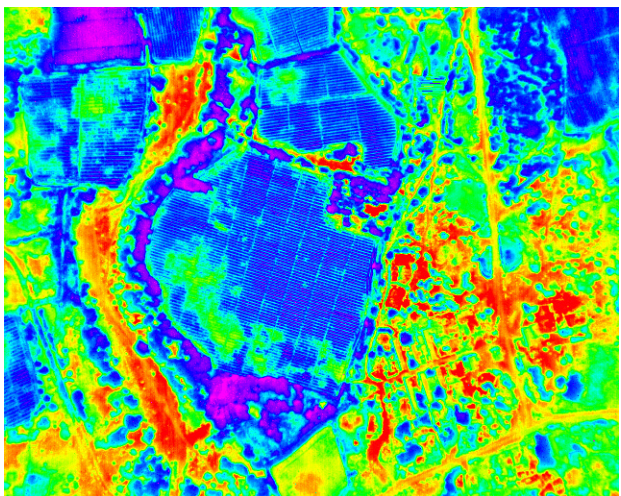




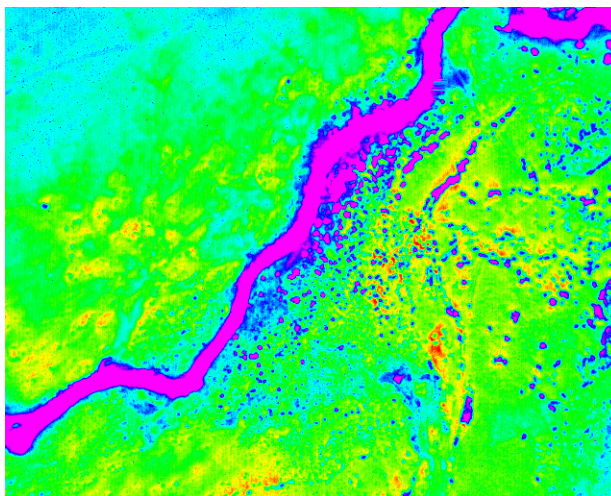
黑河下游胡杨林热成像图



黑河下游荒漠热成像图



黑河下游农田热成像图



黑河下游河道热成像图

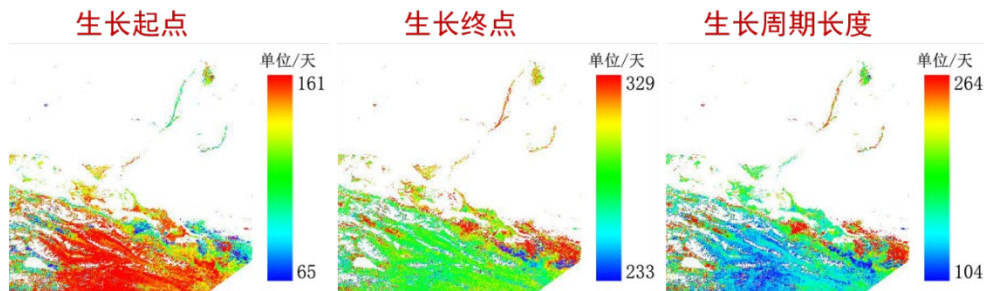
2014年下游额济纳旗的红外航空遥感数据（1m）

### 3、多源遥感监测-卫星遥感

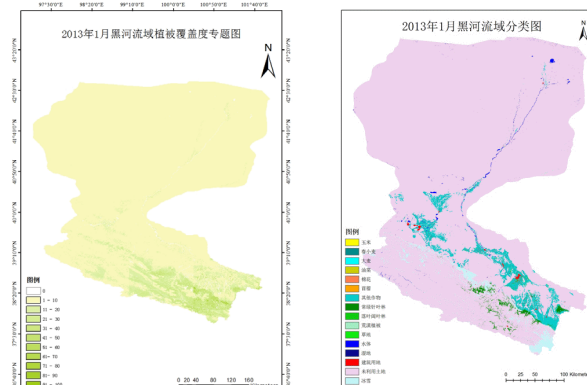
全球遥感产品空间分辨率多大于1km，时间分辨率多为8天、16天或更低。因此生产了黑河流域9类关键生态-水文变量的遥感产品（植被类型/土地覆被、物候期、植被覆盖度、NPP、叶面积指数、积雪面积、土壤水分、降水量、蒸散发）。黑河流域遥感产品的空间分辨率多为1km或优于1km；时间分辨率上，积雪面积、土壤水分、地表蒸散发产品为逐日。

产品名称	空间分辨率	时间分辨率	完成情况
植被类型/土地覆被	30 m	1月	2011~2015年
物候期	1 km	6幅/1个生长期	2012~2015年
植被覆盖度	30m, 250m, 1km	5天、16天、1月	2011~2015年
NPP	1 km	5天	2012~2015年
叶面积指数	30m, 1 km	5天、1月	2010~2015年
积雪面积	500 m	1天	2000~2015年
土壤水分	1 km	1天	2008~2015年
降水量	0.05 度	1小时	2000~2016年
蒸散发	1km	1天、1月	2000~2016年

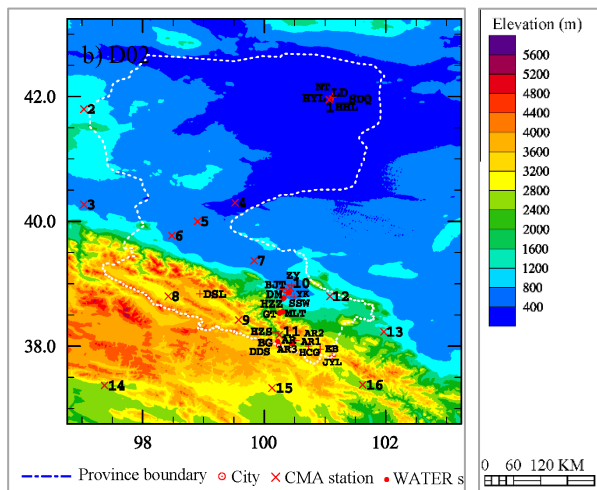




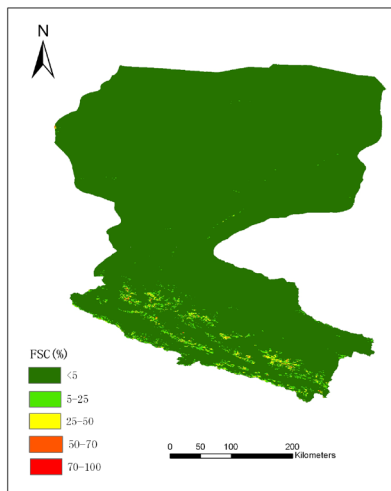
植被物候期 (1km)



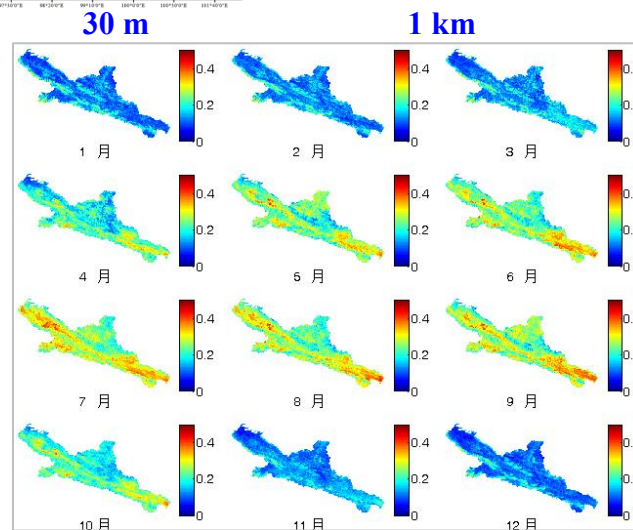
植被覆盖度和分类



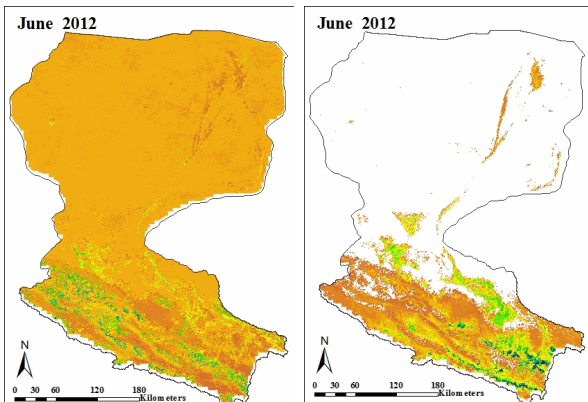
逐时, 0.05° 降水量



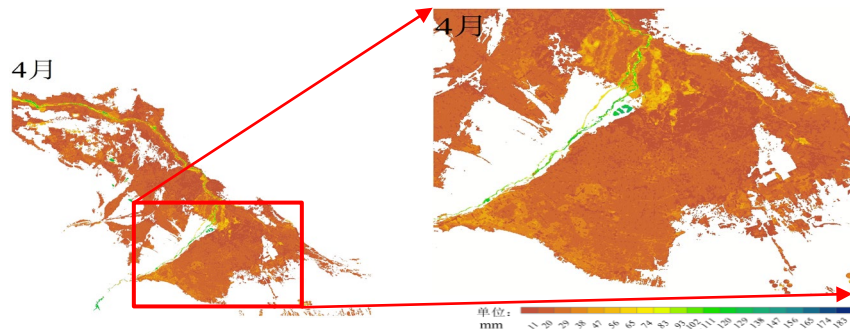
逐日, 1km土壤水分



逐日, 500 m 积雪面积比例



逐日, 1km E和T



逐日, 100m ET

流域尺度高时空分辨率遥感产品



## （二）观测站网的运行与维护

### 1、观测仪器的比对与标定

在观测系统布设之前，首先对所用仪器进行比对与标定。如地表通量观测仪器（涡动相关仪、闪烁仪、辐射仪等）、多层风温湿传感器与土壤水分探头等。

- 中游巴吉滩戈壁地表通量仪器的比对试验；
- 下游灌丛地表通量仪器的比对试验；
- 其它传感器比对与标定试验（风温湿、土壤水分、降水等传感器）

## 观测仪器比对试验-中游

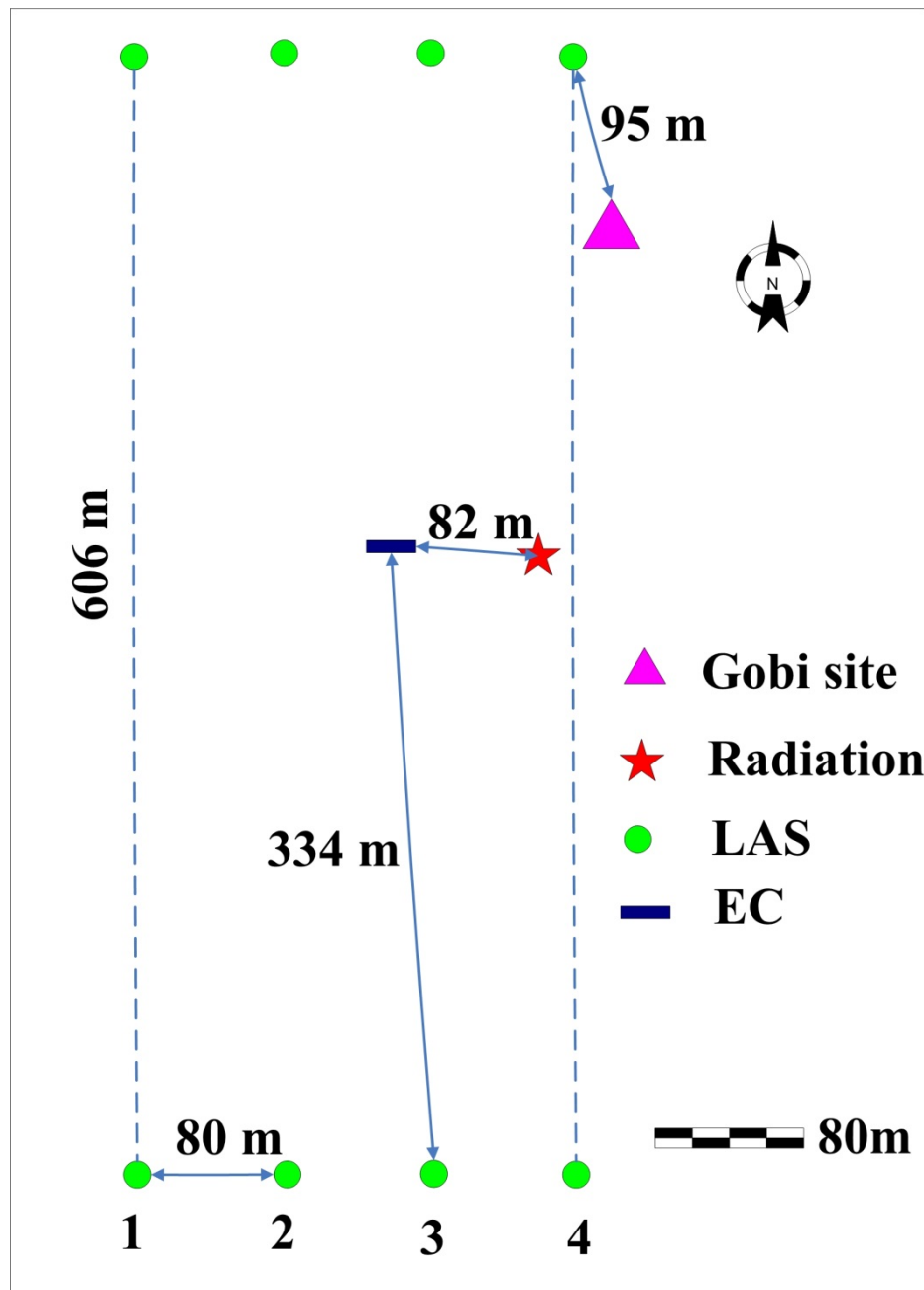
地表能量通量观测仪器比对试验  
在张掖市城西巴吉滩开展

( $100^{\circ}18'15.17''$  E;  $38^{\circ}54'53.87''$  N)。  
选取比较平坦、 $320\text{m} \times 606\text{m}$ 区域  
作为比对场，包括**18台辐射仪**，**20**  
**台涡动相关仪(EC)**，**7台大孔径闪**  
**烁仪(LAS)**。

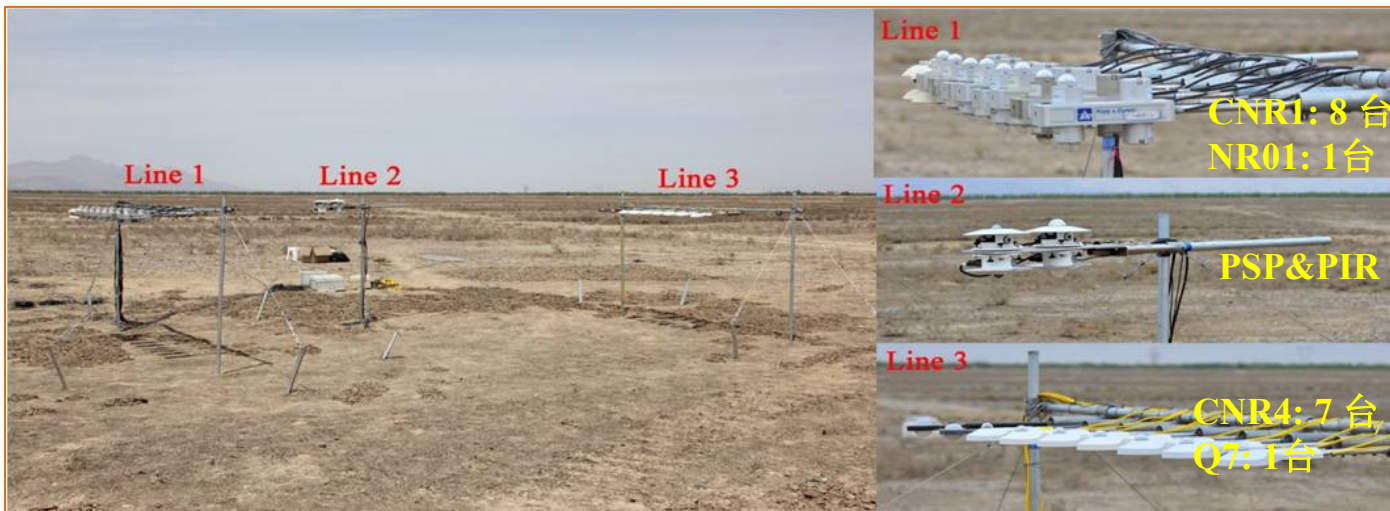
比对时间：2012年5月14-24日。



仪器比对场



辐射仪



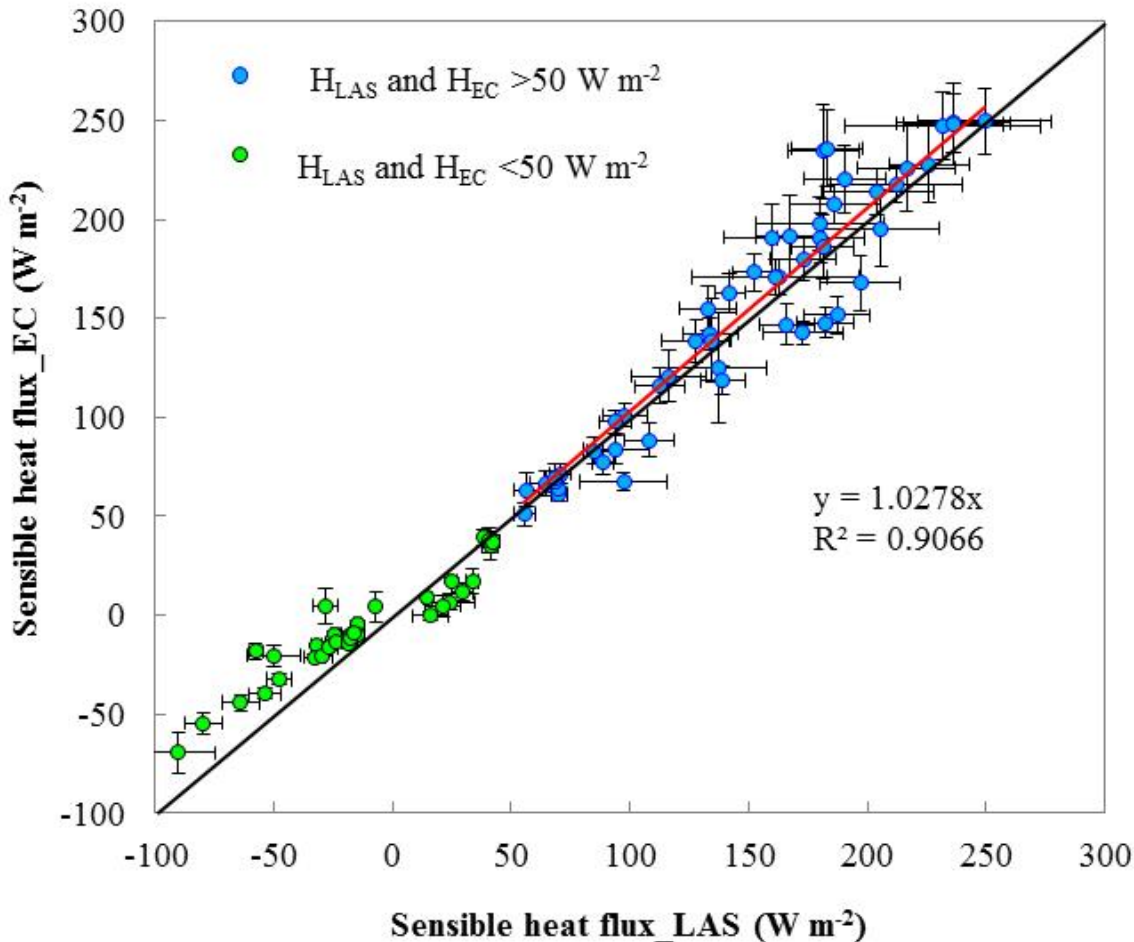
EC



LAS



辐射仪、涡动相关仪和大孔径闪烁仪的比对试验



图中回归线为感热通量大于 $50 \text{ W m}^{-2}$ 数据的回归（德国LAS的稳定度函数采用Thiermann and Grassl, 1992方法）。

