

对地观测技术在荒漠化防治中应用



中国林科院荒漠化所
冯益明 研究员、博导、副所长

银川 · 2024年7月9日

提 纲

- 1、地面监测（重点无线传输网络技术与应用）**
- 2、空中监测（遥感在荒漠化监测中的应用）**
- 3、未来发展**





cnsphoto

沙尘暴推毁村庄

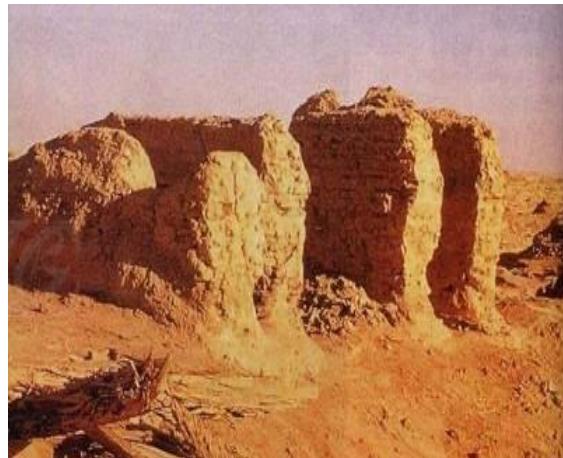


甘肃瓜州遭受强沙尘暴，整个县城笼罩在漫漫“黄雾”中





楼兰古国的消亡



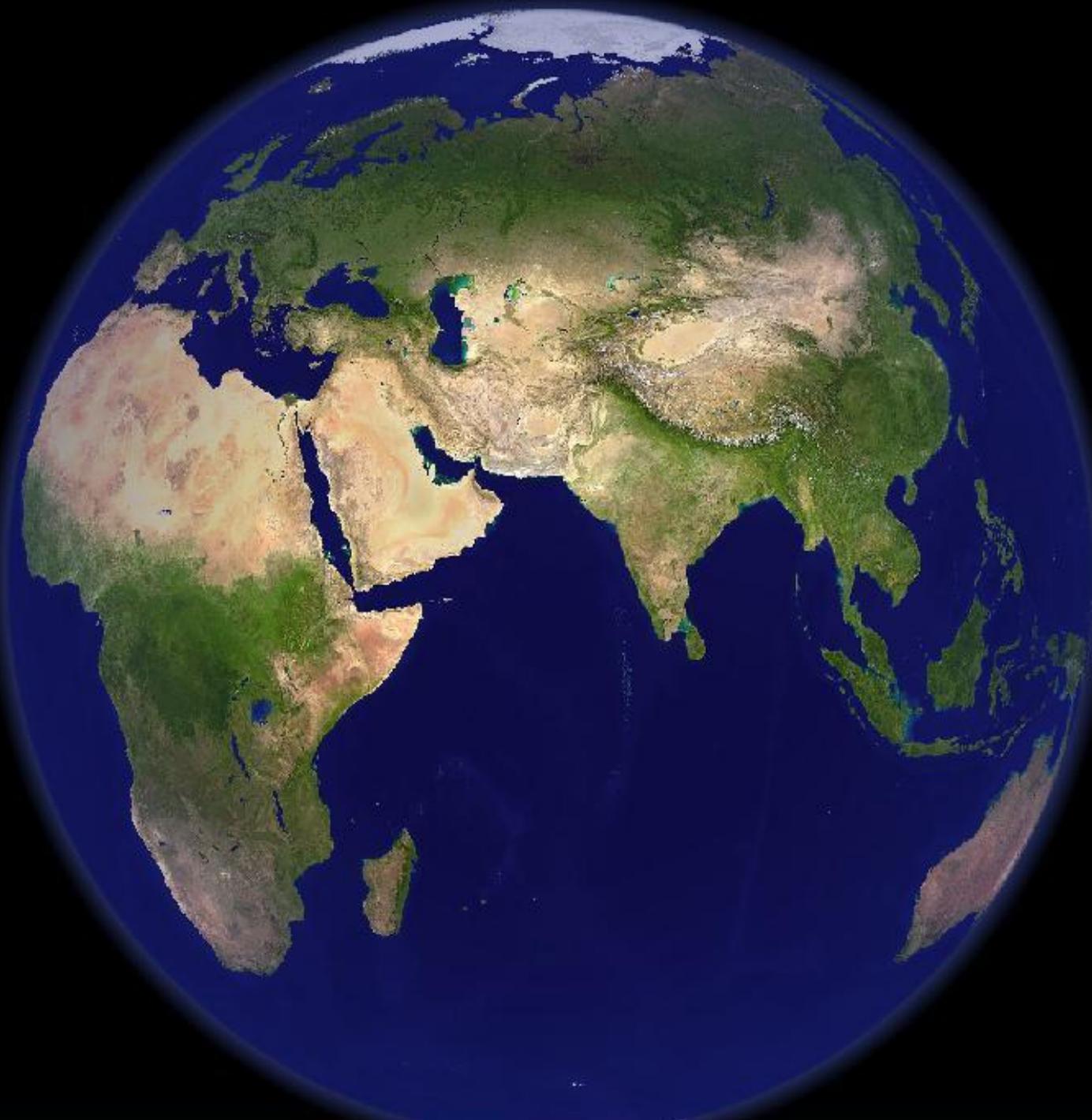
自然和人为等多方面原因，导致河流改道，风沙侵袭，被掩埋于大漠中的。

消失的古楼兰给我们的启示是：人与自然必须要和谐发展；土地荒漠化危害巨大。



70年代中期、当地垦荒造田抽水灌溉及周边植被破坏、水土流失，导致敦煌地下水位急剧下降。从而月牙泉水位急剧下降。







全球荒漠化面积3600万平方千米，相当于俄罗斯，加拿大，中国之和，占陆地总面积24%



全国荒漠化面积257.4万km², 占国土总面积26.8%;
我国防治荒漠化的任务任重道远!

荒漠化监测意义

土地荒漠化是全球性的重大生态环境问题。对荒漠化进行监测，掌握荒漠化的现状、程度及动态演变规律，是有效防治荒漠化的必要前提。

几个概念

1、荒漠与荒漠化

2、沙漠与沙漠化

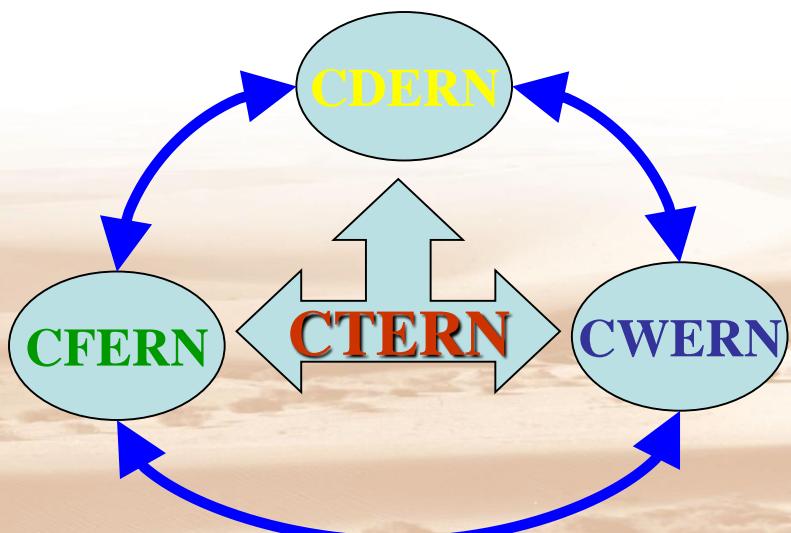
3、沙地与沙化

4、沙漠、沙地、戈壁

一、地表监测

1、CDERN 概述

中国荒漠生态系统定位研究网络（CDERN）是中国陆地生态系统定位研究网络（CTERN）的重要组成部分，隶属国家林业局科技司管辖。该网络基本涵盖我国八大沙漠、四大沙地，并兼顾中南、西南地区一些非典型性沙地、岩溶石漠化、干热干旱河谷等特殊环境区域，分别在6大区域的23个亚区（类）设立观测场（群），每个观测场（群）由数量不等的生态站（点）构成。



CDERN 目标

CDERN

目标定位

回答重大科学问题

服务林业生态工程建设

满足林业发展需求

荒漠生态系统定位研究网络

观测

网
络
发
展
方
向

科研

示范

人才培养

科技创新

数据共享

甘肃库姆塔格荒漠生态系统定位研究站

- 概况：甘肃库姆塔格荒漠生态系统定位研究站（简称库姆塔格站）位于甘肃省敦煌市和阿克塞县境内，属极端干旱区，观测研究范围涉及甘、新、青三省区，主站址地理位置为 $90^{\circ} 25' \sim 94^{\circ} 00'E$ 、 $38^{\circ} 20' \sim 40^{\circ} 50'N$ ，2009年批准为国家林业局局级生态站。
- 主要研究方向：长期定位观测站区的土壤、气象、生物、水文要素，开展沙漠及沙漠化土地动态演变、土壤风蚀过程、土地利用、覆被变化、退化草地恢复、绿洲沙害防治等方面的研究工作。
- 依托单位：中国林业科学研究院荒漠化研究所
- 站长：卢琦
- 联系人：杨文斌
- 通讯地址：北京市海淀区中国林科院35号信箱
- 邮政编码：100091
- 电话/传真：010-62824086 / 6288 8905
- 电子邮箱：luqi@caf.ac.cn