20台涡动相关仪测量感热通量的平均值与7台大孔径闪烁仪测量感热通量平均值的比较(风向角: 315-0, 0-45)



**辐射仪-6台**

(CNR4-5台, CM21-1台)

5'13.36" N )

**涡动相关仪-6台**

(CSAT3&Li7500-4台, CSAT3&Li7500A-1台,  
CSAT3&EC150-1台)

**大孔径闪烁仪-2台**

(BLS900-1台, LAS-K&P-1台)





# 风温湿、降水、土壤水分等传感器比对与标定



上游



中游



下游

比对与标定结果可用于评估观测仪器的一致性 & 可靠性，指导仪器布设，并有助于后续观测数据的处理与分析。



雨量计比对  
(中游上头闸村、大满站)



土壤水分传感器  
比对与标定



涡动相关仪( $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ )  
的标定



## 2、观测系统的维护

### 流域观测网



### 野外站网远程监控与数据处理系统



### 大数据平台



**观测物联网：**数据远程接收与存储、实时浏览、在线处理、分析与汇交，仪器远程监控与预警—观测数据的实时汇聚、观测仪器的远程监控、运行与维护的快速响应



# 野外站网远程监控与数据处理系统

数据远程接收与存储、实时浏览、在线处理、分析与汇交，仪器远程监控与预警

野外站网远程监控与数据处理系统

首页

台站信息

数据接收与管理

数据浏览

远程监控

数据处理与分析

数据汇交

帮助

admin

退出

**目的：更好地进行野外观测站网的运行和维护，数据处理与分析、数据汇交等。**



# 黑河流域地表过程综合观测网

绘制各个站点的要素变化图，检查观测数据质量

数据处理与质量评价

每日

每旬

每月

每年

观测数据集

浏览观测网中各个站点的观测数据与仪器状态

各个站点巡检与采集数据

观测数据的发布与共享

检修与更换

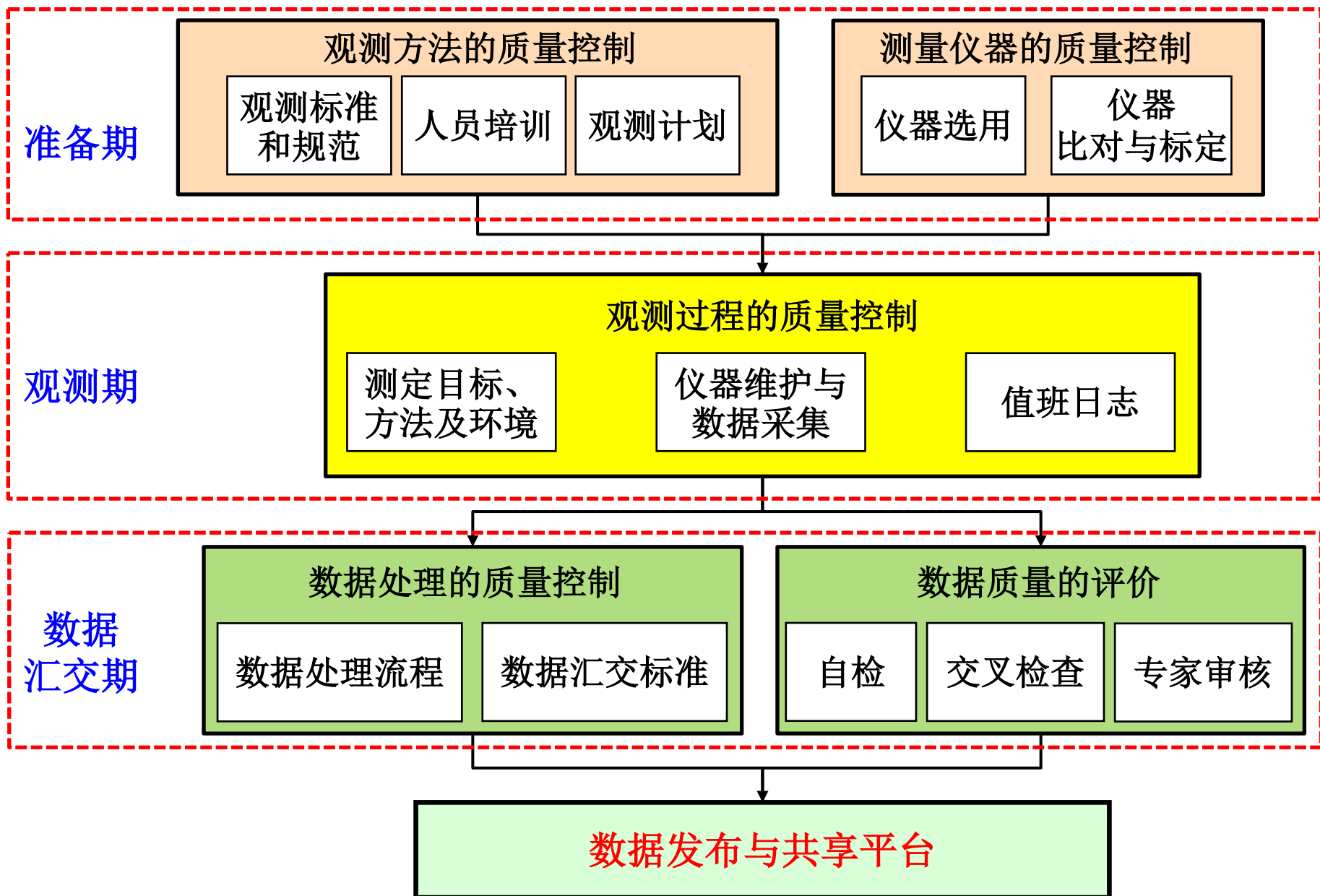
标定与检查

如发现问题，及时对站点的仪器进行检修与更换

在每年4-5月、10-11月对观测网仪器进行全面的标定和检查

## 观测网的运行与维护

### 3、观测数据的处理与质量控制



观测数据全过程的质量控制流程

# 黑河流域地表过程综合观测网

自动气象站、涡动相关仪、闪烁仪、  
宇宙射线仪、径流、TDP、物候相机、LAINet等

## 数据处理



- 每类数据集制定具体的处理方案、处理程序/软件；
- 实施严格的数据处理与质量控制

## 数据审核



- 自检
- 交叉检查
- 专家审核

## 元数据撰写



- 站点描述、处理过程、表头说明、注意事项、参考文献、项目信息等

数据汇交



数据中心

数据处理流程



# (三) 数据共享和产出

在“国家青藏高原科学数据中心”、“数字黑河”、“黑河计划数据管理中心”、“寒区旱区科学数据中心”上发布中文和相应的英文数据集**715个**（HiWATER: 470; WATER: 245）。**4000多人**次注册下载与使用，支持各类科研项目**600多个**，发表了**近千篇文章**。开创了国内科学数据共享的新模式，被认为“改变了数据共享的文化”。

**国家青藏高原科学数据中心**  
National Tibetan Plateau Data Center

请输入搜索内容

首页 数据产品 大数据分析 模型库 新闻 关于我们

**黑河流域数据专题**

- HiWATER
- + 卫星遥感数据
- + 卫星遥感产品
- + 航空遥感数据
- + 航空遥感产品
- + 流域水气象观测网
- + 定标与真实性检验观测试验
- + 生态水文无线传感器网络
- + 非均匀下垫面地表蒸发的多尺...
- + 黑河流域地表过程综合观测网
- + 其他黑河流域数据
- + WATER

**专题介绍**

简介：黑河流域是我国第二大内陆河流域，从流域上游到下游，以水为纽带形成了“冰雪冻土-森林-草原-河流-湖泊-绿洲-沙漠-戈壁”的多元自然景观，流域内寒区和干旱区并存，山区冰冻圈和极端干旱的河流尾间地区形成了鲜明对比。与此同时，黑河开发历史悠久，人类活动显著地影响了流域的水文环境，2000多年来，这一地区的农业开发，屯田垦殖，多种文化的碰撞交流、此消彼长，无不与水深刻地联系在一起。自然和人文过程交汇在一起，使黑河流域成为开展流域综合研究的一个十分理想的试验流域。无论从黑河流域独特的自然地理环境，还是从几千年来的人类活动影响，黑河流域都是我国内陆河研究的重要基地。目前，大量科学研究与实验积累下来的丰富和宝贵的资料，为流域生态水文研究奠定了很好的科学数据基础。

为数据用户使用方便，根据数据获取的不同试验阶段，黑河流域数据专题又分为：黑河流域生态-水文过程综合遥感观测联合试验（英文简称：HiWATER），黑河综合遥感联合试验（英文简称：WATER），黑河流域地表过程综合观测网和其他黑河流域数据。

HiWATER：“黑河流域生态-水文过程综合遥感观测联合试验”（简称“黑河生态水文遥感试验”，英文名称Heihe Watershed Allied Telemetry Experimental Research，简称HiWATER），是围绕基金委“黑河流域生态-水文集成研究”重大研究计划中的核心科学目标，以黑河流域已建立的观测系统以及2007~2009年开展的“黑河综合遥感联合试验”成果为基础，联合多学科、多机构、多项目的科研人员，于2012~2015年在黑河流域开展的一次卫星和航空遥感及地面观测互相配合的多尺度综合观测试验。

WATER：“黑河流域遥感-地面观测同步试验”（简称“黑河综合遥感联合试验”，英文名称Watershed Airborne Telemetry Experimental Research，简称WATER）是由中国科学院西部行动计划（二期）项目“黑河流域遥感-地面观测同步试验与综合模拟平台建设”与国家重点基础研究发展计划（973计划）项目“陆表生态环境要素主动感知协同反演理论与方法”共同设计并组织实施。是在流域尺度上开展的，以水循环及与之密切联系的生态过程为主要研究对象的大型航空、卫星遥感与地面向步观测科学试验。“黑河综合遥感联合试验”共完成25年架次、110个小时的航空遥感飞行试验，来自28家相关单位的281位科学家、工程技术人员和研究生参加试验。获取了一套高质量的、多尺度的、经过规范化处理并发布共享的流域综合数据集。

黑河流域地表过程综合观测网：在国家自然科学基金委员会“黑河流域生态-水文过程集成研究”重大研究计划框架下，“黑河流域综合观测网”始建于2008年“黑河综合遥感联合试验”（WATER，2008-2011）期间，建成于2013年的“黑河流域生态-水文过程综合遥感观测联合试验”（HiWATER，2012-2015）。该观测网包括3个超级站、18个普通站，覆盖黑河流域上、中、下游区域，涵盖草地、农田、湿地、柽柳、胡杨、荒漠、沙地、戈壁、裸地等主要地表类型。2014年纳入中国科学院遥感试验与地面观测网络（RSON），2016年起，优化为3个超级站和8个普通站，持续合站观测和数据共享。

**国家青藏高原科学数据中心**  
(<https://data.tpdc.ac.cn/zh-hans/>)

**TPDC国家青藏高原科学数据中心**

请输入搜索内容

首页 数据产品 大数据分析 模型库 新闻 数据提交 关于我们

**祁连山综合观测网：黑河流域地表过程综合观测网（大满超级站涡动相关仪-2020）**  
Qilian Mountains Integrated Observatory network: Dataset of Heihe integrated observatory network (eddy covariance system of Damanshan Superstation, 2020)

该数据集包含了2020年1月1日至2020年12月31日的黑河流域地表过程综合观测网大满超级站涡动相关仪观测数据。站点位于甘肃省张掖市太满景区内，下垫面是玉米。观测点的经纬度是100.37223E, 38.85551N，海拔1556.06m。涡动相关仪的架高4.5m，采样频率是10Hz，超声朝向上风向，超声风温湿仪（CSAT3）与CO2/H2O分析仪（LI7500A）之间的间距是17cm。

涡动相关仪的原始观测数据为10Hz，发布的数据是采用Eddypro软件处理的30分钟数据。其处理的主要步骤包括：极点剔除、延迟同步校正、坐标旋转（二次坐标旋转）、频率响应修正、超声风速修正和湍流（WPL）修正等，同时对各通量值进行质量评价。主要是大气平流性（Asf）和湍流相似性特征（ITC）的检验。对Eddypro软件输出的30min通量值也进行了筛选：（1）剔除仪器出问题时数据；（2）剔除降水小时1h的数据；（3）剔除10Hz原始数据中每30min内缺失率大于10%的数据。观测数据按小时间隔为30分钟，一天48个数据，缺失数据标记为-9999。

发布的观测数据包括：日期时间Date/Time，风向Wind（°），水平风速Wind（m/s），偏向风速标准差Std\_Uly（m/s），超净空温T<sub>z</sub>（°C），水汽密度H<sub>2</sub>O（g/m<sup>3</sup>），二氧化碳浓度CO<sub>2</sub>（mg/m<sup>3</sup>），壁温Sensor\_Ustar（m/s），奥布索尔长标尺（m），感热通量H<sub>z</sub>（W/m<sup>2</sup>），湍流通量LE（W/m<sup>2</sup>），二氧化碳通量Fc（mg/m<sup>2</sup>），二氧化碳通量Fc（mg/m<sup>2</sup>），植被盖度的质量标志QA\_1h，植被盖度的质量标志QA\_1E，二氧化碳通量的质量标志QA\_Fc，感热、湍流、二氧化碳通量的质量标志为九级（质量标志1-9级质量较好，4-6级质量较好，7-8级质量较差（仅用于数据解释）；9级质量最差），数据缺失的含义，R30-30代表00-0:30的均值；数据以\*.xlsx格式存储。