羽毛状沙丘



国家一级保护动物-双峰野骆驼



基于卫星数据传输的标准气象站



水位观测



研究成果



库姆塔格站建设规划布局示意图



组织结构图



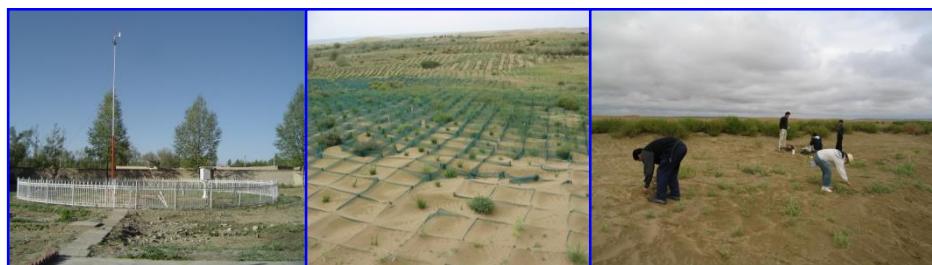
青海共和荒漠生态系统定位研究站

- 概况：青海共和荒漠生态系统定位研究站（简称共和站）位于青藏高原东北部的青海省共和县境内，属青藏高原高寒区，主站址地理位置为 $99^{\circ} 45' \sim 100^{\circ} 30' E$ 、 $36^{\circ} 03' \sim 36^{\circ} 40' N$ ，2005年批准为国家林业局局级生态站。
- 主要研究方向：通过对高寒荒漠生态系统水-土-气-生的长期综合观测和试验，开展高寒地区荒漠化发生过程与机制、荒漠化综合防治模式、高原生物多样性保护、绿洲防护体系建设及防护效应研究。
- 依托单位：中国林业科学研究院荒漠化研究所
- 站长：贾志清
- 联系人：朱雅娟
- 通讯地址：北京市海淀区中国林科院35号信箱
- 邮政编码：100091
- 电话/传真：010-62824088 / 010-62824016
- 电子邮箱：jiazq@forestry.ac.cn



青藏高原高寒沙地景观

防护林内的油菜农田



标准气象站

尼龙网格沙障

野外观测



土壤水分监测系统

土壤水分监测系统

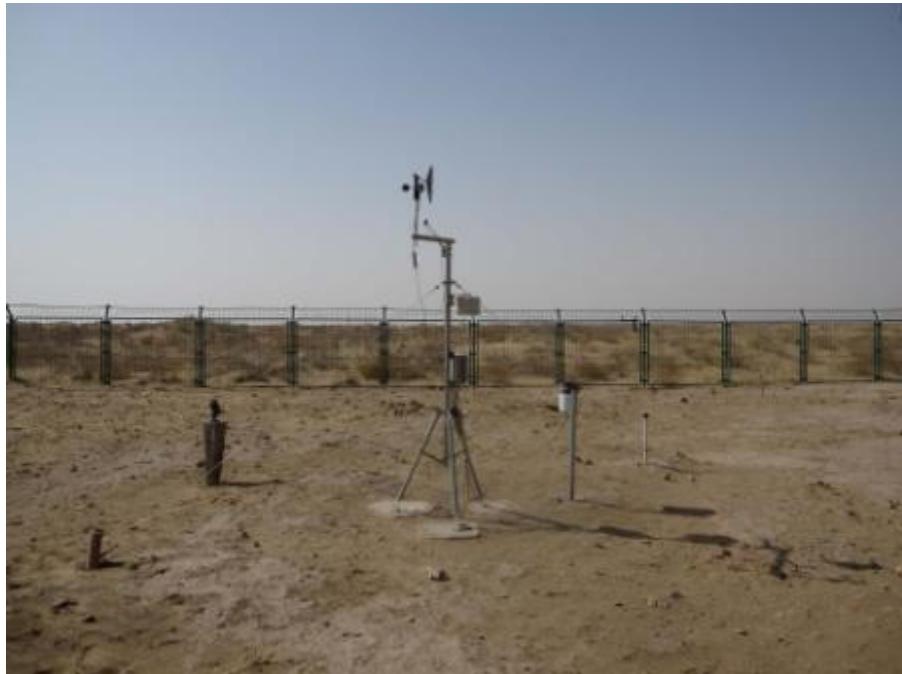
实验示范区野外调查

除了生态站点以外，尚有很多实验
示范区，每年也进行着定点观测

现行监测方法

现有荒漠化生态因子地面监测方法：气象观测站；沙尘专业监测站

问题：目前，虽然荒漠生态因子监测实现了数据自动采集，但数据传输还是采用人工定期观测站取数据和人传车送的工作方式，不能实时回传服务器，这种方式满足不了荒漠生态系统监测需要。



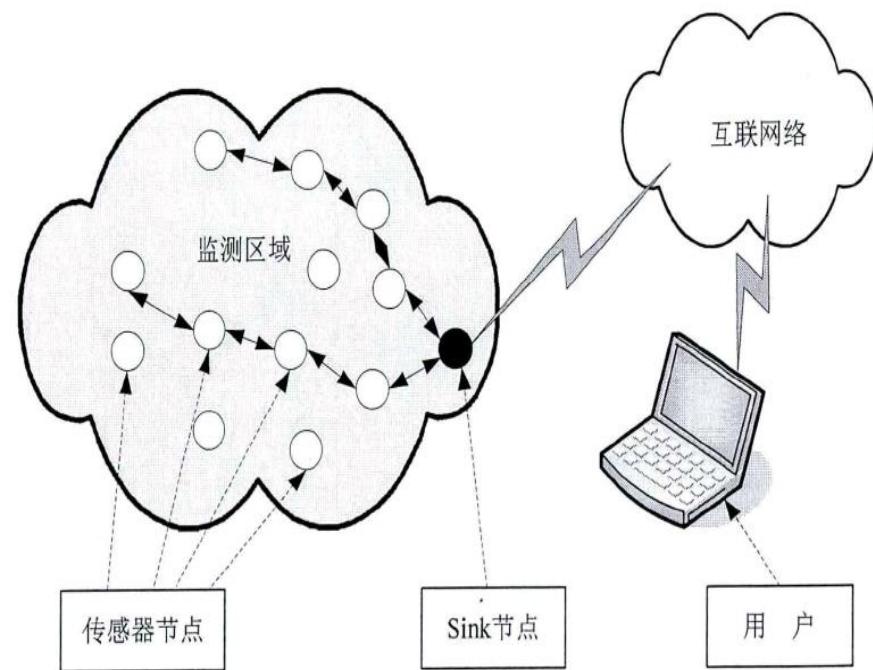
2、WSN进行荒漠生态因子远程监测

荒漠生态因子监测引入WSN的必要性

- WSN是当前国际上备受关注、由多学科高度交叉的前沿研究热点领域。在环境监测、抢险救灾、军事国防等领域有巨大价值。
- 无线传感器能够协同地实时监测、感知和采集网络覆盖区域中各种环境或监测对象信息，并对其进行处理，处理后的信息通过无线方式发送，传送到管理中心，为客户端提供服务。
- 随着荒漠生态系统研究的不断发展和完善，传统的人工定期观测取数据和人传车送的工作方式，已满足不了需要。为了适时、准确自动采集监测数据以及及时、快速地传递监测数据，提高监测数据传递的实时性和连续性，选用WSN是荒漠生态系统监测发展的必需。

无线传感器网络WSN简介

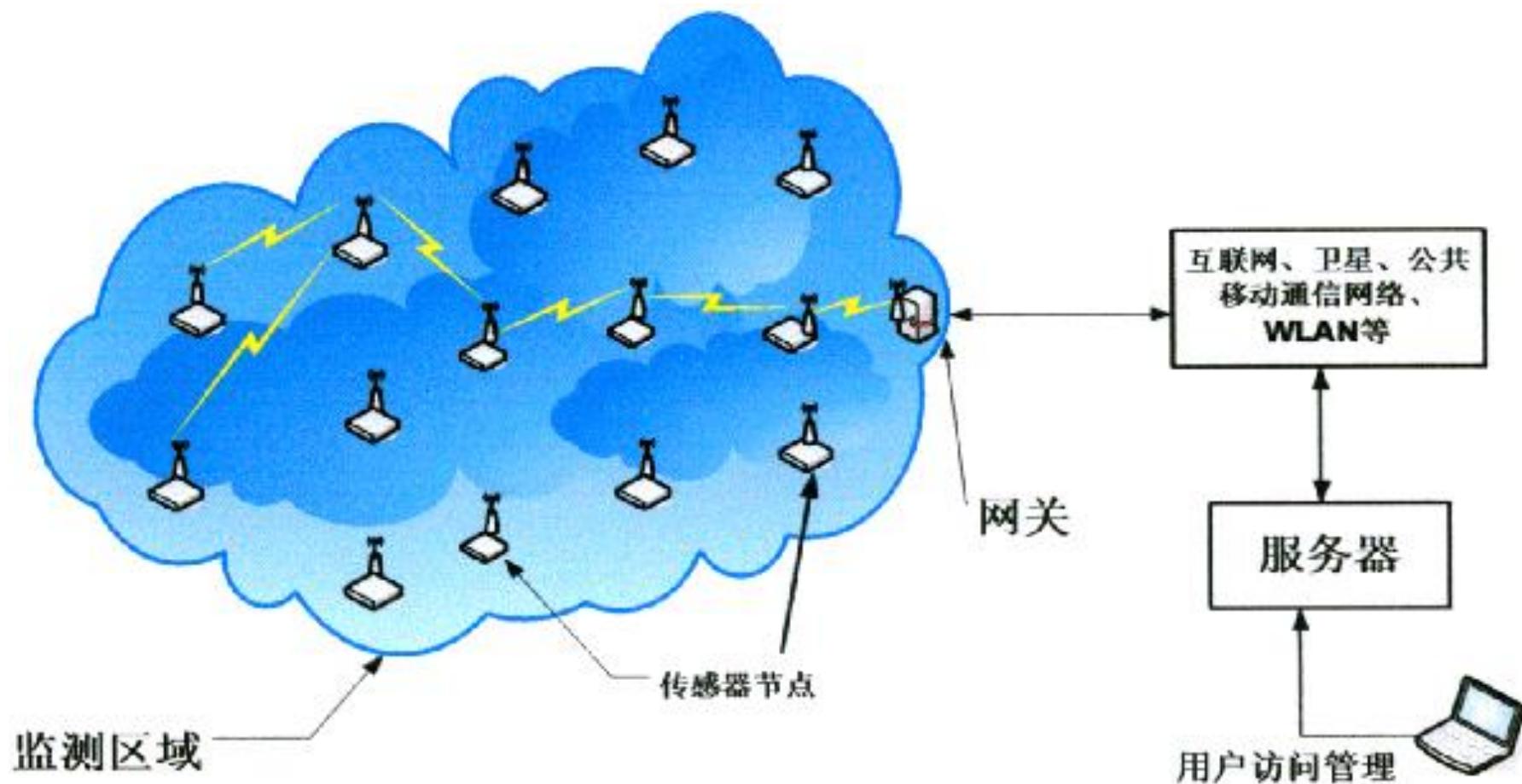
无线传感器网络结构



- 传感器网络通常包括传感器节点(Sensor Node), 汇聚节点(Sink Node),和管理节点(即用户).
- 大量传感器节点部署在监测区域内，通过自组织方式构成网络.
- 节点具有收集和处理本地信息功能外，还可对其他节点转发来的数据进行存储、管理和融合.
- 传感器节点监测的数据沿其他节点逐跳传输，经过多跳到达汇聚节点.
- 汇聚节点连接传感器网络与Internet,可以是具有增强功能的传感器节点，也可以是带有无线接口的网管设备.
- 汇聚的数据通过互联网到达数据中心，并可由用户对数据进行监测，并对传感器网络进行配置和管理.

野外生态因子的远程适时监控系统

- 采用无线传感器网络技术实现适时监测、感知和采集荒漠生态环境信息，对数据进行处理，通过网络自动进入室内服务器，为客户提供服务。

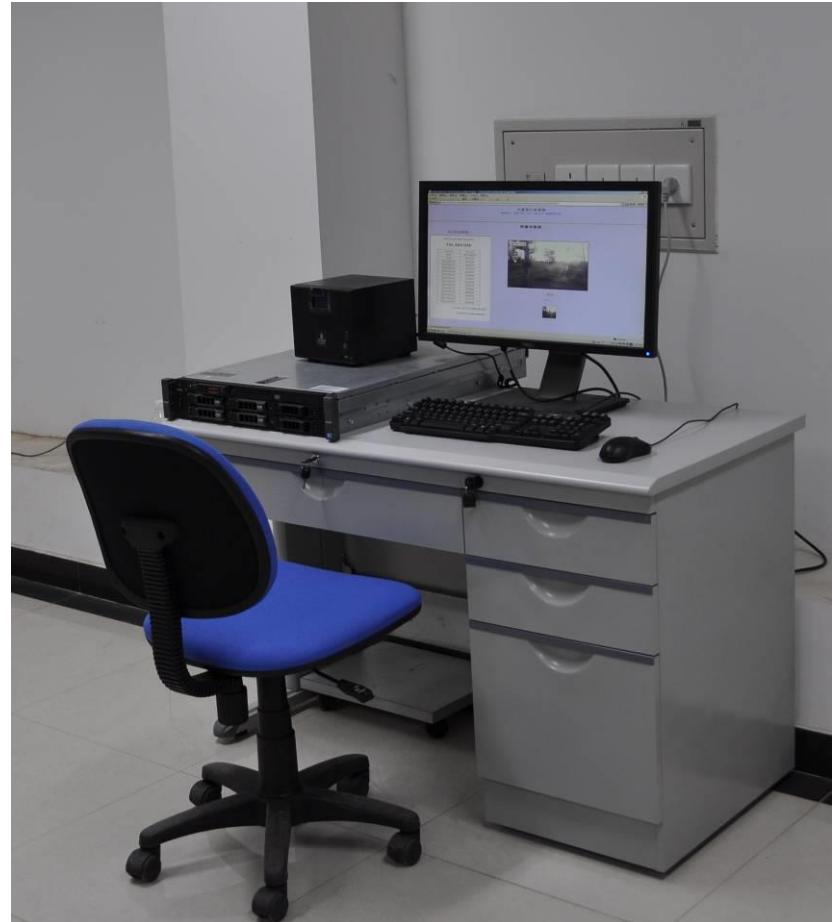


搭建野外生态因子的远程适时监控系统

- 以磴口为试点，采用无线传输网络技术，初步实现了生态站与数据中心之间数据采集、远程实时传输、存储和加工、处理一体化的野外数据远程实时观测。



无线传感网络野外安装



生态因子信息实时进入服务器并在线展示

野外生态因子的远程适时监控系统

218.93.8.146:8888/内蒙磴口北/FSE_ADS1258/201201/201201

218.93.8.146:8888/内蒙磴口北/FSE_ADS1 谷歌 360游戏 Lenovo Reco... Microsoft 网站 基金网 链接 网址

Field Server Monit FSE_ADS12582012/01

Date : 2012/01/10

Time	CH1 (风速) (m/s)	CH2 (风向) (度)	CH6 (土壤水分20cm) (体积%)	CH7 (土壤温度10cm) (度)	CH8 (气温) (度)	CH14 (雨量) (mm)
2012/01/10 11:29:03	0.07	136.69	1.76	-10.61	-6.6	17
2012/01/10 11:39:06	0.02	111.1	1.72	-10.53	-6.27	17
2012/01/10 11:48:55	0.02	42.72	1.69	-10.54	-1.21	17
2012/01/10 11:59:03	0.03	235.5	1.61	-10.42	-0.7	17
2012/01/10 12:09:04	0.03	307.49	1.55	-10.38	-1.16	17
2012/01/10 12:18:56	0.04	325.4	1.75	-10.24	-1.7	17
2012/01/10 12:28:55	0.03	136.56	1.78	-10.16	-2.88	17
2012/01/10 12:38:57	0.18	110.99	1.71	-10.13	-3.44	17
2012/01/10 12:48:57	0.03	346.8	1.78	-9.92	1.09	17
2012/01/10 12:58:56	0.55	54.78	1.72	-9.75	-2.1	17
2012/01/10 13:09:03	0.3	51.1	1.58	-9.69	-0.14	17
2012/01/10 13:19:04	0.05	93.42	1.74	-9.48	-0.55	17
2012/01/10 13:28:55	0.03	352.49	1.59	-9.28	-1.19	17

监测因子的实时回传与在线

218.93.8.146:8888/内蒙磴口北/ Field Server Monit

中国林业科学研究院荒漠化研究所
磴口北实验基地实时图像数据系统
Update : 2010.7.7 ver.0.7 (HAOMING HU)

select FieldServer
FS Cam

pic1 pic2 pic3 pic4 pic5 pic6 pic7 pic8
pic4 pic2 pic3 pic1 pic5 pic6 pic7 pic8

The interface displays a table of environmental data for January 10, 2012, from various sensors (CH1 to CH14). It also features a large image of a dry, open landscape and a grid of eight smaller video thumbnails labeled pic1 through pic8, which likely represent different camera angles or live feeds from the field site.

野外情境360度拍摄回传与在线

编制完成荒漠生态系统远程数据采集与传输技术规程

中华人民共和国林业行业标准

LY/T 2510—2015

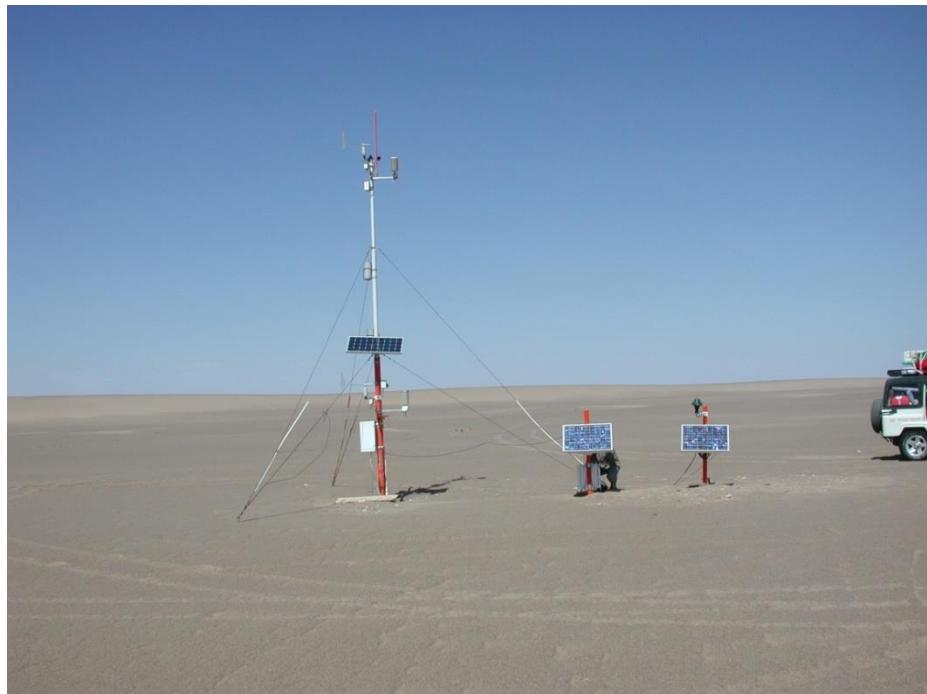
荒漠生态系统定位观测数据 采集与远程传输技术规程

Regulation on collecting and remote transmitting of
observation data for desert ecosystem

从荒漠生态系统监测数据自动采集及远程实时传输两方面制定适合我国荒漠生态系统远程数据采集与传输的技术规程，促进荒漠生态系统观测技术的发展，为完善荒漠生态系统野外观测工作的标准化、规范化服务。

3、存在问题

- 荒漠区的特殊性：无有线电源、沙尘大、传感器要求不同其它行业、有些区域无通讯网。



存在问题

后期的维护与管理:

- 设备的更新与维护
- 每年通讯费
- 后台数据的处理等

4、未来研究内容（针对WSN）

无线传输网络设备更新与维护

对部分设备进行进一步改进与优化，使其在一些限制因素条件下能正常运行：

- 无有线电源；
- 沙尘大（设备首先要抗沙；进沙后，人工清理方便）
- 传感器要耐旱、耐盐碱蚀、防风；另外，敏感度高
- 对于无通讯网区域的监测。

无线传输网络服务器端数据挖掘

◆ 服务器端数据管理与数据挖掘软件的研制

服务器端数据管理与数据挖掘系统研制：数据汇聚到服务器，数据管理（动态图示、报表展示等），数据挖掘（如监测到异常数据自动报警等）

二、空中监测（主要遥感应用）

- ◆ 遥感监测指标
- ◆ 监测技术
- ◆ 几个重点实例

1、遥感监测指标

- ◆ 遥感作为一种对地观察技术，以其探测范围大、获得资料速度快、信息量大且周期短、成本较低、受地面条件限制少等优点而成为地圈、大气圈、冰冻圈和生物圈研究的重要手段。
- ◆ 随着遥感技术的发展，遥感信息成为土地退化评价研究的重要信息来源，同时又为土地退化监测与评价提供了技术和精度保证。
- ◆ 建立基于遥感技术的定量化土地退化指标体系，对实现土地退化定量评价与监测研究至关重要。

1.1 监测指标

土地利用/土地覆盖类型划分指标

表1 土地利用分类系统

1.1 监测指标

土地退化主要植被监测指标

主要包括：植被类型，植被指数，植被覆盖，植被生物量等，如表3示。

表3 主要植被遥感监测指标

类型	乔木				灌木				草木				综合盖度	综合生物量	植被指数
	主要树种	起源	郁闭度	生物量	主要物种	起源	盖度	生物量	主要物种	起源	盖度	生物量			
单位				g			%	g			%	g	%	g	