黑河流域地表过程综合观测网站点信息请参考Li et al. (2018)，观测数据发布请参考Li et al. (2011)。

数据获取条件及文件格式方法  
年份: \*\*观测网+站名架次+EC

格式: \*\*.xlsx  
内容: \*\*观测网+站名架次+EC

数据获取条件及文件格式方法  
年份: \*\*观测网+站名架次+EC

格式: \*\*.xlsx  
内容: \*\*观测网+站名架次+EC

## 黑河流域数据专题

## 大满超级站涡动相关仪数据发布界面

# 十九篇论文入选ESI热点和高被引论文

**Wu et al., 2008, AFM, WOS: 410**

**Tang et al., 2010, RSE, WOS: 290**

**Liu et al., 2011, HESS, WOS: 336**

**Li et al., 2013, BAMS, WOS: 577**

**Xu et al., 2013, JGR, WOS: 204**

**Cheng et al., 2014, NSR, WOS: 318**

**Li et al., 2014, RSE, WOS: 149**

**Liu et al., 2016, AFM, WOS: 117**

**Li et al., 2017, Scientific data, WOS: 89**

**Liu et al., 2017, AFM, WOS: 105**

**Li et al., 2018, JGR, WOS: 111**

**Liu et al., 2018, VZJ, WOS: 138**

**Xu et al., 2019, RSE, WOS: 39**

**Duan et al., 2019, RSE, WOS: 122**

**He et al., 2020, Scientific data, WOS: 204**

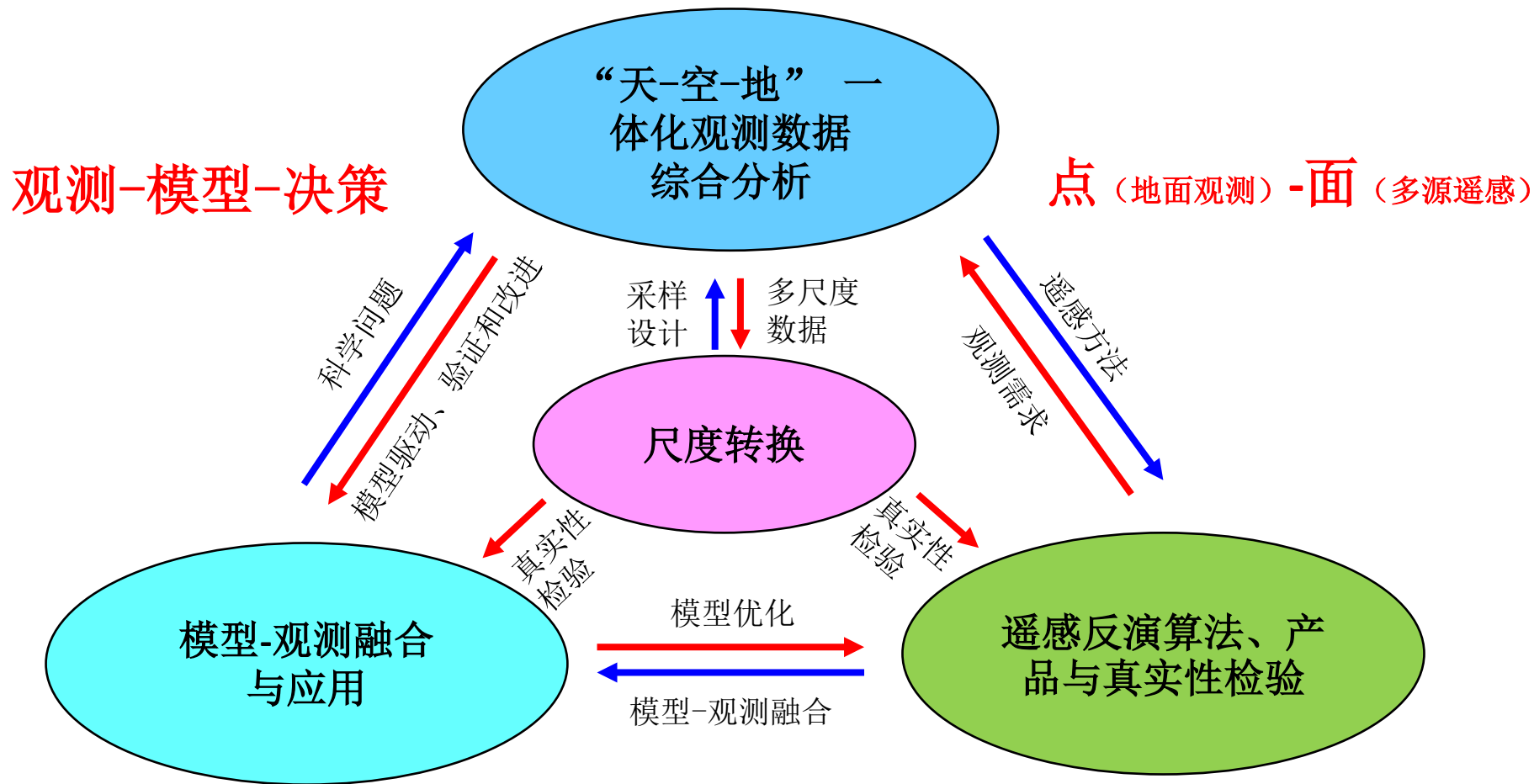
**Luo et al., 2020, AFM, WOS: 32**

**Li et al., 2021, TGRS, WOS: 27**

**Wang et al., 2021, AFM, WOS: 15**

**Zhang et al., 2021, RSE, WOS: 22**

从观测数据综合分析、尺度转换、异质性地表遥感产品生产与真实性检验到模型-观测融合与应用等，开展了流域陆表系统集成研究。

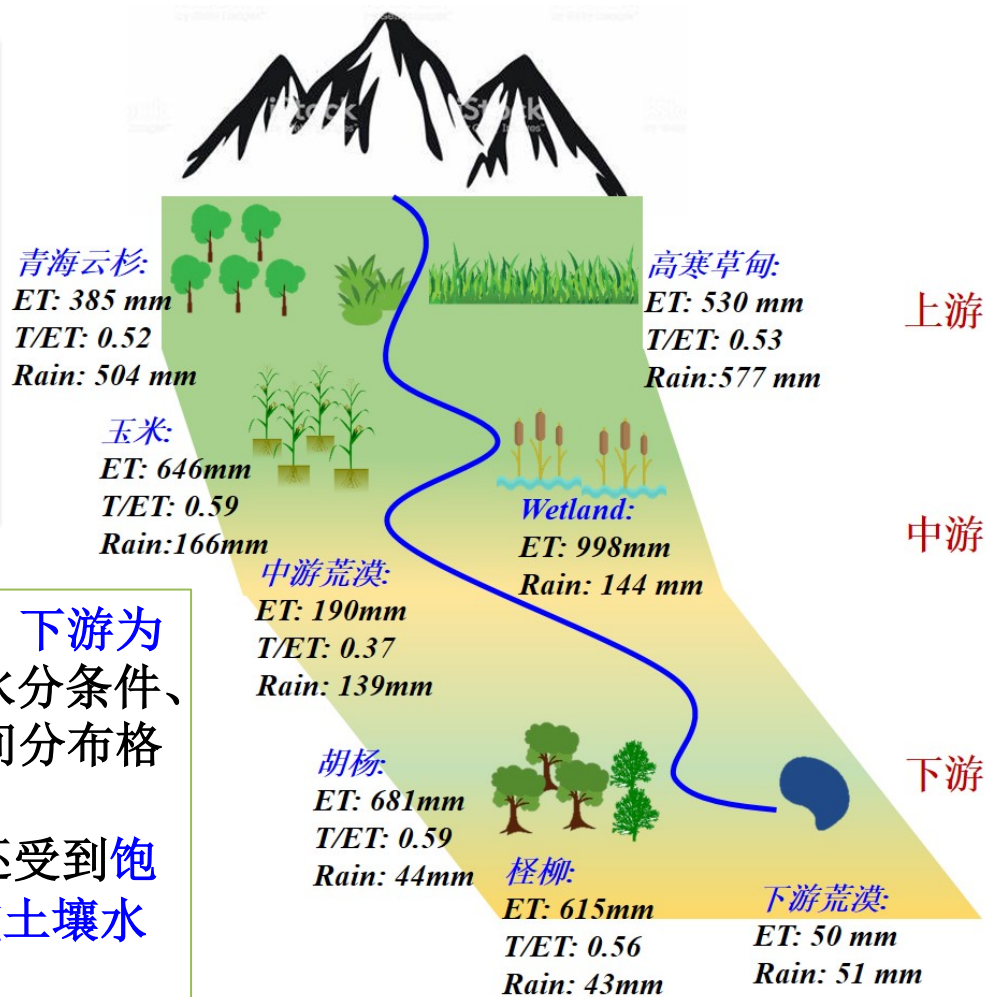




# 1、观测数据的综合分析

量化了黑河流域多尺度蒸散发（典型生态系统、绿洲-荒漠系统和全流域）的时空变化特征，并探讨了影响机制。

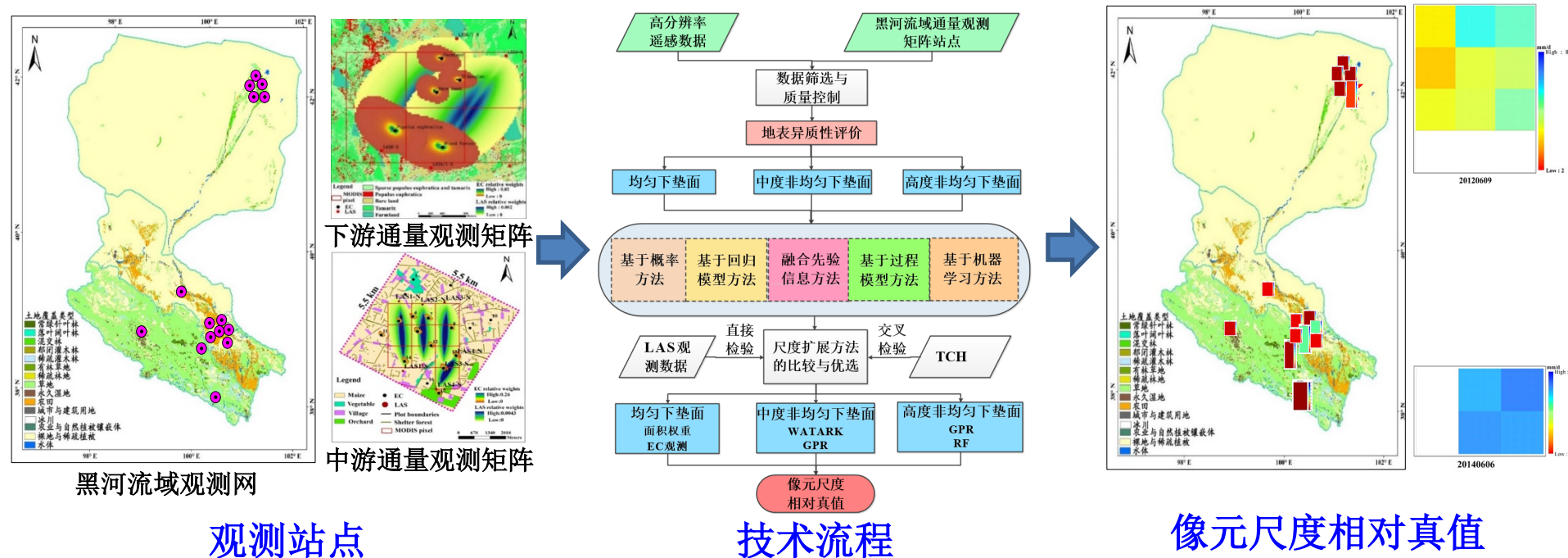
- 流域不同生态系统的年ET在50-1000 mm之间，从下游到中、上游呈现增加趋势；中、下游ET明显大于降水，上游ET小于降水量。
- 不同生态系统的T/ET在0.29-0.65间变化，中游灌溉农田和下游河岸林要高于上游高寒草甸和青海云杉，荒漠下垫面T/ET较小。



- 净辐射是上、中游ET的主要影响因子，下游为饱和水汽压差。土地利用/覆盖、土壤水分条件、植被条件和可利用能量影响着ET的空间分布格局。
- 空气温度是流域内T/ET的主控因子，还受到饱和水汽压差（上、中游），地下水位或土壤水分（下游）的影响。

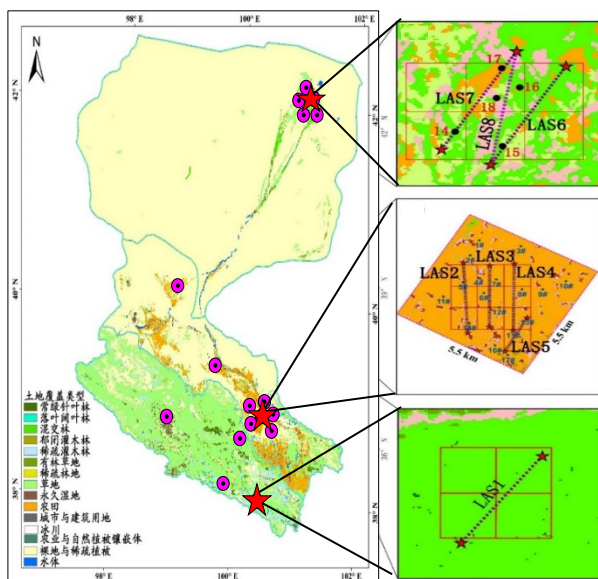
## 2、尺度转换——单站/观测矩阵到卫星像元

利用通量观测矩阵/单站观测数据和高分辨率遥感数据，基于地表异质性评价结果，通过直接检验和交叉检验开展了多种尺度扩展方法的对比研究，优选合适的尺度扩展方法：**ET观测值→机理驱动方法（面到面回归克里格方法）→数据驱动方法（随机森林、高斯过程回归方法），**获取了**2010-2016年黑河流域15种典型地表蒸散发像元尺度相对真值。**



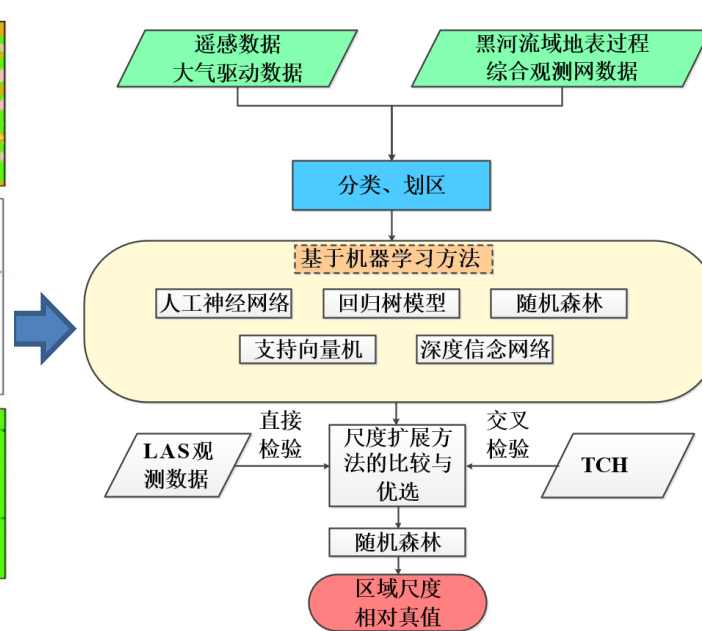
## 2、尺度转换——观测网到流域尺度

基于流域36个站点观测数据（65站年），结合遥感数据与大气驱动数据，利用**机器学习（随机森林）**方法，得到了**2012-2016年黑河流域逐日1km的区域尺度地表蒸散发相对真值（ETmap）**。

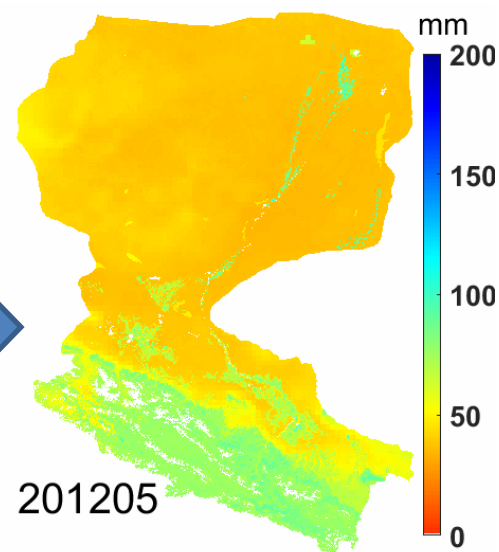


黑河流域观测网(2008-2016年)

观测站点



技术流程

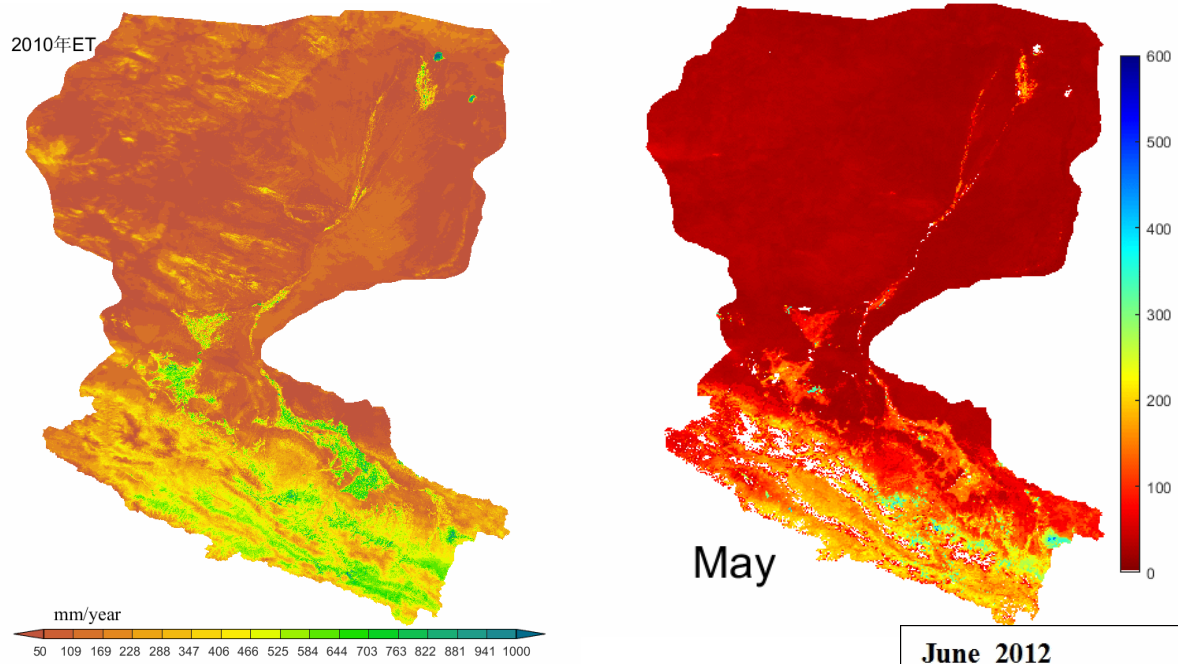


201205

区域尺度相对真值

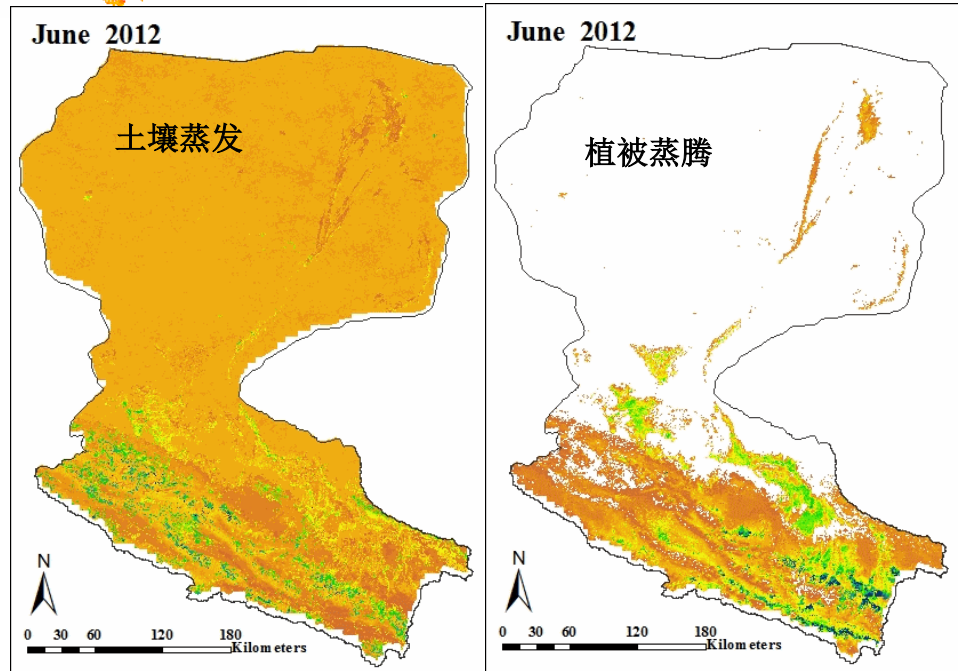


### 3、遥感估算与真实性检验----ET遥感估算



基于SEBS模型和ESTARFM方法融合的高时空分辨率遥感数据估算的2010-2016年黑河流域逐日100米地表蒸散发

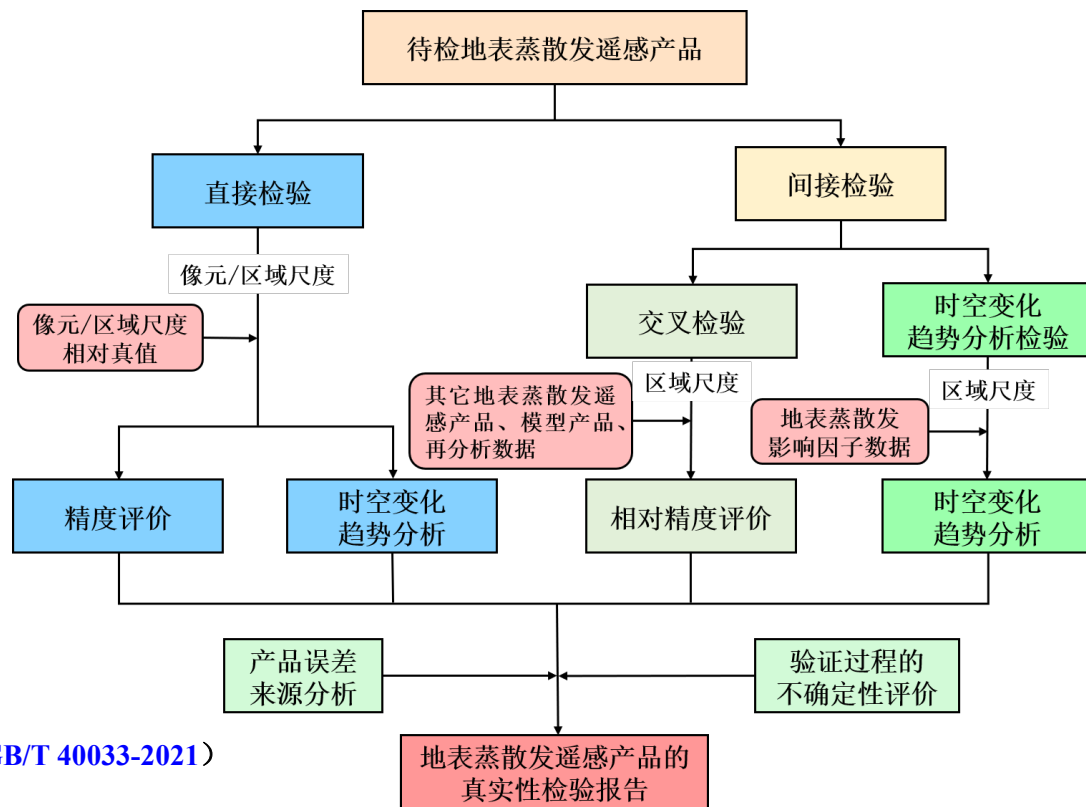
Song Lisheng et al., Remote Sensing of Environment, 2018, 219, 72-88  
Ma Yanfei et al., Remote Sensing of Environment, 2018, 216, 715-734.  
Xu Tongren et al., Remote Sensing of Environment, 2019, 221, 444-461.



基于TSEB-DTD模型估算的2012-2016年生长季（6-9月）黑河流域逐日1kmT与E

### 3、遥感估算与真实性检验——真实性检验

提出了一套应用于异质地表蒸散发遥感产品**真实性检验方案**，结合**多源验证数据**和**多种检验方法**，在**像元尺度**和**区域尺度**从**产品精度**与**时空变化趋势合理性**、**产品误差来源**和**验证过程的不确定性**三个方面进行系统的检验。



国家标准：地表蒸散发遥感产品真实性检验（GB/T 40033-2021）

张圆 等., 遥感学报, 2020, 24(8), 975-999

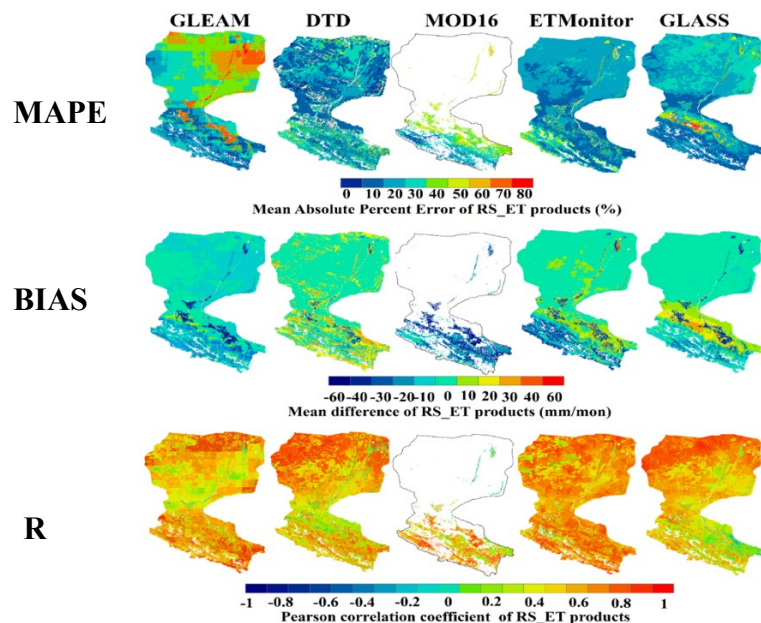
宋立生等., 遥感学报, 2017, 21(6), 966-981

异质地表蒸散发遥感产品的真实性检验方案

# 直接检验-像元/区域尺度精度与时空变化趋势分析

对目前应用较广的五种地表蒸散发遥感产品（MOD16、GLEAM、GLASS、ETMonitor、DTD）开展真实性检验（2012-2016年）

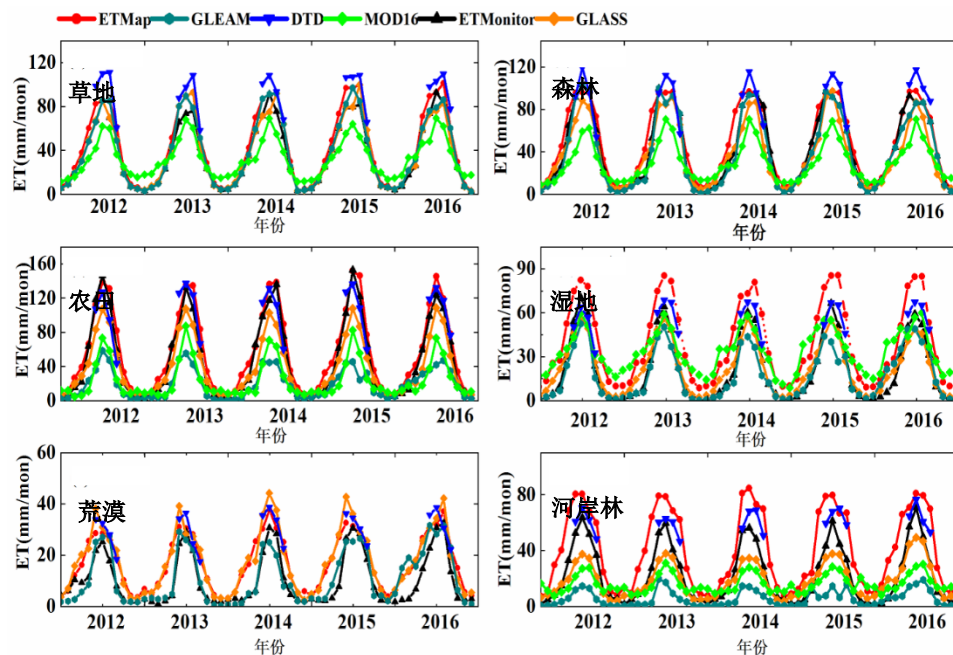
## 精度



各ET遥感产品与ETMap的检验结果(2012-2016, 6-9月)

- 各ET遥感产品在黑河流域的精度在**44%-75%**;
- 总体来看, **DTD**和**ETMonitor**在流域大多数像元**具有较好的性能**。

## 时空变化趋势



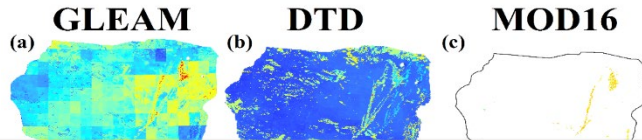
各ET遥感产品与ETMap的时间变化趋势比较 (2012-2016)

- 5种地表蒸散发遥感产品都能**基本捕捉**ET的**时间变化趋势**,但是在不同的**地表类型**和不同的**时期**,表现会有所**不同**;
- 总体来看, **DTD**和**ETMonitor**产品与ETMap在大多数下垫面的**时间变化趋势较为一致**。

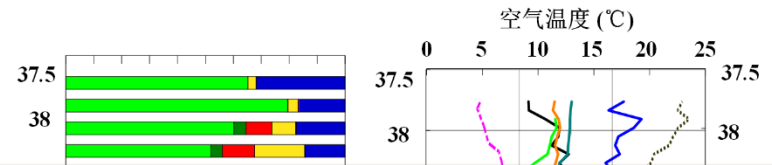


# 间接检验-交叉检验、时空变化趋势分析检验

## TCH方法的交叉检验



## 基于ET影响因子的 时空变化趋势分析检验



### 检验结论:

- 各ET遥感产品在不同尺度、不同检验方法的检验结果**基本一致**;
- **精度**: **DTD**(75%) > **ETMonitor**(71%) > **GLASS**(68%) > **GLEAM**(54%) > **MOD16**(44%);
- **时空变化趋势合理性**: 各产品时空变化趋势与相对真值、地表蒸散发影响因子比较一致, **ETMonitor**和**DTD**表现相对较好, 其次是**MOD16**和**GLASS**, 最后是**GLEAM**。

- TCH的检验结果与直接验证的结论基本一致;
- 各ET遥感产品相对精度在**60%-80%**;
- **DTD**和**ETMonitor**相对优于其他产品。

2012-2016年植被生长季 (6-9月)  
时空变化趋势分析检验

- 各ET遥感产品与影响因子保持着**比较一致**的时空分布特征。

# 误差来源分析与不确定评价

## 误差来源分析

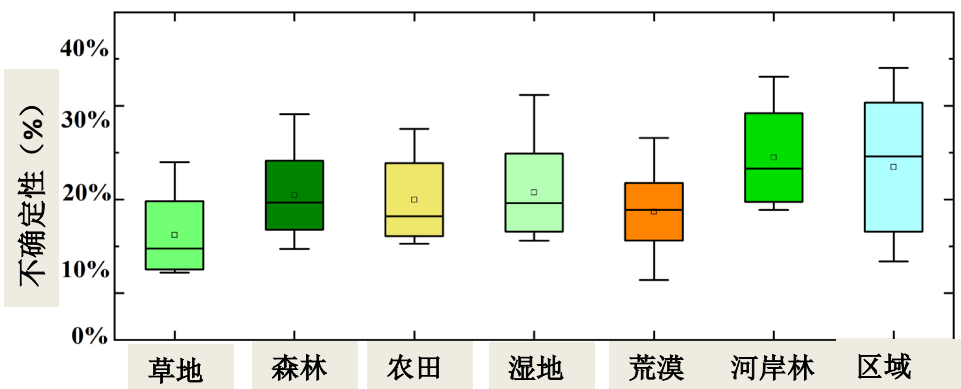
各种模型的机理不同，其误差来源也不同。

输入数据（遥感数据和大气驱动数据）的空间分辨率较粗。

- P-T系数的设置→GLEAM；
- 地表温度的精度→DTD；
- 土地利用/覆盖类型的精度→MOD16；
- 缺少高空间分辨率土壤水分产品→ETMonitor；
- 参与集成的训练数据数量和质量→GLASS。

## 不确定性评价

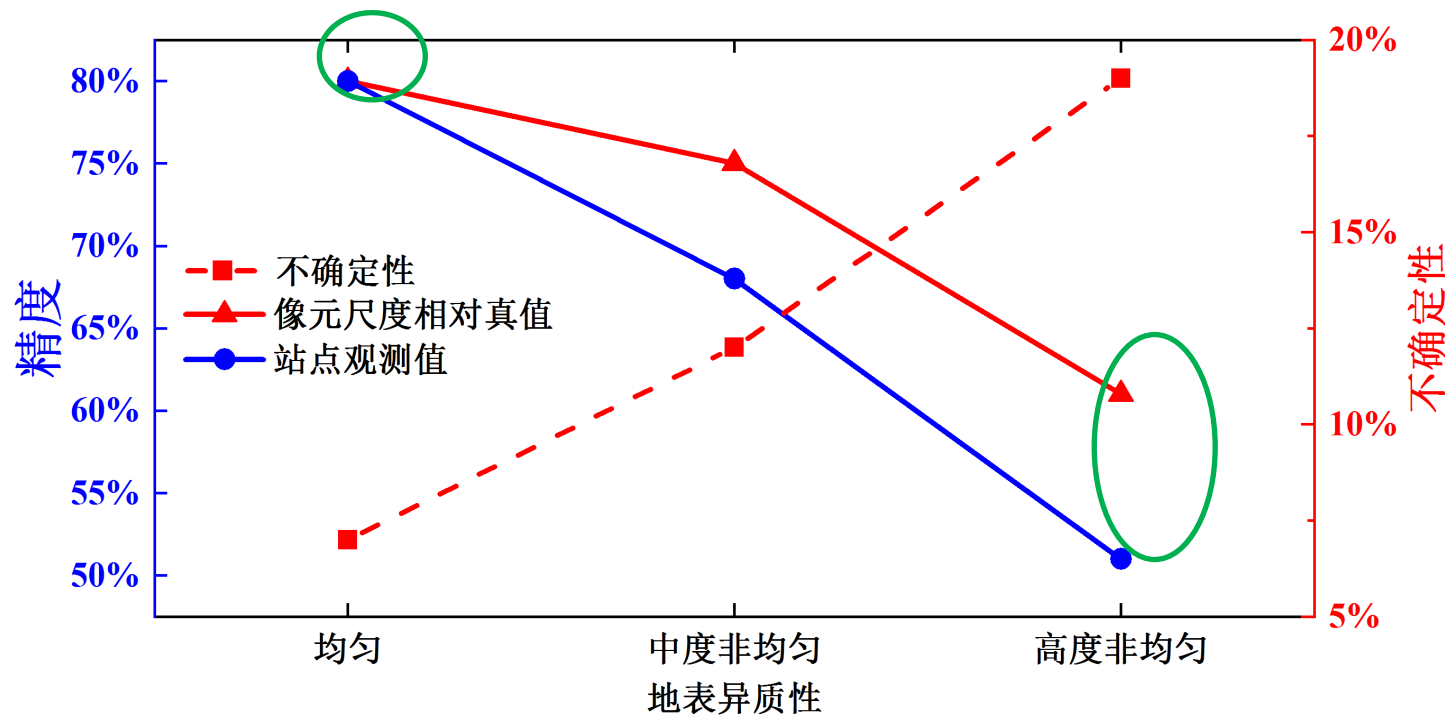
在直接检验中，不确定性主要包括相对真值误差（ET观测误差、尺度扩展方法误差、辅助数据）、空间配准误差等；在间接检验中，主要包括TCH方法的误差、ET影响因子数据的误差和空间配准的误差等。



黑河流域典型下垫面像元尺度和区域尺度地表蒸散发相对真值的不确定性 (2010-2016)

像元尺度相对真值不确定性（广义多项式混沌方法）：  
均匀地表：7-10%；异质地表：8-19%；  
区域尺度相对真值不确定性：26%。

随着地表异质性增加，产品精度下降，不确定性增加；在均匀地表，用站点观测值和像元尺度相对真值的检验结果是一致的；随着异质性增加，观测值的空间代表性逐渐降低，站点观测值与像元尺度相对真值检验结果的差异越来越大，这说明了获取像元/区域尺度“相对真值”的重要性与必要性。