1.1 监测指标

土地退化主要土壤监测指标

主要包括：土壤类型，土壤水分，土壤表面颗粒尺寸，土壤侵蚀量等，如表4示。

表4 主要土壤遥感监测指标

指标	土壤类型	土壤水分	结构-表面颗粒尺寸	土壤侵蚀
单位		%	mm	参照中华人民共和国水利部部颁标准(土壤侵蚀分类分级标准SL190-96)

1.2 土地退化类型与土地退化程度指标

- ◆ 参照国家林业局2004年发布的《全国荒漠化和沙化监测技术规定》、李森等（2005）和中亚地区环境特点，制定土地退化类型与土地退化程度指标遥感监测与评价指标。
- ◆ 土地退化类型划分为：风蚀、水蚀、冻融、盐渍化与非荒漠化5个类型；
- ◆ 各类型退化程度分为：非荒漠化、轻度、中度、重度和极重度5个等级。

1.2 土地退化类型与土地退化程度指标

土地退化类型与程度遥感调查指标

退化类型	退化程度
风蚀	<p>草地、林地和未利用地：（1）植被盖度：对干旱、半干旱区，<10%（评分60）、10-24%（评分45）、25-39%（评分30）、40-54%（评分15）、>55%（评分5）；（2）地表形态：影像上分辨不出沙丘(评分10)、影像上可辨出沙丘，基本无阴影和纹理(评分20)、沙丘在影像上清晰可见，纹理明显，沙丘阴影面积<50%(评分30)、地类为戈壁、风蚀劣地、<u>裸土地</u>或沙丘阴影面积>50%，纹理明显(评分40)。</p> <p>根据（1）、（2）项评分之和，进行程度分级：非荒漠化≤20；轻度21-35；中度36-60；重度61-85；极重度≥86。</p>

1.2 土地退化类型与土地退化程度指标

水蚀	<p>对草地、林地和未利用地：（1）植被盖度：$>70\%$（评分1）、$69-50\%$（评分15）、$49-30\%$（评分30）、$29-10\%$（评分45）、$<10\%$（评分60）；（2）坡度：$<3\%$（评分2）、$3-5\%$（评分5）、$6-8\%$（评分10）、$9-14\%$（评分15）、$\geq 15\%$（评分20）；（3）<u>侵蚀沟面积比例(%)</u> $\leq 5\%$（评分2）、$6-10\%$（评分5）、$11-15\%$（评分10）、$16-20\%$（评分15）、$>20\%$（评分20）；</p> <p>根据（1）、（2）、（3）项评分之和，进行分级：非荒漠化≤ 24；轻度$25-40$；中度$41-60$；重度$61-84$；极重度≥ 85。</p>
	<p>耕地：轻度 坡度<5度，沟壑面积比例$6-15\%$，作物长势较好；中度 坡度$5-8$度，沟壑面积比例$16-40\%$，长势一般；重度 坡度$9-14$度，沟壑面积比例$41-60\%$，生长较差；极重度 坡度≥ 15度，沟壑面积比例$>60\%$，长势很差。</p>

1.2 土地退化类型与土地退化程度指标

盐渍化	对草地、林地和未利用地：轻度 地表可见少量盐碱斑（≤20%），植被盖度≥36%；中度 盐碱斑占地面积21-41%，植被盖度21-35%；重度 41-60%的地表为盐碱斑，植被盖度11-20%；极重度 61%的地表为盐碱斑，几乎无植被（≤10%）。
	耕地：轻度 地表可见少量盐碱斑（≤20%），长势较好；中度 盐碱斑占地面积21-41%，长势一般；重度 41-60%的地表为盐碱斑，长势较差；极重度 61%的地表为盐碱斑，长势很差。
冻融	极重度：地表形成片状裸地或流石坡、片状流沙、冻融泻溜土坎和裸露坡面等。植被盖度≤20%，土地裸露与破碎面积>50%；重度：地表形成斑块状裸地或形成碎石斑、片状流沙、冻融泻溜土坎和裸露坡面等。植被盖度20-30%，土地裸露与破碎面积30- 50%；中度：地表出现干涸融沼、斑块状裸地、斑块状流沙等。植被盖度30-40%，土地裸露与破碎面积10-30%；轻度：地表出现干涸融沼、秃斑状裸地、斑点状流沙等，或在坡面上形成草皮坡坎、半裸露坡面及侵蚀台坎等。植被盖度40-50%，土地裸露与破碎面积<10%（李森等,2005）。

2、遥感监测技术

2.1 土地利用/土地覆盖影像分类技术

地物遥感分类方法：主要监督、非监督分类、决策树分类以及目视解译等

- 监督分类：利用训练区样本建立判别函数的“学习”过程和把待分像元带入判别函数进行判别的过程。监督分类常用分类方法包括最小距离分类法、多级切割分类法、特征曲线窗口法和最大似然比分类法等。
- 非监督分类法：假设遥感影像上同类物体在同样条件下具有相同的光谱信息特征。非监督分类法依靠影像上不同类地物光谱信息（或纹理信息）进行特征提取，通过把一组像素按照相似性归成若干类别，使同一类别的像素之间的距离尽可能的小而不同类别上的像素间的距离尽可能的大。
- 决策树分类法模拟人工分类过程，依据分类规则对数据从根节点往下逐级分类。
- 目视解译方法通过卫星影像特征等直接要素和相关地物分布、地理分布等要素，结合参考有关非遥感信息判断分析，按照技术标准进行区别勾绘出不同类型的图斑。

2.1 土地利用/土地覆盖变化检测技术

常用方法：状态转移矩阵、土地利用变化强度指数、土地利用变化的速度等

- 状态转移矩阵：马尔柯夫转移矩阵模型对于分析不同土地荒漠化程度之间的流向具有重要作用，通过转移矩阵，不仅可以定量说明不同荒漠化程度之间的相互转化状况，而且可以揭示不同荒漠化程度之间的转移速率，从而可以更好地了解土地荒漠化的时空演变过程。
- 土地利用变化的速度：

反映区域土地利用/覆盖中土地利用类型的变化剧烈程度。 ↗

$$R = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (4)$$

式中：U_a 和 U_b 分别为研究初期及研究末期某一种土地利用类型
的数量；T 为研究期时段长；R 为 T 时段对应的研究区单一土地利用
变化速率。 ↗

2.2 植被信息识别与提取技术

□ 植被指数提取技术：为了定量评估植被生长和盖度等特征，已发展了数十种植被指数，其中应用较为广泛的主要有归一化植被指数**NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)**、比值植被指数**RVI(Ratio Vegetation Index)**、差值植被指数**DVI(Difference Vegetation Index)**、土壤校正植被指数**SAVI(Soil Adjusted Vegetation Index)**、改进的土壤校正植被指数**MSAVI(Modified Soil Adjusted Vegetation Index)**以及增强型植被指数**(Enhanced Vegetation Index, EVI)**等。

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (1-a)$$

$$RVI = NIR / RED \quad (1-b)$$

$$DVI = NIR - RED \quad (1-c)$$

$$SAVI = (1 + L) [(NIR - RED) / (NIR + RED + L)] \quad (1-d)$$

$$MSAVI = \left(2NIR + 1 - \sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8(NIR - RED)} \right) / 2 \quad (1-e)$$

$$EVI = G \times \frac{NIR - RED}{NIR + C_1 \times RED - C_2 \times BLUE + L} \quad (1-f)$$

其中，NIR、RED和BLUE为近红外波段、红光波段和蓝光波段的光谱反射率；L为背景调整项；C₁和C₂为拟合系数；G为增益因子；计算MODIS-EVI时，L=1，C₁=6，C₂=7.5，G=2.5。根据研究区范围和地面植被季相特征，利用植被指数可以定量地反映地面植被的变化特征。

2.2 植被信息识别与提取技术

- 植被盖度提取技术：通过实地测量的植被盖度与遥感数据的某一波段、波段组合或利用遥感数据计算出的植被指数进行相关关系分析，建立经验模型并进行时空间推求取大区域、长时序植被盖度，因此也称经验模型法。按照建立经验模型使用统计方法的不同，分为回归模型法、分类决策树法和人工神经网络法等。
- 混合像元植被盖度提取法：混合像元分解法认为遥感影像中的1个像元实际上可能由多个组分构成，每个组分对遥感传感器所观测到的信息都有贡献，因此可以将遥感信息(波段或植被指数)分解建立像元分解模型，并利用此模型估算植被盖度。目前已开发出的混合像元分解模型主要有线性(Linear)模型、概率(probabilistic)模型、几何光学(geometric-optical)模型、随机几何(stochastic geometric)模型和模糊分析(fuzzy)模型。可自查资料学习。

2.2 植被生物量提取技术

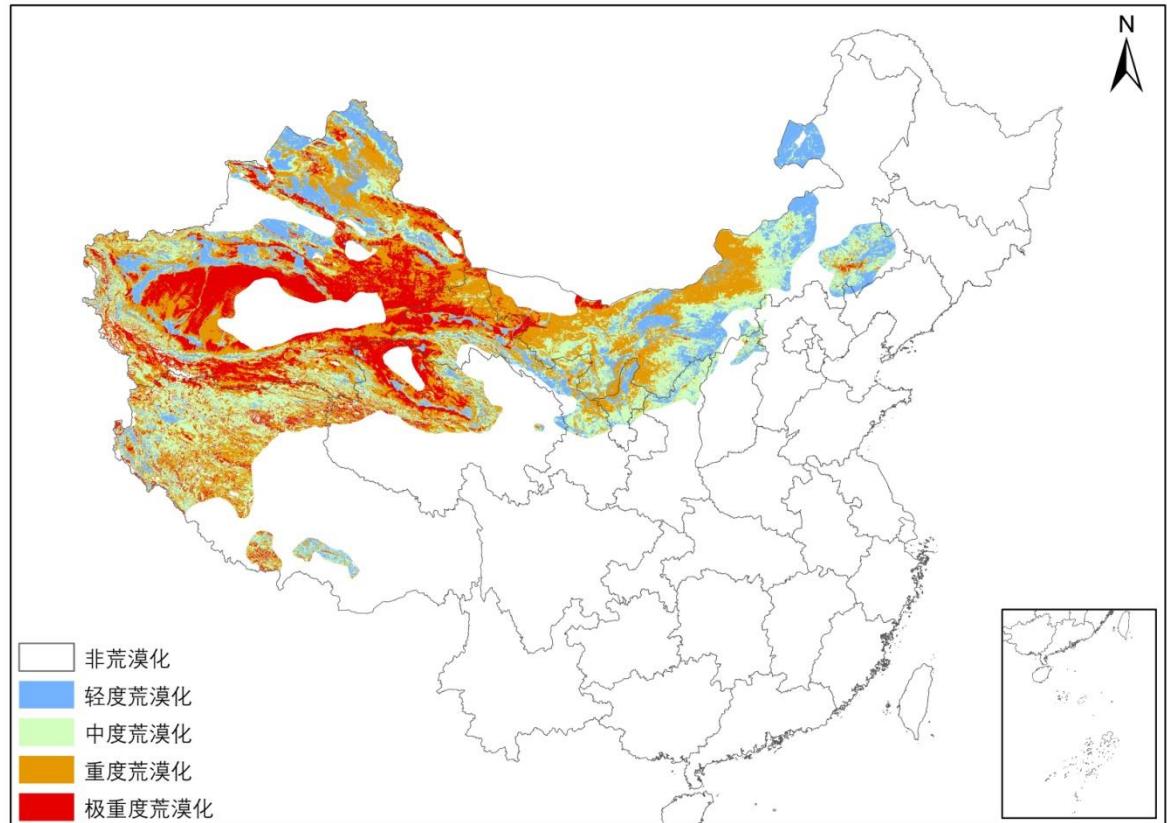
□ 主要是NPP提取技术。植被净初级生产力(*net primary productivity*, 简称NPP)是指绿色植物在单位面积、单位时间内所累积的有机物量，表现为光合作用固定的有机碳中扣除本身呼吸消耗的部分，这一部分用于植被的生长和生殖，也称净第一性生产力。详细过程实例说明。

几个实例

1、基于MODIS卫星影像数据荒漠化年度监测

中国荒漠化现状

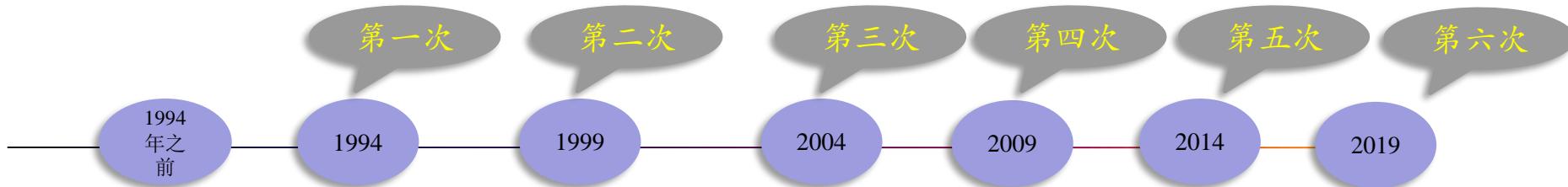
国家林草局发布的第六次中国荒漠化土地监测结果显示，截止2019年底，中国荒漠化土地面积为257.37万平方公里，沙化土地面积168.78万平方公里。



研究背景

荒漠化监测情况

中国土地荒漠化与沙化监测工作是荒漠化防治的基础工作，自1994年以来国家林业局每5年进行一次清查



连续清查数据特点：

- 数据准确、权威，数据连续性较好
- 时间分辨率为5年，以5年平均值代表间隔期情况，在前后期变化大时，平均值难以反映最近的荒漠化与沙化趋势
- 耗时、耗力

- 如何掌握区域荒漠化、沙化的年际消长动态？
- 如何快速宏观获取荒漠化时空格局？
- 如何给决策者提供实时及准确数据？（省时、省力）
- 荒漠化、沙化的年际消长如何变化的？

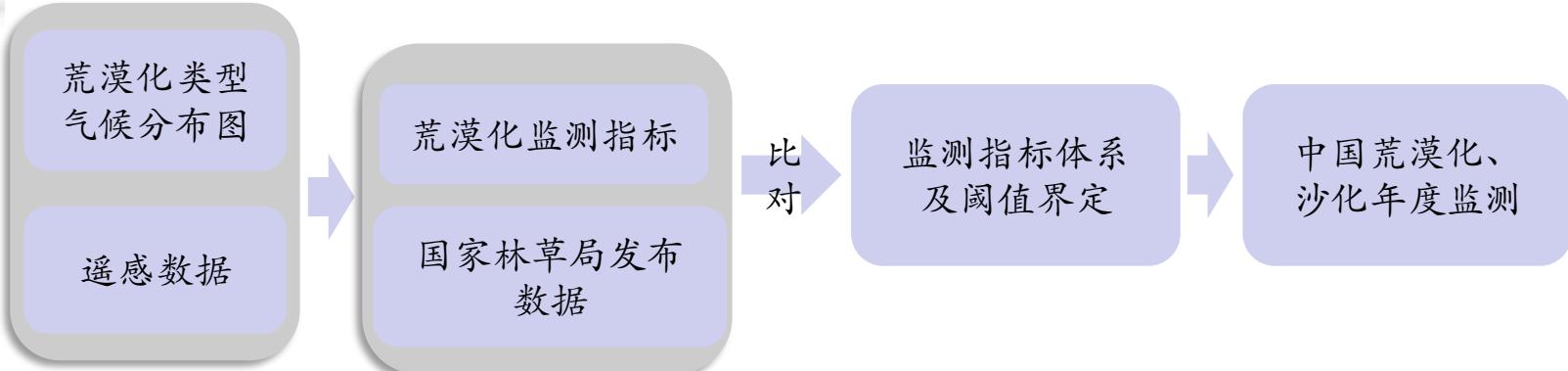


研究背景

荒漠化监测设想



利用遥感数据的优势实现区域荒漠化、沙化的快速、宏观、实时监测非常必要。



年度一张图：实现中国荒漠化与沙化时空演变的快速宏观实时监测，为我国“一带一路”计划实施过程中的生态环境保护保驾护航。

研究方法

荒漠化范围的确定

荒漠化气候类型的主要划分方法

干燥度法(张家城,1985)

湿润区: 干燥度 <1.0

亚湿润干旱区: $1.0 < \text{干燥度} < 1.49$

半干旱区: $1.5 < \text{干燥度} < 3.99$

干旱区: $4 < \text{干燥度} < 16$

极端干旱区: $16 < \text{干燥度}$

湿润指数法(慈龙骏,1997)

湿润区: $0.65 < \text{湿润指数}$

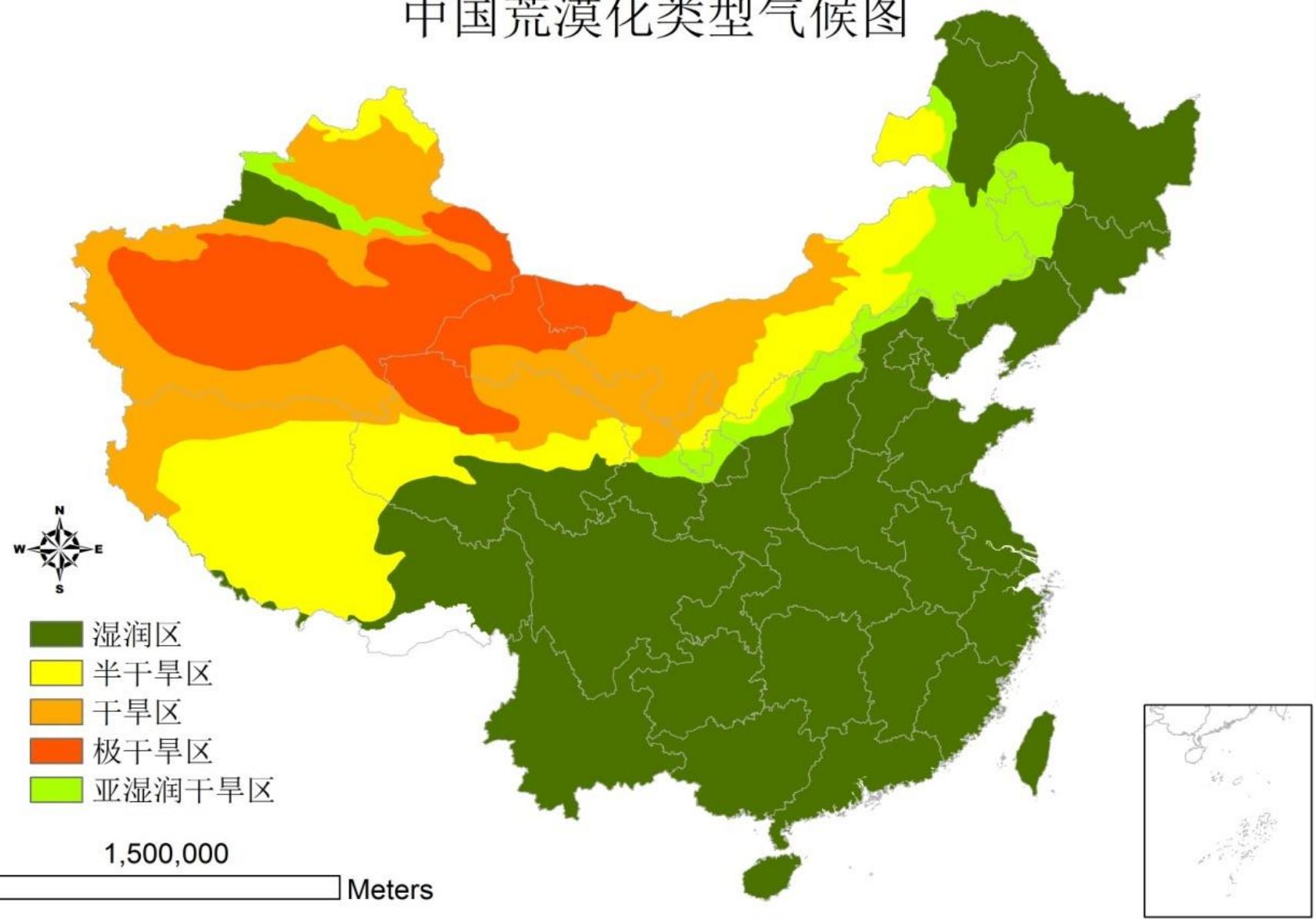
亚湿润干旱区: $0.51 < \text{湿润指数} < 0.65$

半干旱区: $0.21 < \text{湿润指数} < 0.5$

干旱区: $0.05 < \text{湿润指数} < 0.2$

极干旱区: $\text{湿润指数} < 0.05$

中国荒漠化类型气候图



研究方法

数据源 – MODIS

中等分辨率成像光谱仪（MODIS）是当前世界上新一代“图谱合一”的光学遥感仪器，搭载在Terra和Aqua两颗卫星上，每两日可获取一次全球观测数据。与传统卫星相比，其覆盖范围广、重访周期短，并且可以获取到较为丰富的影像信息，因而可以利用该数据进行大范围地区的年度荒漠化监测。