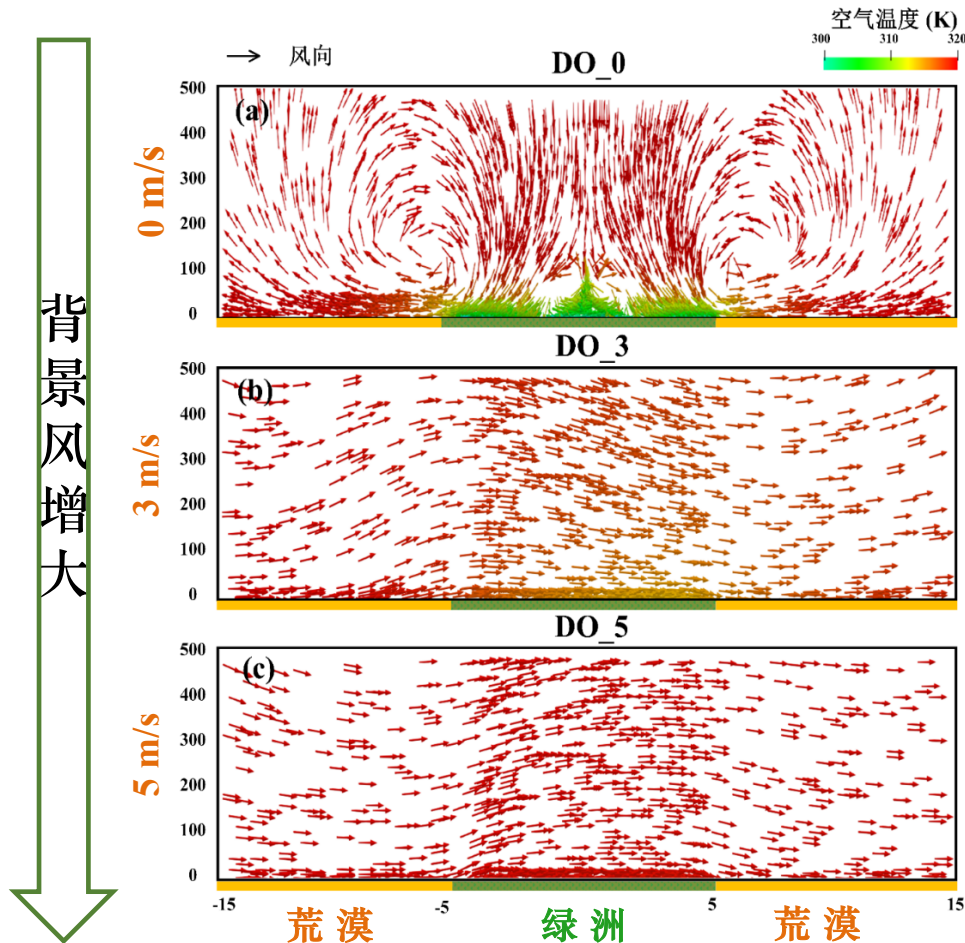


黑河流域地表蒸散发遥感产品ETMonitor真实性检验结果与地表异质性关系 (2012-2016年)



## 4、模型与观测融合与应用——绿洲-荒漠相互作用模拟与分析

以张掖绿洲-荒漠区域下垫面实际状况为依据（2012年HiWATER-MUSOEXE试验）设计26个数值模拟试验——利用计算流体力学模型CFD结合地面、航空和卫星遥感观测数据模拟绿洲-荒漠相互作用。



“绿洲-荒漠”局地环流

绿洲热力内边界层

绿洲动力内边界层

0 m/s

背景风增大

3 m/s

### ◆ “绿洲-荒漠” 局地环流

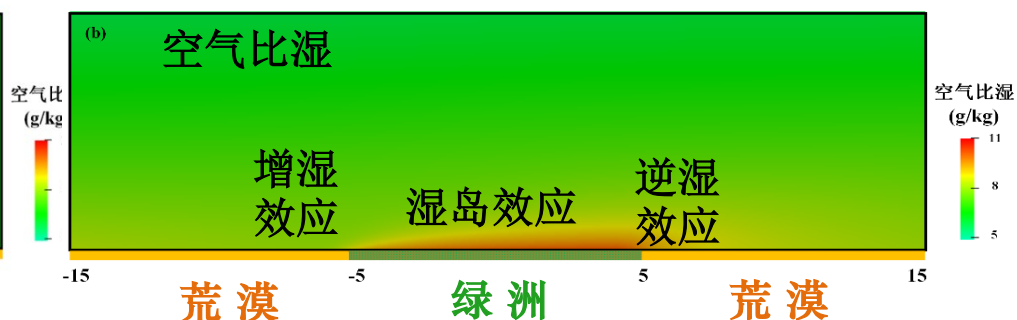
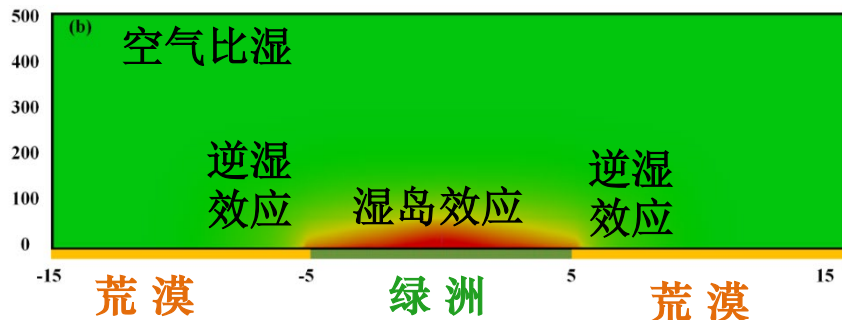
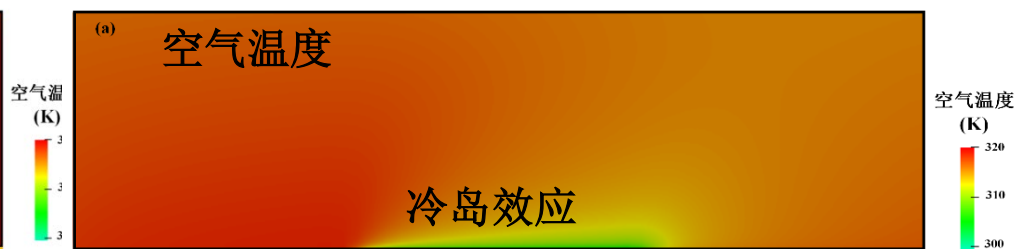
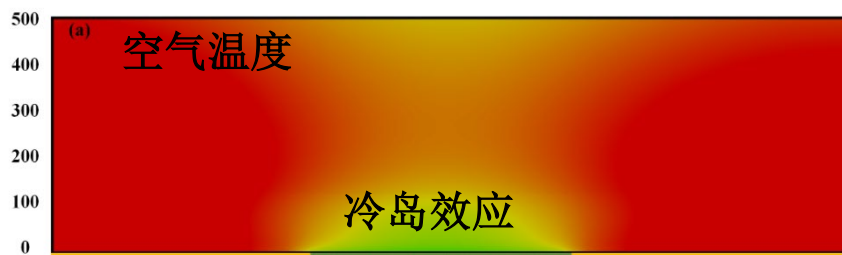
DO\_0

### ◆ 绿洲热力内边界层

DO\_3

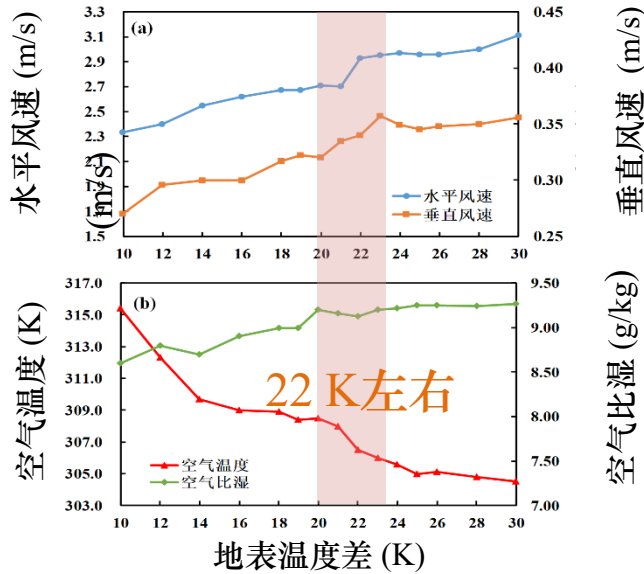
□ 随着背景风的增大:

- 绿洲平流“逆温”稳定层结的高度有所降低;
- 绿洲“冷、湿岛效应”中心有所偏移, 偏移至下风向;
- 绿洲“冷、湿岛效应”强度减小;
- 临近绿洲荒漠的“逆湿效应”高度降低, 强度减小, 往往发生在下游荒漠。



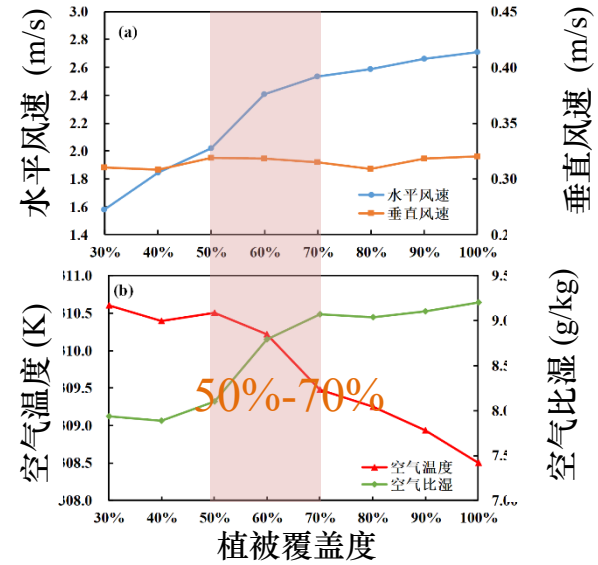
# “绿洲-荒漠”相互作用的影响机制

## “绿洲-荒漠”热力特征的影响



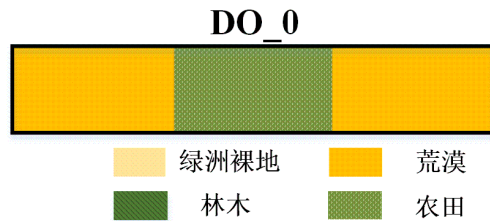
合理灌溉，维持绿-荒地表面温度差在 22 K 左右

## 绿洲植被覆盖度的影响

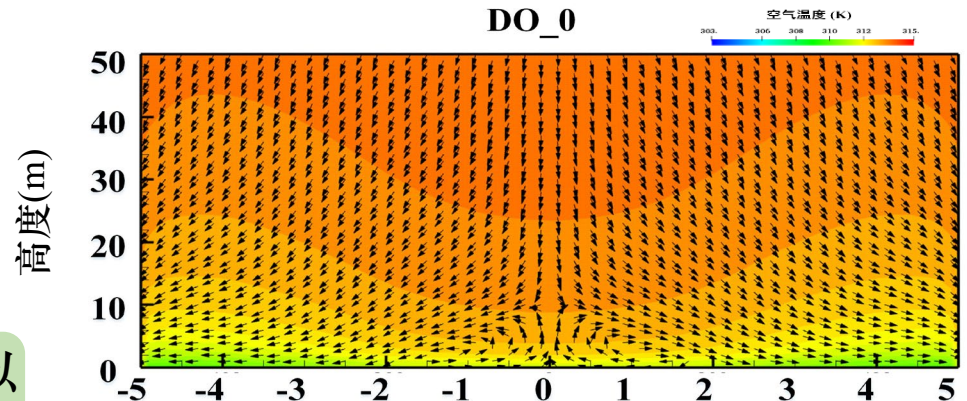


维持绿洲植被覆盖度至少在 50% - 70% 左右，重视并防止绿洲荒漠化现象

## 绿洲土地利用/覆盖格局的影响



兼顾绿洲生态和经济效益，人工绿洲应以农田和防护林交错分布格局为宜。



绿洲不同土地利用/覆盖分布格局的温度场模拟效果



# 同行评价



**Harry Vereecken教授**  
道尔顿奖、AGU会士  
德国Julich农业圈研究所所长

“黑河遥感试验与美国CZO、丹麦水文观测系统和澳大利亚陆地生态研究网络等并列为国际上最重要的观测” (WRR, 2015)

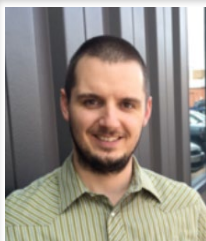
Zone Observator... (2008) and National Ecology Observatory networks [NEON, Hamilton et al., 2007] in the US, the ... Hydrological Observatory in Denmark [Jensen and Illangasekare, 2011], the Heihe Hydrological Observatory in China [Li et al., 2013], the Terrestrial Ecosystem Research Network (TERN) in Australia, and the Integrated Carbon Observatory Network in Europe [ICOS, Fraser et al., 2013], just to name a few examples. In the following section, two national activities are presented in more detail as they are directly related to soil hydrological research.



**Keith Beven教授**  
英国皇家学会院士  
霍顿勋章、道尔顿奖、AGU会士

“黑河试验与德国TERENO、美国CZO并列为近期国际上最重要的流域试验” (HP, 2019)

responses. Recent activities such as the TERENO basins in Germany (Bogena, 2016; Bogena et al., 2018), the Heihe basin in China (Li et al., 2013), and the CZO basins in the United States have seen consider-



**Stefan Metzger教授**  
美国国家生态网络地气交换观测负责人

“黑河高密度观测获得的面通量真值是独立开展真实性检验的基础” (AFM, 2018)

which only become available with the required density of observations (e.g., Li et al., 2013).



**Susan S. Hubbard教授**  
美国工程院和人文艺术与科学院院士

“黑河流域观测网与CZO、NEON、TERENO、OZCAR等国际重要观测网一起促进了跨学科的合作，为量化水文、生物、地质、地球化学、大气过程及其相互作用提供了平台” (HP, 2020)

(Zacharias et al., 2018), the French OZCAR network (Gaillardet et al., 2018), and the Chinese observatories (Li et al., 2013). The

### 三、祁连山天空地一体化综合监测网

祁连山是中国西北的重要生态屏障，**亚洲水塔**的重要组成部分，**绿色丝绸之路**建设的典型区。近年来，祁连山局部**生态破坏问题**十分突出，党和国家领导人多次作出重要批示，而《**祁连山国家公园体制试点方案**》则给祁连山的发展指明了方向。

祁连山生态问题令人揪心（2005-2017）。党和国家领导人多次就祁连山生态环境保护及资源环境的突出问题作出重要批示。



2017年中央全面深化改革领导小组第三十六次会议通过了《祁连山国家公园体制试点方案》，指出：**按照山水林田湖草是一个生命共同体的理念**，在系统保护和综合治理等方面积极作为。

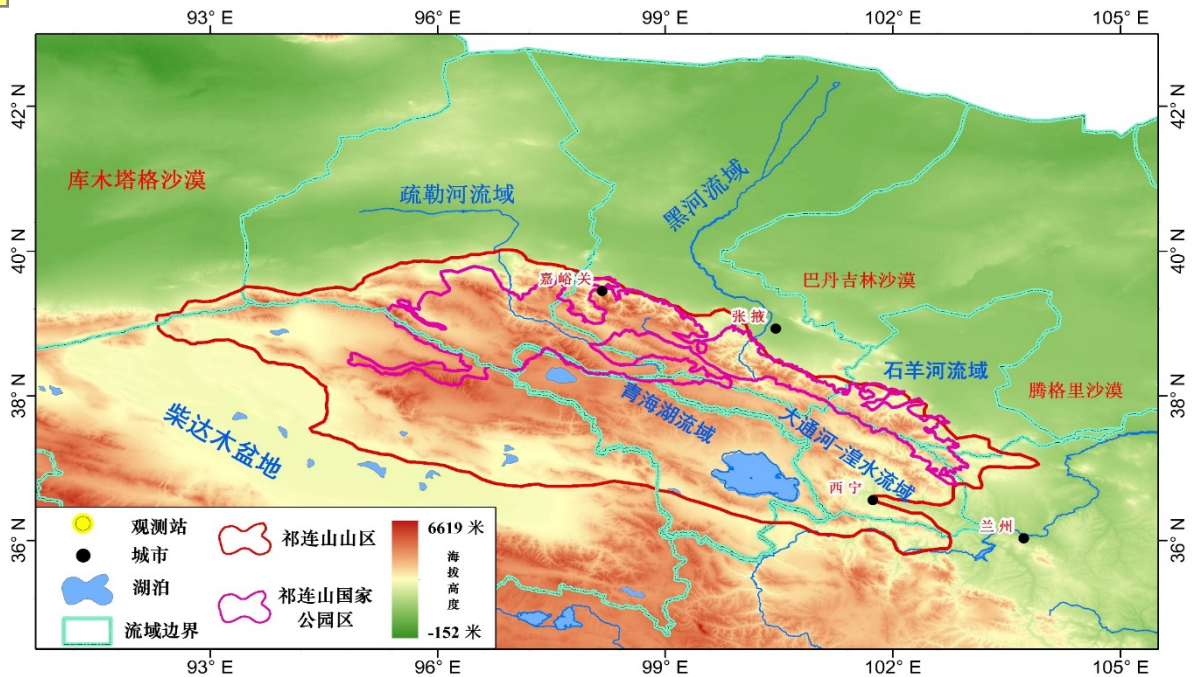


# 中国科学院A类先导专项：泛第三极环境变化与绿色丝绸之路建设 - 祁连山“山水林田湖草”系统优化调配

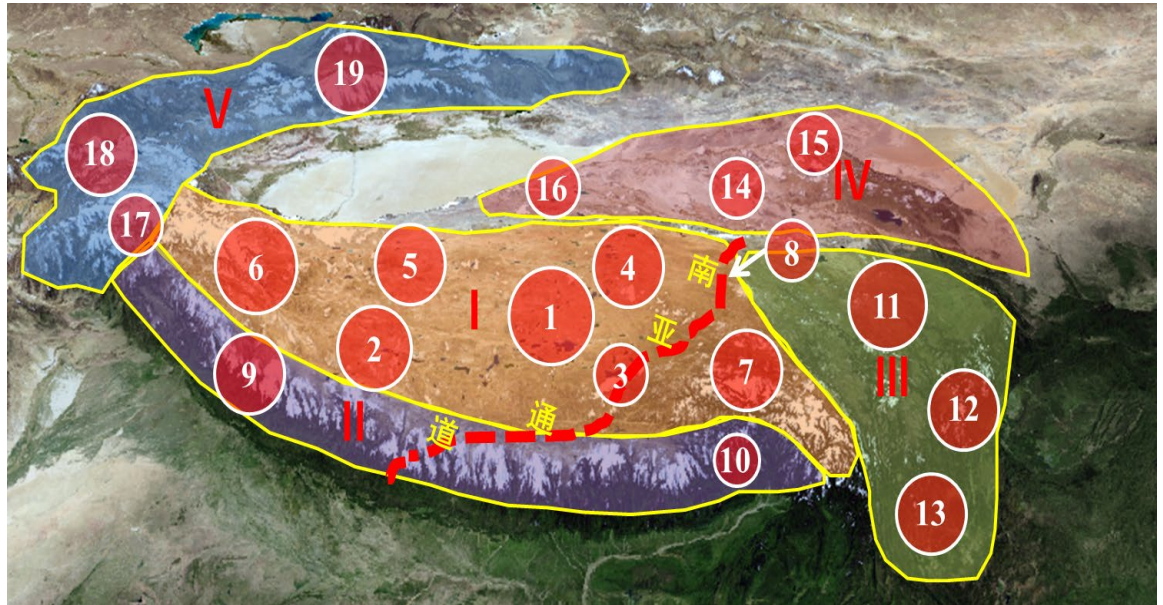
实现“山水林田湖草”系统**监测**、**模拟**和**决策能力**的大幅提升，服务**祁连山生态保护**。完善科学模型和决策工具，逐步实现向泛第三极其他流域的推广。