表1 MODIS传感器参数

项目	参数
空间分辨率	250 m (1-2波段); 500 m (3-7波段); 1000 m (8-36波段)
扫描宽度	扫描宽度: 2330km
时间分辨率	时间分辨率: 1天
光谱波段	36个离散光谱波段，光谱范围宽，从0.4微米（可见光）到14.4微米（热红外）全光谱覆盖。
轨道	705KM，降轨上午10:30过境，升轨下午1:30过境；太阳同步；近极地圆轨道
设计寿命	5年

遥感监测指标选择

➤ 荒漠化遥感监测指标的确定

利用中、大尺度遥
感数据进行区域荒漠
化宏观和实时监测

综合前人荒漠化监
测指标，结合大尺
度监测的需求

植被覆盖度(FVC)

改进型土壤调整植
被指数(MSAVI)

陆地表面温度(LST)

土壤湿度(TVDI)

反映荒漠化土地自
然属性和生态性状

反映荒漠化土地物
理属性

遥感监测指标计算

植被覆盖度监测指标FVC及计算方法

$$FVC = \frac{NDV_{p,\max} - NDV_s}{NDV_{c,v} - NDV_s}$$

$NDV_{p,\max}$ 是该像元的年最大 NDVI 值; $NDV_{c,v}$ 是每类土地覆盖类型的植被覆盖度为 100% 时相对应的像元 NDVI 值; NDV_s 是每类土地覆盖类型的 NDVI 最小值。

数据源：2001-2017年植被生长季的MODIS全球1KM分辨率植被指数
16 d合成数据 + 采用IGBP分类系统（包括17种土地覆盖类型）的1km分辨率土地覆盖分类数据。

遥感监测指标计算

陆地表面温度LST及计算

卫星遥感探测到的陆地表面温度（LST）是陆地表层的水体、植被、土壤、岩石等表面的温度（Wan Z, 2008）。LST可以反映生态系统的温度变化特征。

计算方法：采用植被生长季(4月-10月)平均陆面温度。具体是在生长季的每个月合成一幅无云影像，然后取7个月的陆面温度平均值。

数据源：2001-2017年植被生长季的MODIS全球1KM地表温度/发射率8 d合成产品数据。

遥感监测指标计算

温度植被旱情指数—TVDI计算

TVDI是一种基于光学与热红外遥感通道数据进行植被覆盖区域表层土壤水分反演的方法。它可以用来监测特定年内某一时期整个区域的相对干旱程度，并可用于研究干旱程度的空间变化特征。

$$TVDI = \frac{T_s - (a_1 + b_1 \times I_{NDVI})}{(a_2 + b_2 \times I_{NDVI}) - (a_1 + b_1 \times I_{NDVI})}$$

式中， a_1 、 b_1 、 a_2 、 b_2 分分别是干边和湿边拟合方程的系数。其中，

$$T_{wet_i} = a_1 + b_1 \times I_{NDVI_i}$$

$$T_{dry_i} = a_2 + b_2 \times I_{NDVI_i}$$

式中， I_{NDVI_i} 为某像素点的植被指数， T_{dry_i} 、 T_{wet_i} 分别为特征空间中 I_{NDVI_i} 对应的干、湿边地表温度， a_1 、 b_1 、 a_2 、 b_2 分别为特征空间湿边和干边的截距和斜率，通过线性拟合获得。

所用数据为2001-2017年MODIS全球1KM地表温度/发射率8天合成产品数据和全球1KM分辨率植被指数16天合成数据。

遥感监测指标计算

改进型土壤调整植被指数（MSAVI）计算方法

改进型土壤调节植被指数（MSAVI）消除了土壤背景的影响，可以用于研究植被覆盖较少的荒漠化地区植被生长季的变化状况（王宏等，2007）。

$$MSAVI = (2NIR + 1 - \sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8(NIR - R)})/2$$

计算方法：通过最大值合成法获取植被生长季每月的MSAVI值，然后对植被生长季的MSAVI值累加，得到生长季的MSAVI累积值。

数据源：2001-2017年MODIS全球1km反射率8 d合成产品数据，所用通道是可见光和近红外波段。

其中，R是指可见红光波段，NIR是指近红外波段，计算出8天合成的MSAVI，利用最大值合成法获取每月的MSAVI值后，对生长季(4-10月)的MSAVI值累加，得到生长季的MSAVI的累积值。

区域荒漠化程度确定

荒漠化程度分级：根据全国荒漠化和沙化监测技术规定，将我国荒漠化区域按气候类型划分为亚湿润干旱区、半干旱区、干旱区、极干旱区四个区域，不同气候区内按照荒漠化程度划分为：非荒漠化、轻度荒漠化、中度荒漠化、重度荒漠化、极重度荒漠化5级。

区域荒漠化程度确定

各气候区各参数各程度级的阈值确定：以国家林业局第3次（2004年发布）、第4次（2009年发布）、第5次（2014年发布）荒漠化监测结果为参照，将其进行数字化处理，然后与基于**MODIS**影像反演的各监测指标图进行叠加分析，得到各气候区各参数每一程度级的阈值范围。

荒漠化监测指标体系

气候区	荒漠化程度	MSAVI	植被覆盖度	陆面温度	TVDI
亚湿润干旱区	非荒漠化	>1.7	>0.85	<28	<0.65
	轻度荒漠化	1.4–1.7	0.65–0.8	28–32	0.65–0.75
	中度荒漠化	1.1–1.4	0.5–0.65	32–34	0.75–0.85
	重度荒漠化	0.8–1.1	0.32–0.5	34–37	0.85–0.9
	极重度荒漠化	<0.8	<0.32	>37	>0.9
半干旱区	非荒漠化	>1.2	>0.8	<28	<0.59
	轻度荒漠化	0.9–1.2	0.57–0.8	28–31	0.59–0.68
	中度荒漠化	0.6–0.9	0.37–0.57	31–34	0.68–0.73
	重度荒漠化	0.4–0.6	0.22–0.37	34–37	0.73–0.8
	极重度荒漠化	<0.4	<0.22	>37	>0.8
干旱区	非荒漠化	>1.0	>0.8	<25	<0.57
	轻度荒漠化	0.7–1.0	0.55–0.8	25–30	0.57–0.66
	中度荒漠化	0.4–0.7	0.35–0.55	30–35	0.66–0.71
	重度荒漠化	0.22–0.4	0.2–0.35	35–41	0.71–0.78
	极重度荒漠化	<0.22	<0.2	>41	>0.78
极干旱区	非荒漠化	>0.66	>0.75	<16	<0.57
	轻度荒漠化	0.51–0.66	0.55–0.75	16–24	0.57–0.66
	中度荒漠化	0.36–0.51	0.35–0.55	24–32	0.66–0.71
	重度荒漠化	0.22–0.36	0.15–0.35	32–40	0.71–0.78
	极重度荒漠化	<0.22	<0.15	>40	>0.78

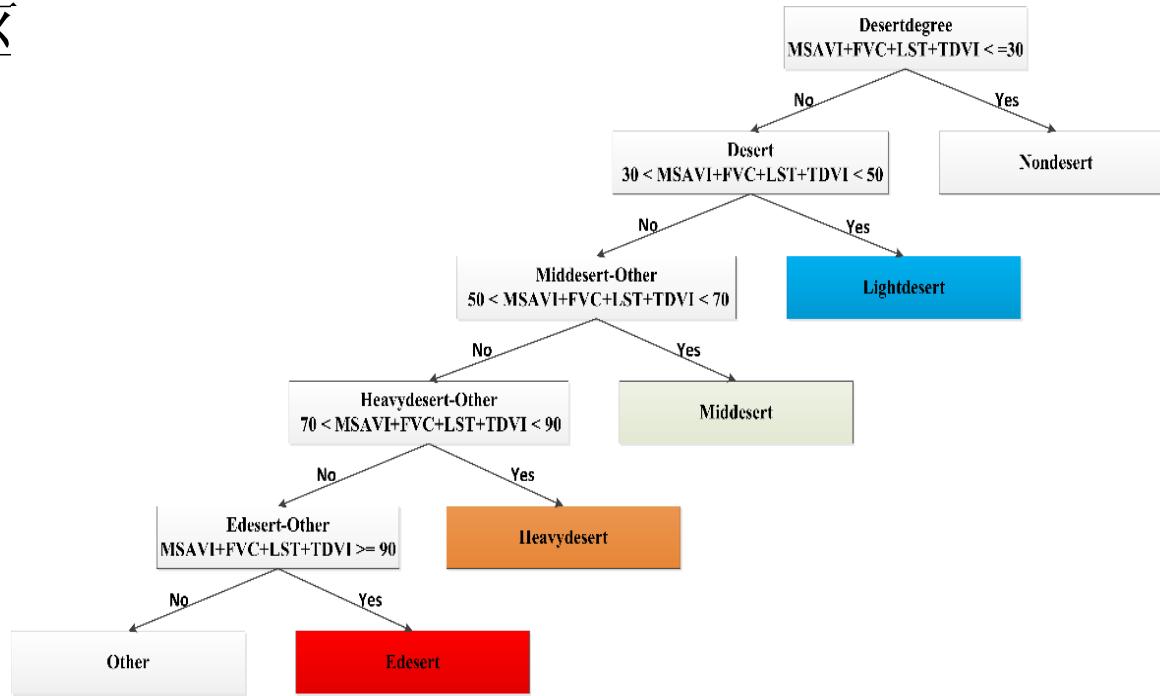
区域荒漠化程度确定

各指标权重：根据各指标对荒漠化程度的贡献率，采用层次分析法，确定选出的四个遥感监测指标权重，权重按百分制调整，具体为：MSAVI占40分，植被覆盖度占35分，陆地表面温度占15分，TVDI占10分；不同监测指标按不同程度分别赋值。

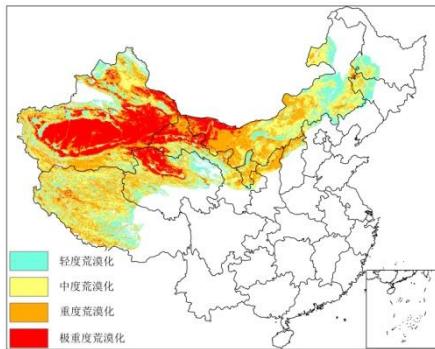
区域	荒漠化程度	MSAVI	植被覆盖度	陆面温度	TVDI	总分
气候区	非荒漠化	8分	7分	3分	2分	<=30
	轻度荒漠化	16分	14分	6分	4分	30-50
	中度荒漠化	24分	21分	9分	6分	50-70
	重度荒漠化	32分	28分	12分	8分	70-90
	极重度荒漠化	40分	35分	15分	10分	>=90

区域荒漠化程度确定

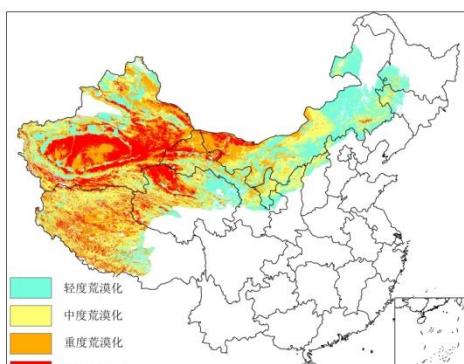
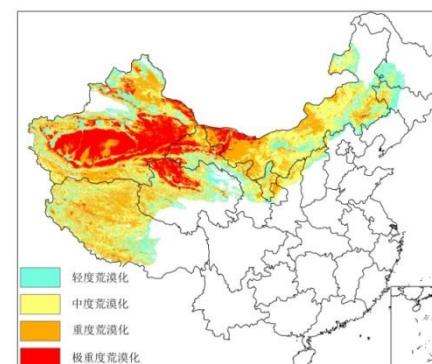
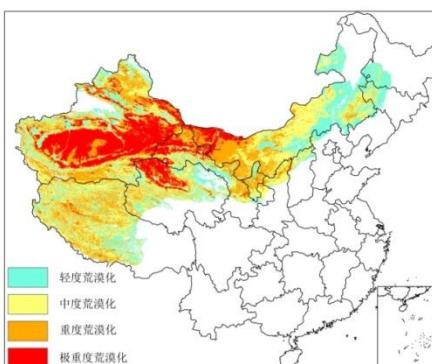
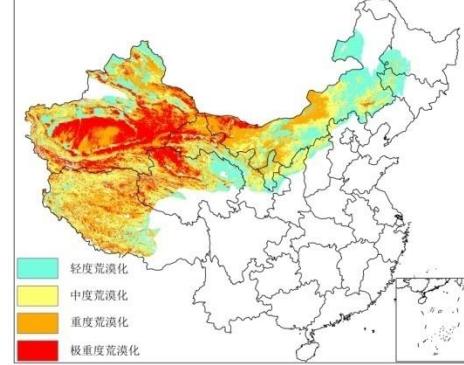
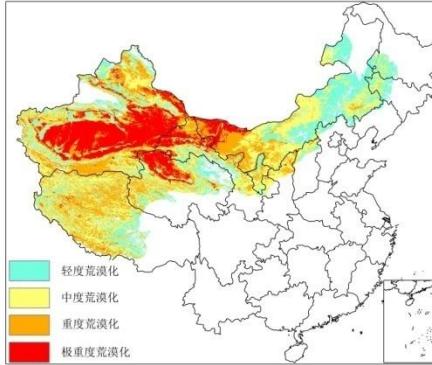
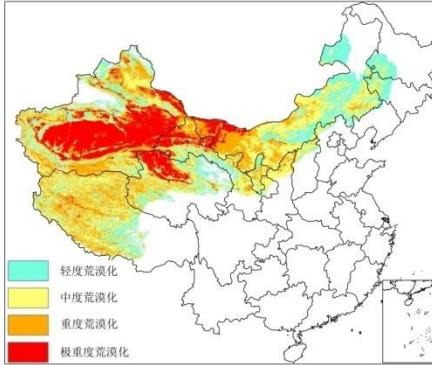
荒漠化程度确定：对各气候区计算 $MSAVI+FVC+LST+TDVI$ 得分和，利用决策树分类法进行荒漠化程度判定，若得分 ≤ 30 则判定为非荒漠化区；得分 $30-50$ 为轻度荒漠化区；得分 $50-70$ 为中度荒漠化区；得分 $70-90$ 为重度荒漠化区；得分 ≥ 90 为极重度荒漠化区



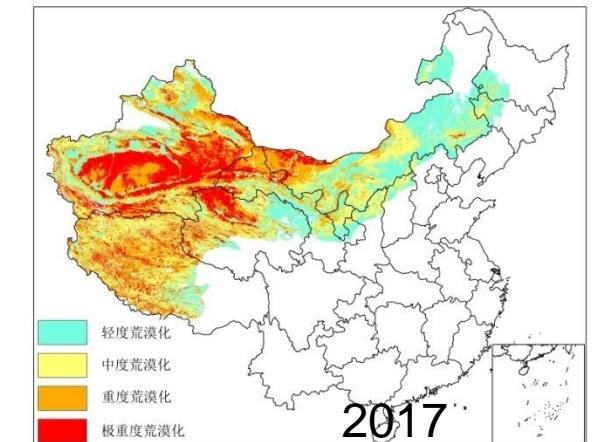
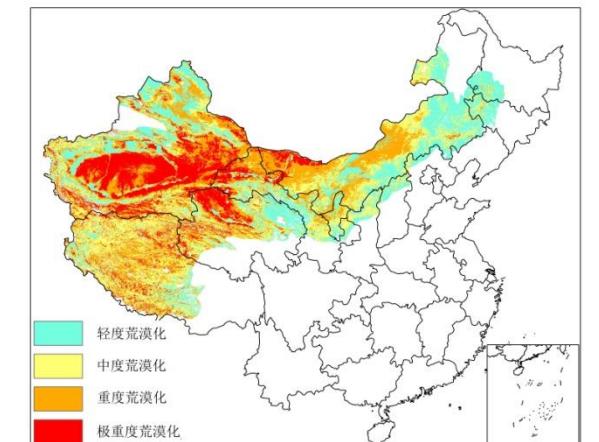
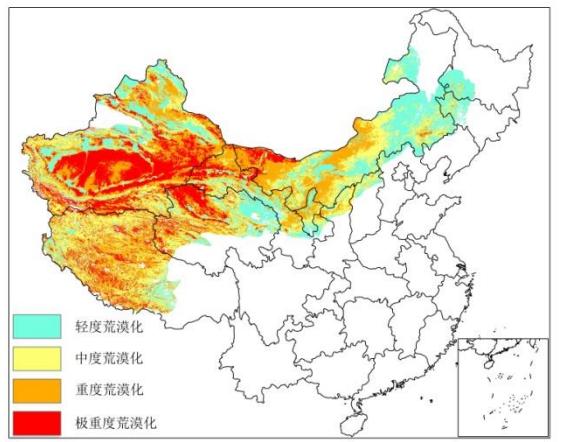
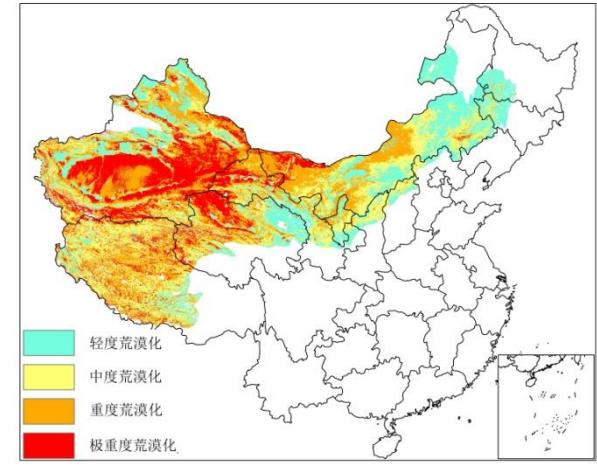
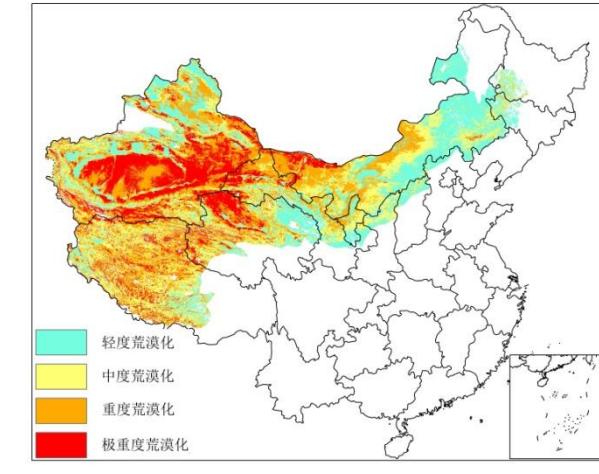
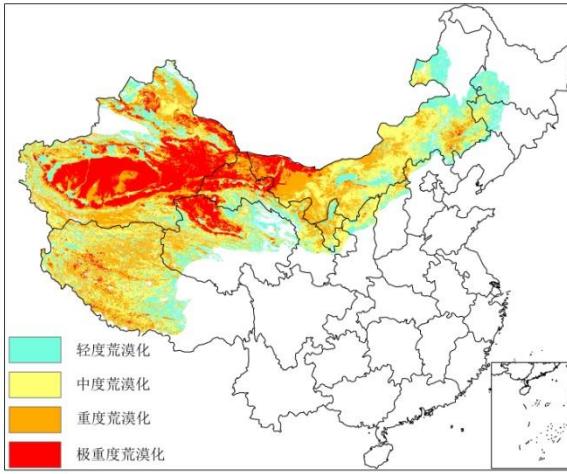
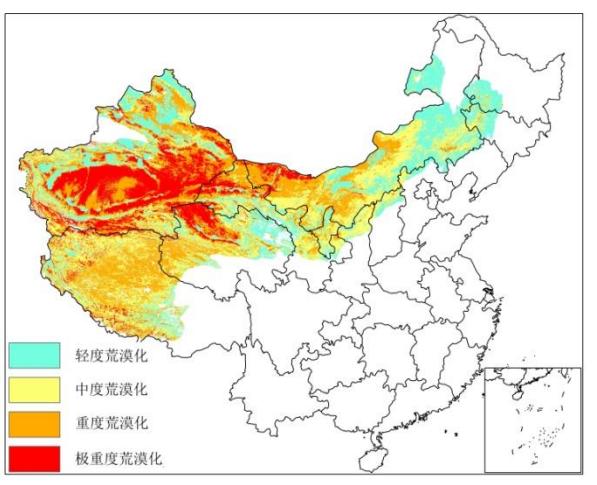
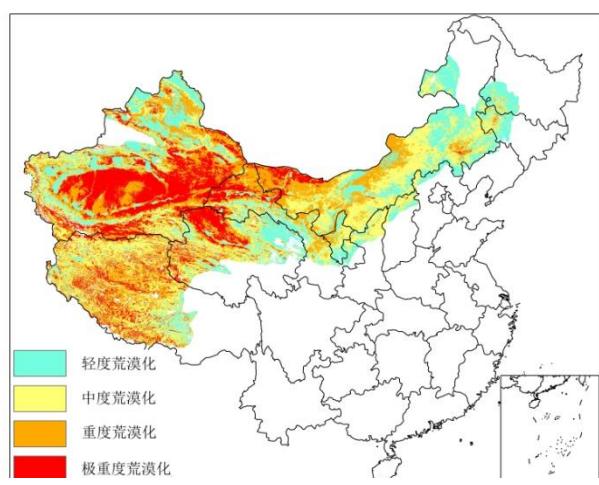
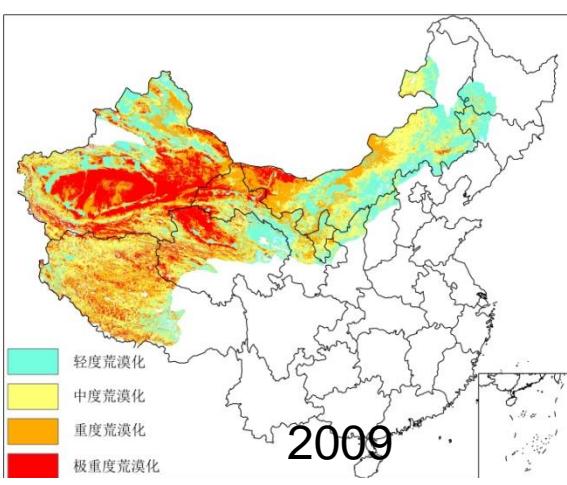
中国土地荒漠化监测结果