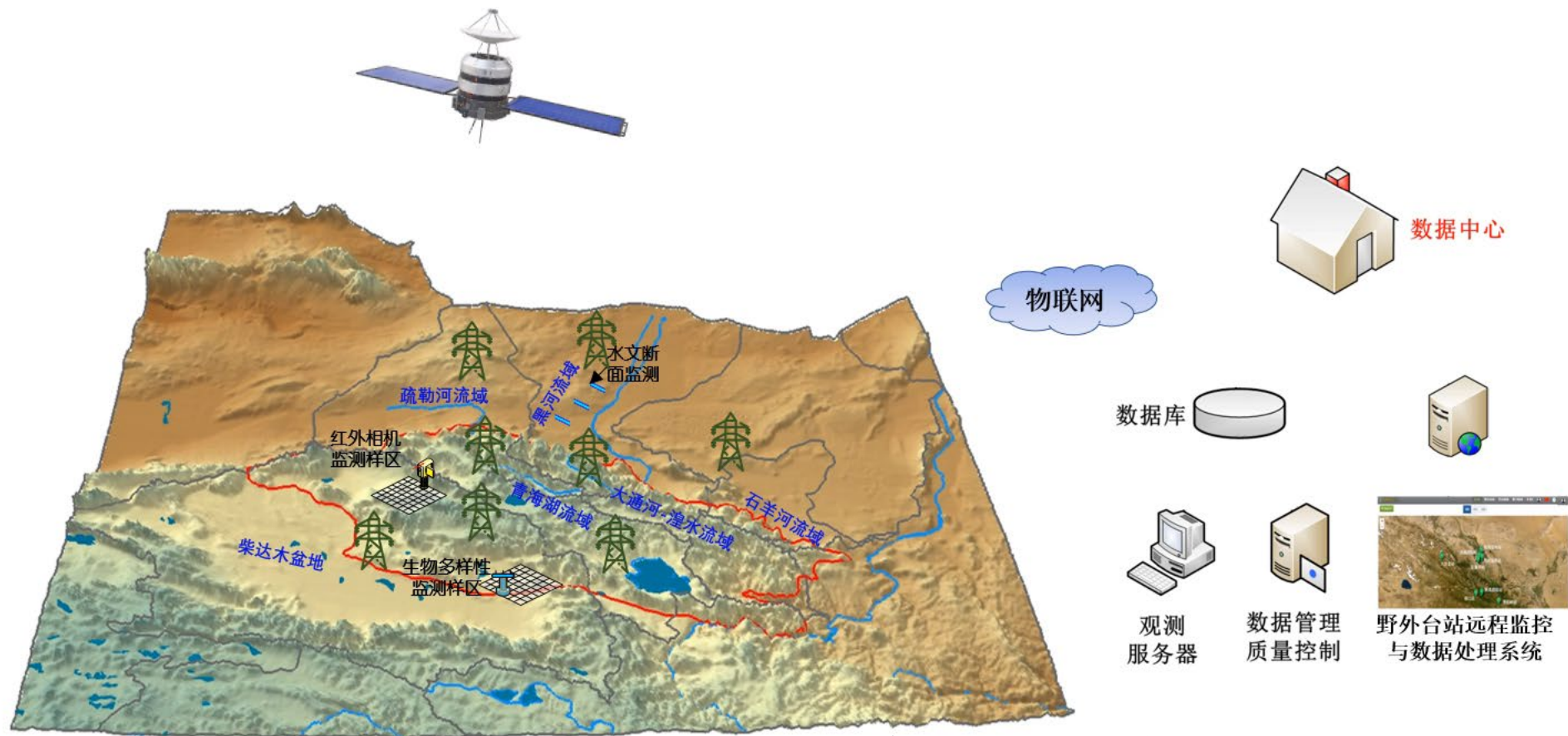


祁连山地区包括**黑河、疏勒河、青海湖、石羊河、大通-湟水和柴达木盆地六大流域**（约44万 km<sup>2</sup>），其中**黑河流域**是最大的一个流域。祁连山地区也是**第二次青藏科考的关键区**（IV 祁连山-阿尔金区：14.祁连山南坡与柴达木盆地；15.祁连山北坡与河西走廊）。



# “山水林田湖草”综合监测网

- 全区域覆盖：24个站+红外相机矩阵等，涵盖祁连山主要地表类型
- 天空地一体化：地面观测网+无人机+高分卫星+中高分辨率卫星
- 智能监测物联网：数据自动采集-远程传输-实时监控

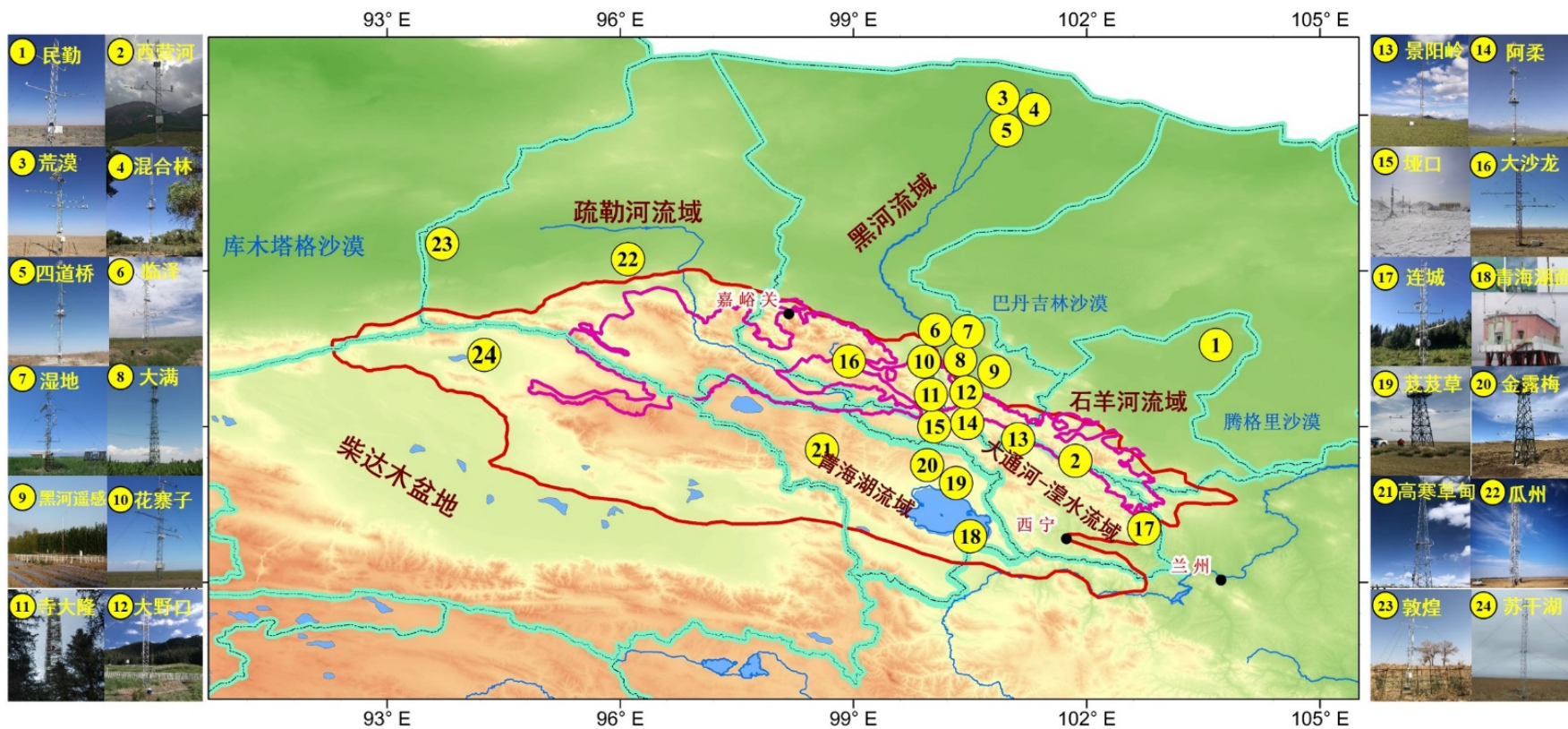


祁连山天空地一体化综合监测网



# 地面观测网

按照**统一的标准**，采用**改造和新建**的方式，构建了祁连山地面观测网：覆盖**6个流域**的**24个站点**，包括**黑河流域**（**14站**，高寒草甸、农田、湿地、林地、荒漠），**青海湖流域**（**4站**，湖面、高寒草甸、灌丛、芨芨草草原），**大通河-湟水流域**（**1站**，森林&草地），**石羊河流域**（**2站**，高寒草甸，荒漠），**疏勒河流域**（**2站**，湿地，荒漠），**柴达木盆地**（**1站**，湖泊湿地）。

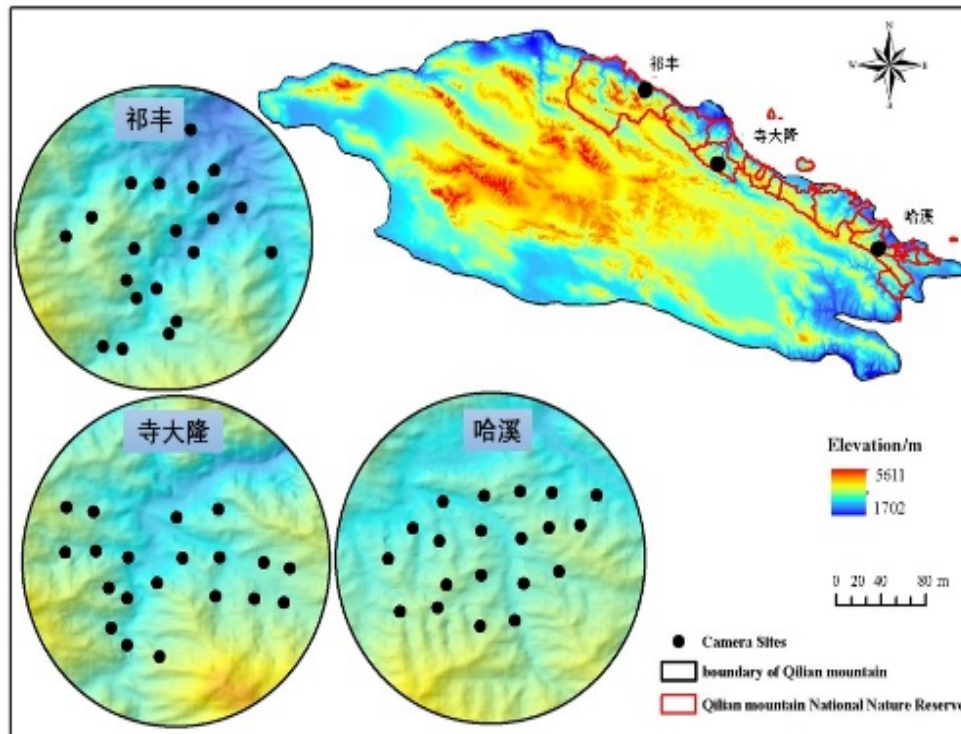


祁连山地区地面观测网（北师大、西北院、兰大）



# 地面观测网—红外相机矩阵

利用红外相机阵列对祁连山的**祁丰**、**寺大隆**和**哈溪**等三个样区重点保护动物进行持续监测。

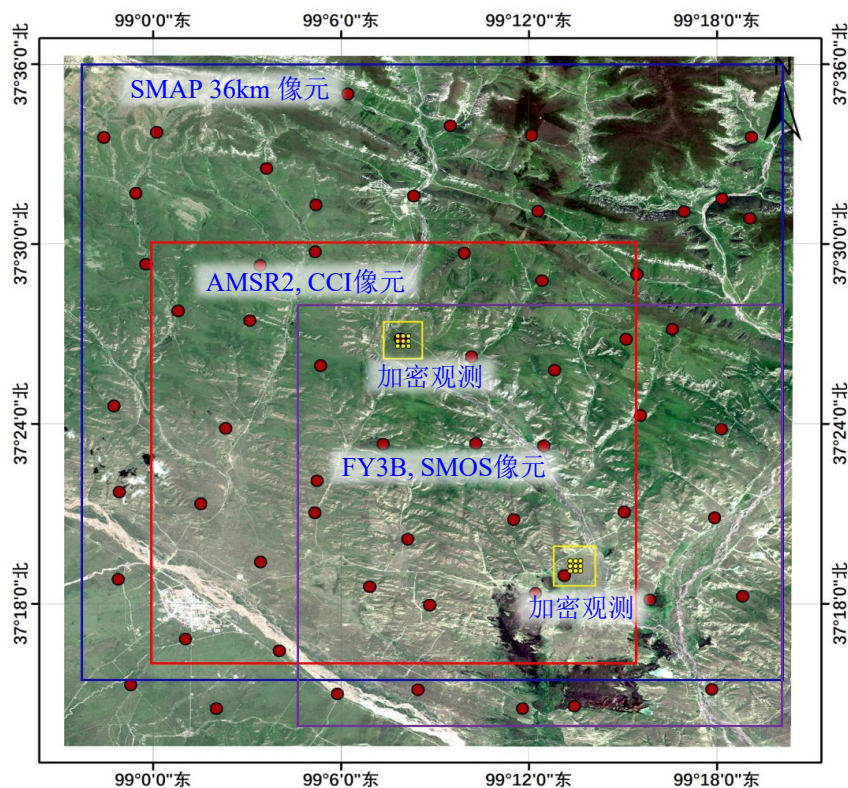


在祁丰、寺大隆和哈溪分别布设了**20台红外相机**，对祁连山重点保护动物进行物种、数量、分布和栖息地监测。

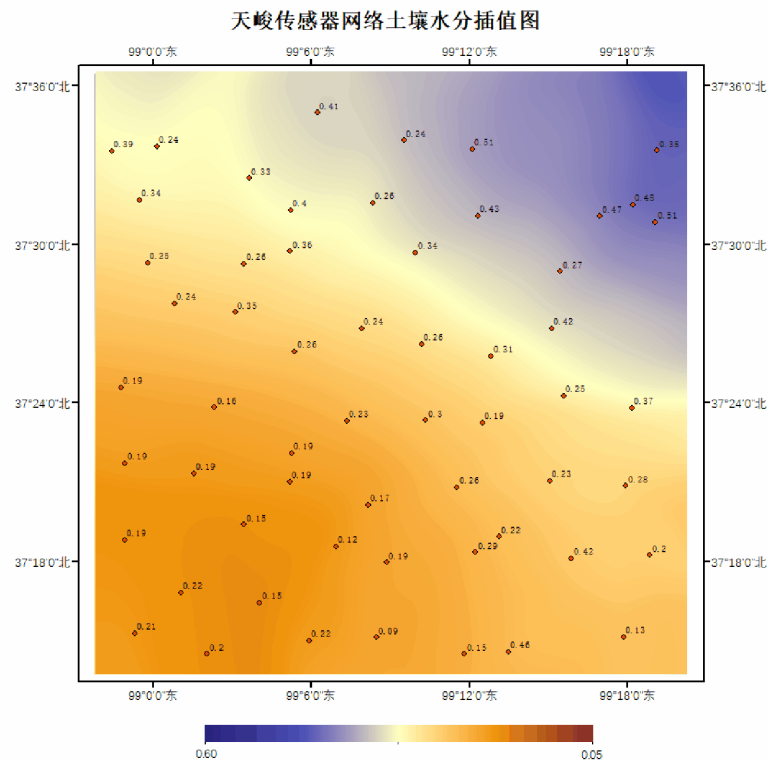
重点物种红外相机监测矩阵

# 地面观测网—天峻土壤水分传感器网络

2019年8-9月初在青海省天峻县异质性下垫面安装了覆盖 $36\text{km} \times 40\text{km}$  区域、有82个节点的嵌套式土壤水分/温度传感器网络（5cm、10cm、30cm）。  
布设方案基于MODIS的表观热惯量，采用克里金方法进行空间优化采样，  
并利用烘干称重法标定了传感器数据。



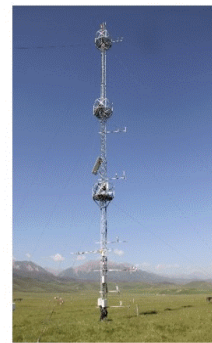
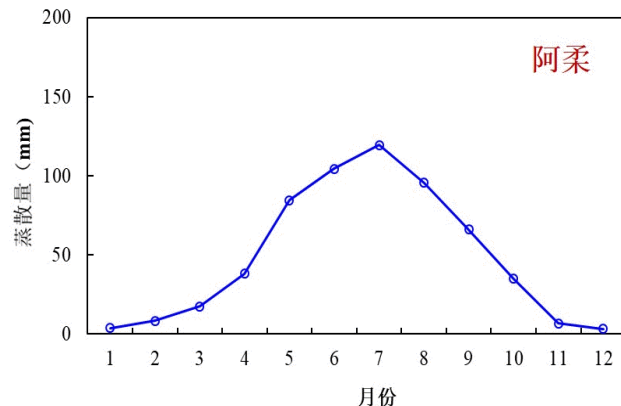
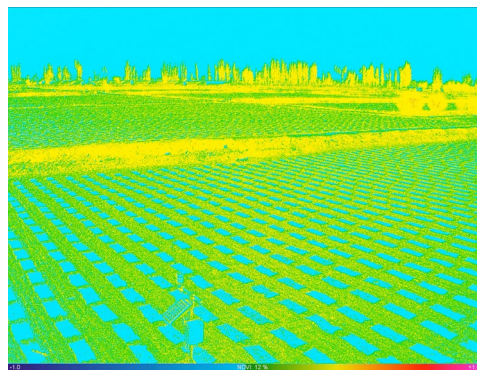
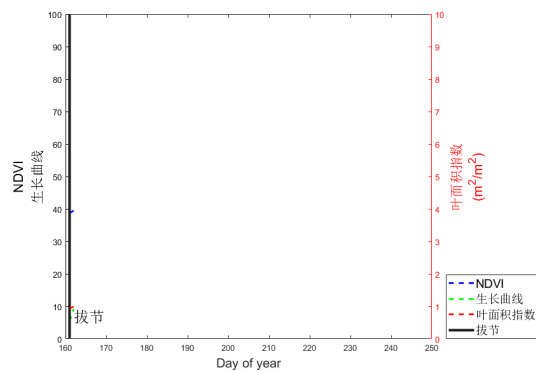
土壤水分传感器网络的布设



土壤水分时空变化  
(2019/09/03-2020/09/15)

地面观测项目主要包括地表通量、水文气象要素、植被参数和生物多样性参数等：

- **地表通量**：感热通量、潜热通量、碳通量、甲烷通量等。
- **水文气象要素**：风温湿压、辐射、降水、土壤热通量、地表辐射温度、土壤温湿度廓线等。
- **植被参数**：植被物候、植被指数、叶面积指数、光合有效辐射等。
- **生物多样性参数**：重点物种、植物、鱼类、浮游生物等的物种组成、丰富度、多样性、动态变化。



大满站植被参数观测  
(玉米物候、植被指数、叶面积指数、2021年5-9月)

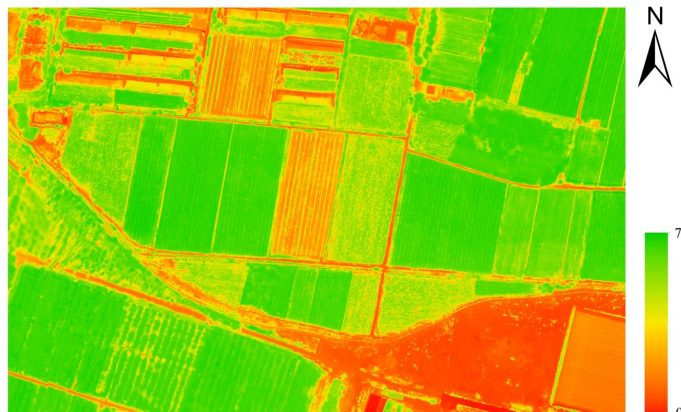
地表蒸散发观测  
(2018年1-12月)



# 多源遥感监测系统—无人机遥感（2019、2020，亚米）

2019、2020年5-10月，在黑河中游3个站点（农田、湿地、荒漠）开展每月1次的**典型生态系统**无人机遥感试验，形成了数据获取、处理与专题产品生成的技术体系，提供了地表覆盖分类、叶面积指数、反照率、地表温度等产品-**亚米级**。

2020年7月大满站叶面积指数



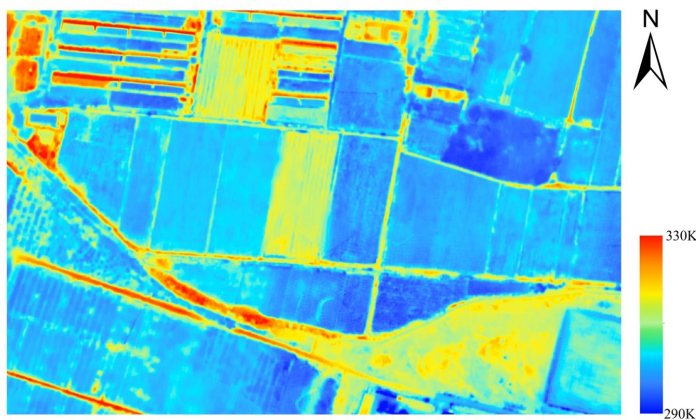
叶面积指数 (0.2m)

2020年7月大满站反照率



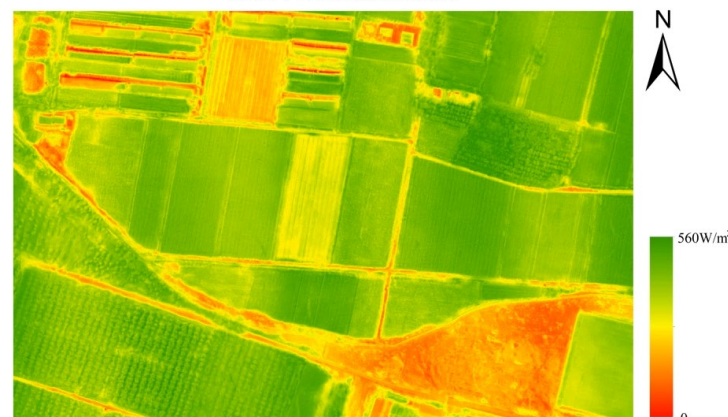
反照率 (0.2m)

2020年7月大满站地表温度



地表温度 (0.4m)

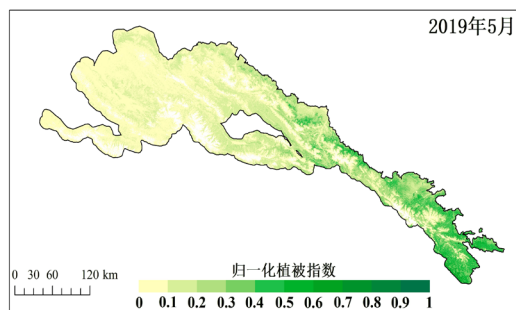
2020年7月大满站蒸散发



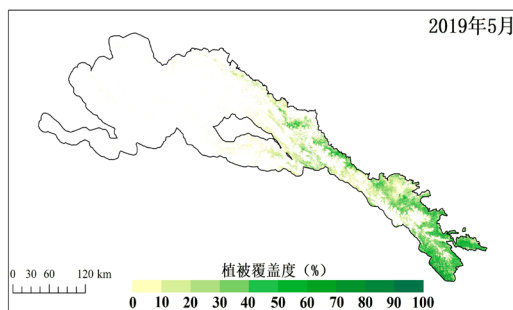
蒸散发 (0.2m)

# 多源遥感监测系统—高分卫星遥感（2018-2020，米级）

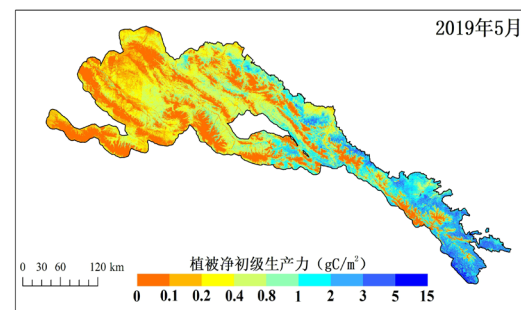
2018-2020年祁连山**重点区域（国家公园）**植被生长季**基础参数**（土地利用/覆盖、DEM）、**水文**（冰川分布）、**植被**（植被指数、植被覆盖度、植被净初级生产力等）和**人类活动**（城市扩展、矿山开采、种植结构）**米级**高分遥感产品。



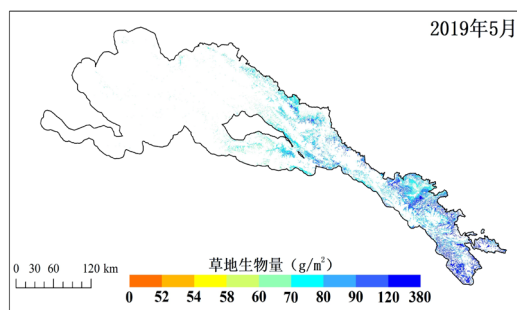
植被指数（10m）



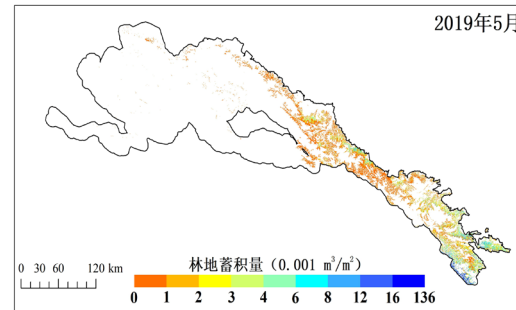
植被覆盖度（10m）



植被净初级生产力（10m）



草地生物量（10m）

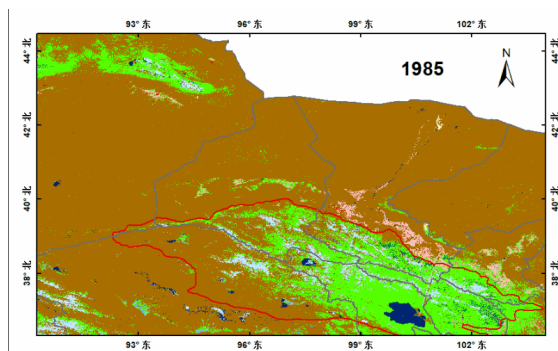


森林蓄积量（10m）

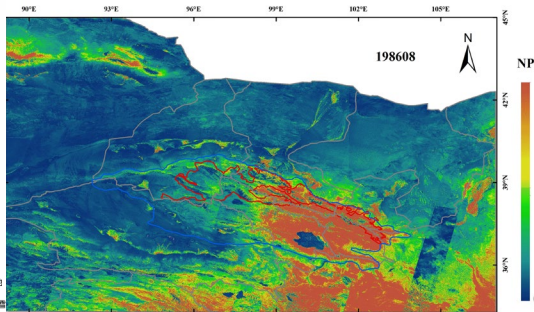


# 多源遥感监测系统——中分辨率卫星遥感（1980-2020，30m）

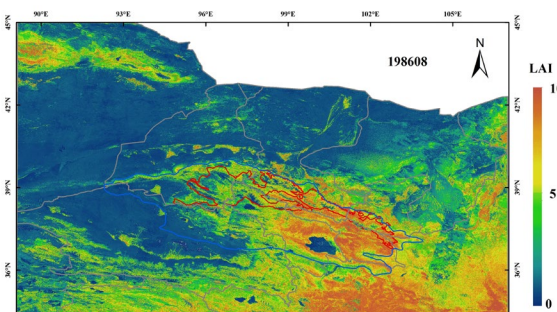
1980-2020（日/月、30m/1km/5km）**祁连山区域基础参数**（土地覆盖、DEM）、**植被**（植被覆盖度、LAI、NPP）、**水文**（水体指数、土壤水分、蒸散发）和**人类活动**（城市扩展、矿山开采、种植结构）中分辨率遥感产品——**30米**。



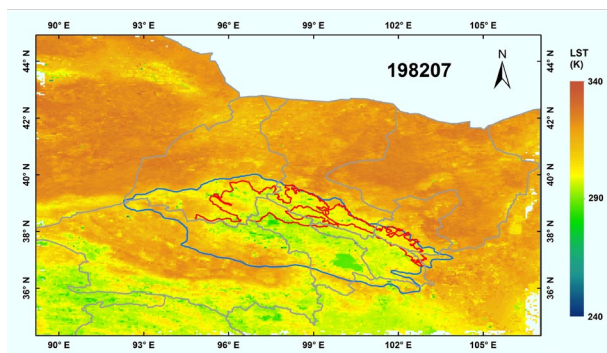
土地覆盖（30m/月）



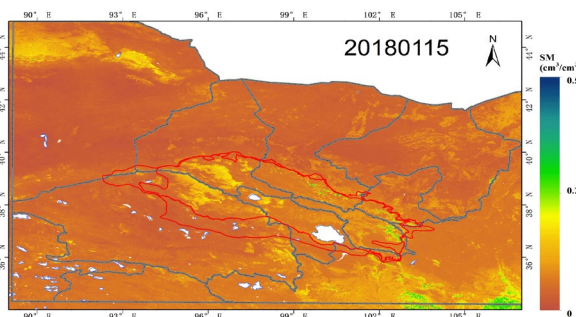
净初级生产力（30m/月）



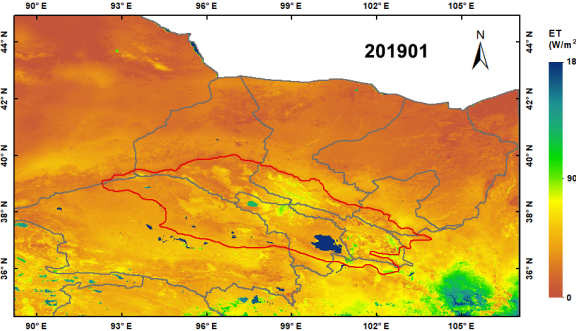
叶面积指数（30m/月）



地表温度（1km/月）



土壤水分（5km/月）



地表蒸散发（1km/月）



# 综合监测网数据集发布

2018-2020年度祁连山天空地一体化监测网数据集，合计**233**个数据集在国家青藏高原科学数据中心上正式发布。截至2022年3月，被浏览**54万**多次，注册下载与使用超过**21000**次。



国家青藏高原科学数据中心  
National Tibetan Plateau Data Center

网址：<https://data.tpdc.ac.cn/>

首页 / 新闻动态 / 科学数据动态

## 2018年度

### 祁连山天空地一体化综合监测网数据正式发布

2019-09-27 00:09:52 来源: A类先导专项“泛第三极环境变化与绿色丝绸之路建设”子课题“祁连山“山水林田湖草”系统综合监测与评估”(XDA20100101)

2019年5-9月，祁连山天空地一体化综合监测网地面观测及祁连山区域多源遥感总计76个数据集在“国家青藏高原科学数据中心”(<http://data.tpdc.ac.cn/zh-hans/>)上陆续发布。

首页 / 新闻动态 / 科学数据动态

## 2019年度

### 祁连山地区天空地一体化综合监测网2019年数据发布

2020-07-03 21:07:16 来源: 北师大刘绍民教授课题组

2020年7月，2019年祁连山地区天空地一体化综合监测网的地面观测网与以无人机-高分卫星-中高分辨率卫星为主的空-天多源遥感监测系统的观测数据集(合计76个)在“国家青藏高原科学数据中心”(<https://data.tpdc.ac.cn/>)发布。已发布的2018年度祁连山地区天空地一体化综合监测网观测数据集(合计76个)在一年的时间里，被浏览7万多次，申请使用近2500次，得到了用户的广泛关注、应用和好评。

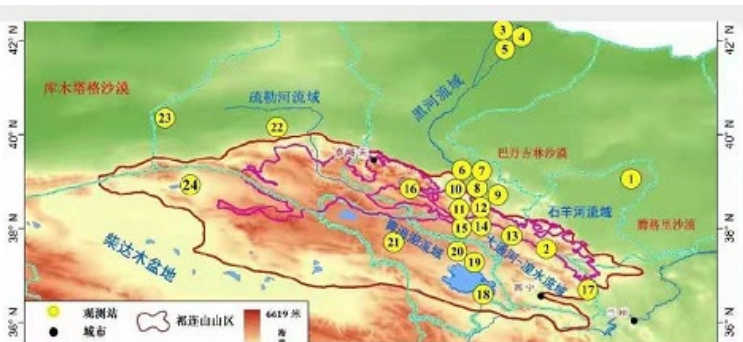
首页 / 新闻动态 / 科学数据动态

## 2020年度

### 祁连山地区天空地一体化综合监测网2020年数据发布

2021-07-15 19:07:58 来源: 北师大刘绍民教授课题组

2021年7月，2020年祁连山地区天空地一体化综合监测网的地面观测网与以无人机-高分卫星-中高分辨率卫星为主的空-天多源遥感监测系统的观测数据集(合计81个)在“国家青藏高原科学数据中心”(<http://data.tpdc.ac.cn/zh-hans/>)发布。已发布的2018、2019年祁连山地区天空地一体化综合监测网观测数据集(合计152个)被浏览38万多次，申请使用13000余次，得到了用户的广泛关注、应用和好评。



祁连山天空地一体化综合监测网数据正式发布

# 重点保护动物—红外相机矩阵

通过2018-2019年红外相机矩阵监测发现：

- 雪豹活动范围向**针叶林扩张**，主要与猎物活动相关；
- 雪豹**白天**活动节律明显**增强**；
- 雪豹与岩羊等**猎物**日间活动节律**一致**。



雪豹活动节律

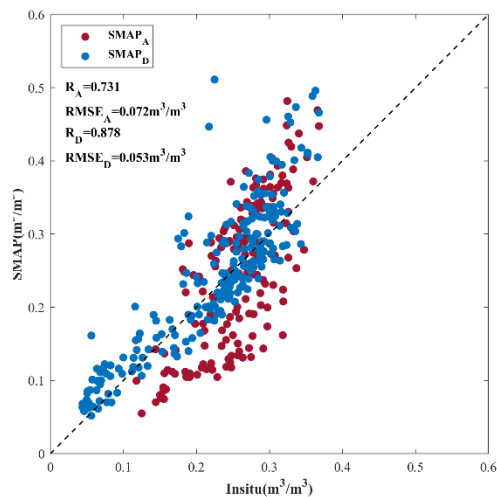
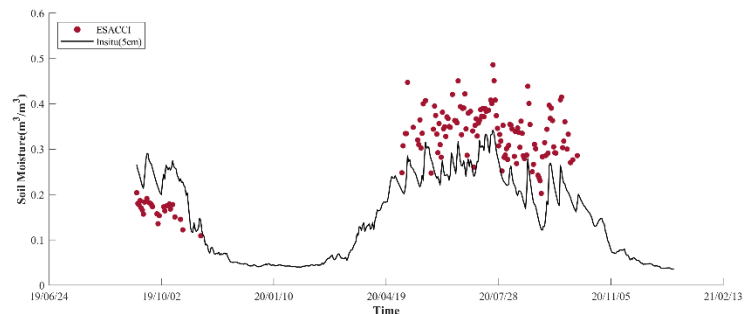
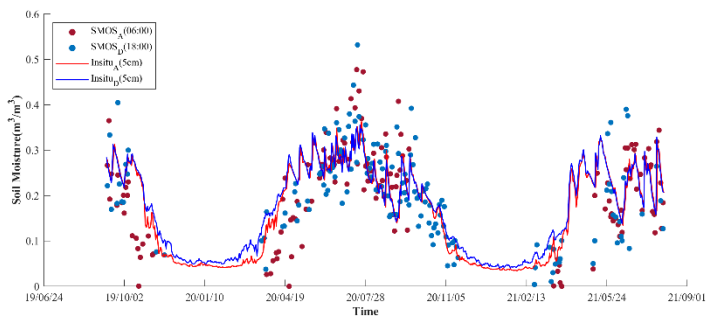
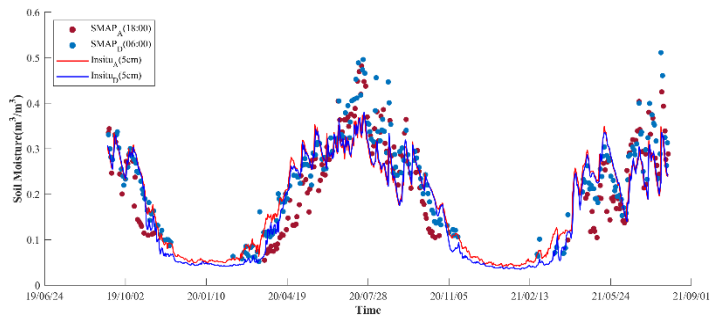


雪豹与猎物

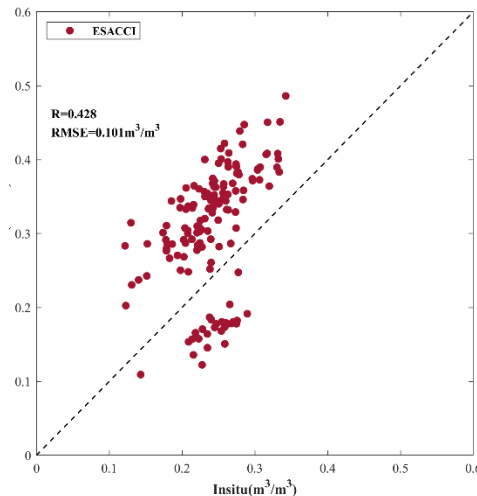
祁连山地区生态环境整改措施实施后，**生态环境明显趋好**，**人类活动干扰减低**。

# 遥感产品真实性检验—天峻土壤水分传感器网络

采用两年观测数据对目前主流土壤水分遥感产品进行了检验

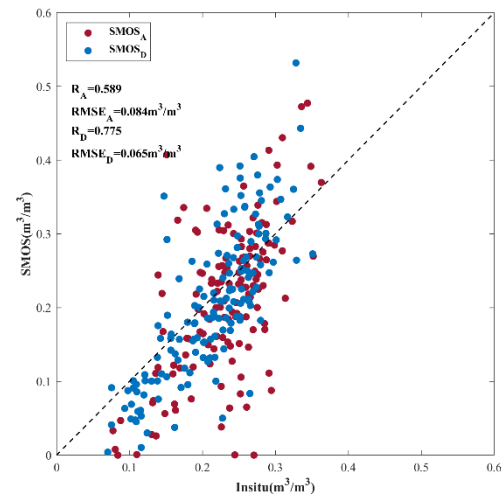


SMOS\_A  
SMOS\_D



SMAP\_A  
SMAP\_D

SMAP降轨产品具有最好的精度 ( $r=0.878$ ,  $RMSE=0.053$ )



ESA CCI



# 生态环境—多源遥感监测系统

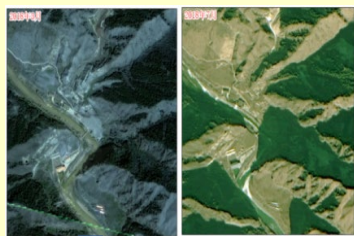
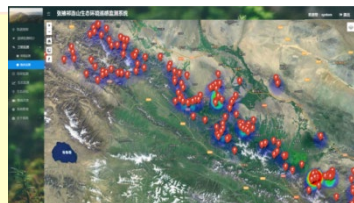
服务于生态环境监测、生态保护与修复、祁连山科考。

支撑服务

1

甘肃省生态环境厅、祁连山国家公园管理局

生态环境遥感监测、物种多样性监测



2

青海省生态环境厅

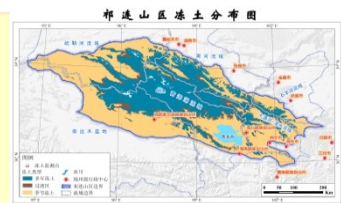
“山水林田湖草”生态保护与修复



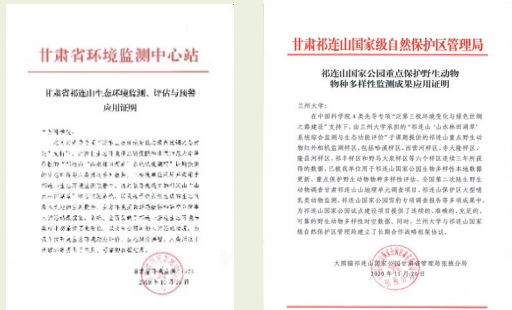
3

祁连山综合科学考察

水塔、人类活动变化评估



应用证明



省政府批复



文章



绿皮书



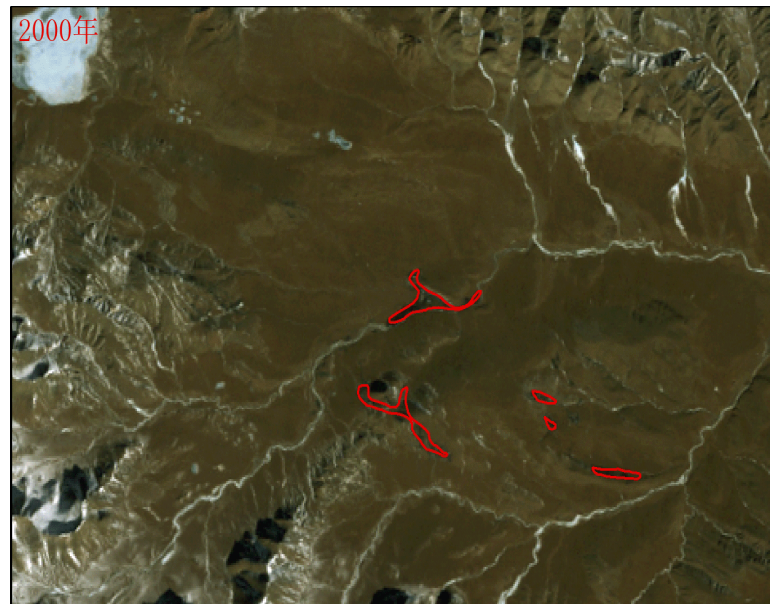
《祁连山生态系统发展报告》

2019、2020、2021

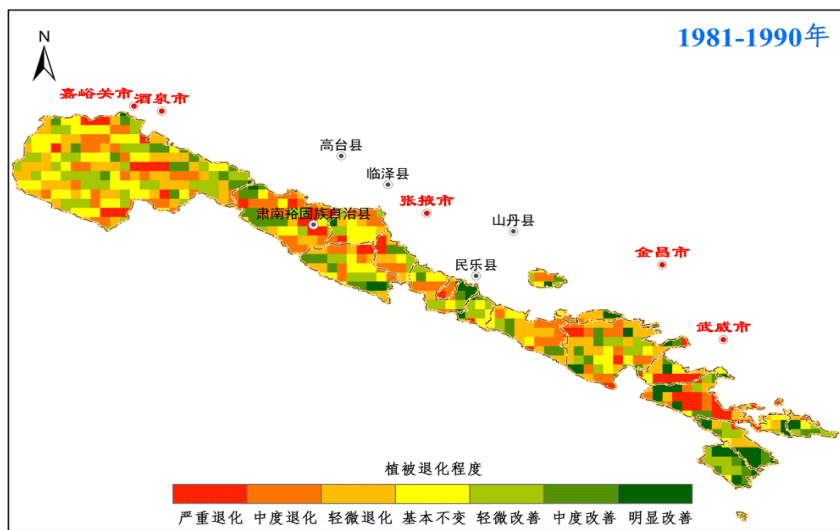
影响成效



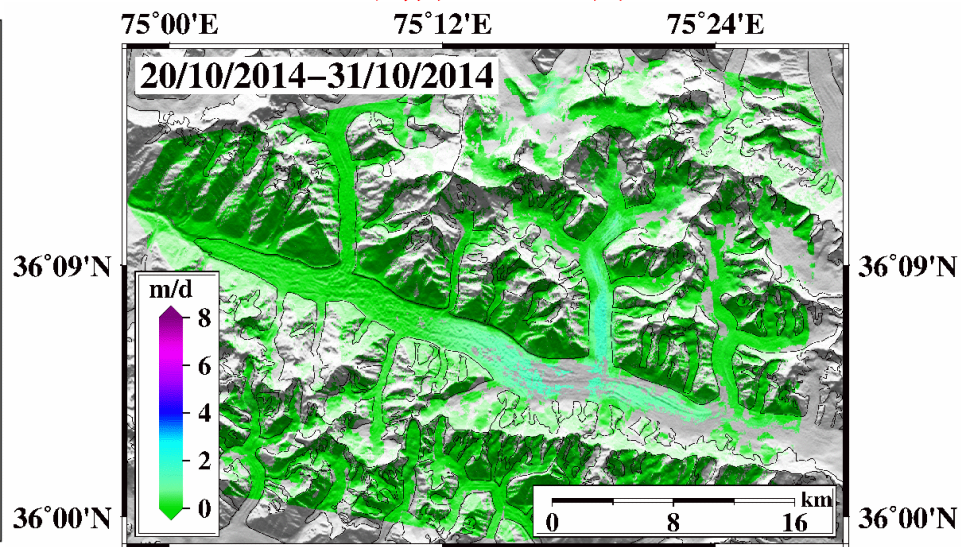
2018年6月20日祁连山南坡矿山、河道治理  
无人机遥感监测



2000-2018年祁连山木里煤矿开采  
高分遥感监测



1980-2017年祁连山北坡甘肃段国家  
自然保护区植被变化多源遥感监测



融合SAR升降轨数据的冰川三维流速监测  
(喀喇昆仑山Hispar冰川)



## 四、主要结论

- 1、在WATER、HiWATER的框架下，发展与应用了单站多尺度观测系统/通量观测矩阵/传感器网络等新技术，构建了多尺度-多要素-多过程-分布式-立体的黑河流域地表过程综合观测网，可捕捉下垫面地表参数的异质性、尺度效应与不确定性等，提升了流域陆地表层系统的综合观测能力。
- 2、目前黑河流域综合观测网已发展到祁连山“山水林田湖草”天空地一体化综合监测网，是国家青藏高原科学数据中心的**重要数据来源**，服务于祁连山地区的生态环境监测、生态保护与修复、第二次青藏科考等。
- 3、今后一方面将加强大气边界层的观测（GPS探空、雷达等），另一方面也将重视陆表过程与生物地球化学过程的耦合观测；而且，也要加强观测网多源数据与机理模型融合的研究（大数据平台、人工智能、云计算），增强流域复杂系统的综合**预测能力**，支撑流域综合管理。



## 主要参考文献

1. Che Tao, Li Xin, Liu Shaomin, et al., Integrated hydrometeorological, snow and frozen-ground observations in the alpine region of the Heihe River Basin, China, [Earth Syst. Sci. Data](#), 2019, 11, 1483–1499.
2. Li Xin, Cheng Guodong, Liu Shaomin, et al., Heihe Watershed Allied Telemetry Experimental Research (HiWATER): Scientific objectives and experimental design. [Bulletin of American Meteorological Society](#), 2013, 94(8), 1145-1160.
3. Li Xin, Liu Shaomin, Xiao Qing, et al., A multiscale dataset for understanding complex eco-hydrological processes in a heterogeneous oasis system. [Scientific Data](#), 2017, 4, 170083. doi: 10.1038/sdata.2017.83.
4. Li Xin, Cheng Guodong, Ge Yingchun, et al., Hydrological Cycle in the Heihe River Basin and Its Implication for Water Resource Management in Endorheic Basins. [Journal of Geophysical Research-Atmospheres](#), 2018, 123(2), 890-914.
5. Liu Shaomin, Xu Ziwei, Wang Weizhen, et al., A comparison of eddy-covariance and large aperture scintillometer measurements with respect of the energy balance closure problem. [Hydrol. Earth Syst. Sci.](#), 2011, 15(4), 1291-1306.
6. Liu Shaomin, Xu Ziwei, Song Lisheng, et al., Upscaling evapotranspiration measurements from multi-site to the satellite pixel scale over heterogeneous land surfaces, [Agricultural and Forest Meteorology](#), 2016, 230-231, 97-113.
7. Liu Shaomin, Li Xin, Xu Ziwei et al., The Heihe integrated observatory network: A basin-scale land surface processes observatory in China, [Vadose Zone Journal](#), 2018, 17, 180072, doi:10.2136/vzj2018.04.0072.
8. Li Xiang, Liu Shaomin, Li Huaixiang, et al. Intercomparison of six upscaling evapotranspiration methods: From site to the satellite pixel. [Journal of Geophysical Research- Atmospheres](#), 2018, 123, 6777-6803.
9. Liu Rui, Liu Shaomin, Yang Xiaofan, et al., Wind dynamics over a highly heterogeneous oasis area: An experimental and numerical study. [Journal of Geophysical Research: Atmospheres](#). 2018,123, 8418-8440.
10. Liu Rui, Andrey Sogachev, Yang Xiaofan, et al., Investigating microclimate effects in an oasis-desert interaction zone, [Agricultural and Forest Meteorology](#), 2020, 290, 107992.
11. Ma Yanfei, Liu Shaomin, Song Lisheng, et al., Estimations of daily evapotranspiration and irrigation water efficiency at a Landsat-like scale for an arid irrigation area using multi-source remote sensing data. [Remote Sensing of Environment](#), 2018, 216, 715-734.
12. Song Lisheng, Liu Shaomin, William P. Kustas, et al. Monitoring and validating spatially and temporally continuous daily evaporation and transpiration at river basin scale, [Remote sensing of environment](#), 2018, 219, 72-88.
13. Xu Tongren, Guo Zhixia, Liu Shaomin, et al., Evaluating different machine learning methods for upscaling evapotranspiration from flux towers to the regional scale. [Journal of Geophysical Research- Atmospheres](#), 2018, 123, 8674-8690.
14. Xu Tongren, He Xinlei, Bateni, S.M., et al., Mapping regional turbulent heat fluxes via variational assimilation of land surface temperature data from polar orbiting satellites. [Remote Sensing of Environment](#), 2019, 221, 444-461.
15. Xu Ziwei, Liu Shaomin, Li Xin, et al., Intercomparison of Surface Energy Flux Measurement Systems Used during the HiWATER- MUSOEXE. [Journal of Geophysical Research- Atmospheres](#), 2013, 118, 13140-13157.
16. Xu Ziwei, Liu Shaomin, Zhu Zhongli, et al., Exploring evapotranspiration changes in a typical endorheic basin through the integrated observatory network. [Agricultural and Forest Meteorology](#), 2020, 290, 108010.
17. Xu Ziwei, Zhu Zhongli, Liu Shaomin, et al., Evapotranspiration partitioning for multiple ecosystems within a dryland watershed: Seasonal variations and controlling factors. [Journal of Hydrology](#), 2021,598,126483.
18. Li Xiang, Liu Shaomin, Yang Xiaofan, et al., Upscaling evapotranspiration from a single-site to satellite pixel scale. [Remote sensing](#), 2021,13, 4072.



谢谢!