2001



2008



2、干旱区C遥感估算

□ 干旱区遥感估算：以遥感为基础方法主要有2种。（1）光能利用率模型：由于光能利用率模型将所有NPP调控因子以相对简单的方法组合在一起，并且这种观点提出了在计算NPP时可以直接利用遥感数据，使得其成为NPP模型的一个主要发展方向。植被固碳估算式：

$$E_i = T_i \times \delta_i \times C \quad (1)$$

式中： E_i ：第*i*种土地覆盖类型的固碳量，g； T_i ：第*i*种土地覆盖类型对应的土地面积，m²； δ_i ：第*i*种土地覆盖类型的净初级生产力，gCm⁻²·a⁻¹； C ：植被生物量与含碳量之间的转换因子为0.45^[4]。根据前人有

□ （2）自建Model：结合影像和地面样地调查数据，建立多元线性回归模型，估算地上部分碳储量。

背景-陆地生态系统生产潜力计算法

- 光能利用率模型:由于光能利用率模型将所有NPP调控因予以相对简单的方法组合在一起，并且这种观点提出了在计算NPP时可以直接利用遥感数据，使得其成为NPP模型的一个主要发展方向。当前，主要两个模型：**CASA**与**GLO-PEM**。

CASA模型情况

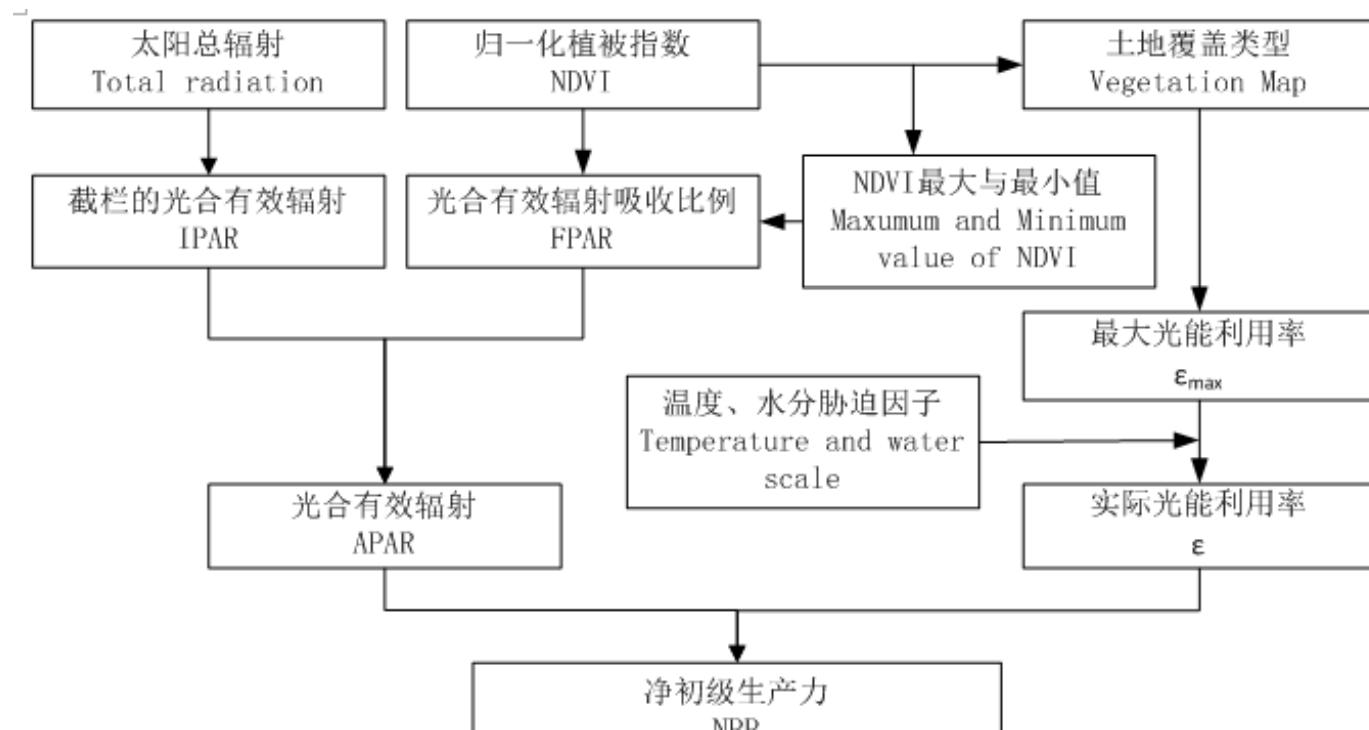
CASA模型属光能利用率模型，特点主要有：

- ◆模型结构比较简单，利用遥感数据可获取全区数据，可用于大尺度甚至全球范围的碳估计；
- ◆光合有效辐射的比例可通过遥感手段获取；
- ◆可以获取不同季节及年份的NPP适时数据。

当前，模型与遥感结合是碳循环研究的趋势，CASA是此类代表，该类模型已成为NPP估算的主要方向。

模型NPP计算过程

模型NPP估算均由植物光合有效辐射(APAR)和实际光能利用率(ε) 2因子表示，公式： $NPP(x,t) = APAR(x,t) \times \varepsilon(x,t)$
APAR(x,t)表示像元 x 在 t 月吸收的光合有效辐射($gC \cdot m^{-2} \cdot month^{-1}$)， $\varepsilon(x,t)$ 表示像元 x 在 t 月的实际光能利用率($gC \cdot MJ^{-1}$)。



光合有效辐射APAR的确定

APAR由植被所能吸收太阳有效辐射和植被对入射光合有效辐射吸收比例确定

$$APAR(x,t) = SOL(x,t) \times FPAR(x,t) \times 0.5$$

$SOL_{(x,t)}$ 是t月份象元x处的太阳总辐射量 (mJ/m^2)

$FPAR_{(x,t)}$ 为植被层对入射光合有效辐射 (APAR) 的吸收比例

常数0.5表示植被所能利用的太阳有效辐射 (波长为 $0.4\text{--}0.7 \mu\text{m}$) 占太阳总辐射的比例

$$\text{FPAR}_{(x,t)} = \min \left[\frac{\text{SR}_{(x,t)} - \text{SR}_{\min}}{\text{SR}_{\max} - \text{SR}_{\min}} \times 0.95 \right]$$

比值植被指数 SR_{\max} 的大小与植被类型有关
取值范围4.14–6.17

$$\text{SR}_{(x,t)} = [1 + \text{NDVI}_{(x,t)}] / [1 - \text{NDVI}_{(x,t)}]$$

光能利用率 ε 的估算

光能利用率指植被把所吸收的光合有效辐射APAR转化为有机碳的效率，主要受温度和水分影响，公式：

$$\varepsilon(x, t) = T_{\varepsilon 1}(x, t) \times T_{\varepsilon 2}(x, t) \times W_{\varepsilon}(x, t) \times \varepsilon_{\max}$$

$T_{\varepsilon 1}(x, t)$ 和 $T_{\varepsilon 2}(x, t)$ 表示低温和高温对光能利用率的胁迫作用；

$W_{\varepsilon}(x, t)$ 水分胁迫影响系数,反映水分条件影响; ε_{\max} 是理想条件下最大光能利用率($\text{gC} \cdot \text{MJ}^{-1}$)。

温度胁迫因子 $T_{\varepsilon1}(x, t)$ 、 $T_{\varepsilon2}(x, t)$ 估算

$$T_{\varepsilon1}(x, t) = 0.8 + 0.02 \times T_{opt}(x) - 0.0005 \times [T_{opt}(x)]^2$$

$T_{opt}(x)$ 植物生长最适温度，为某一区域一年内NDVI值达到最高时的当月平均气温($^{\circ}\text{C}$)；当某一月平均温度小于或等于 -10°C 时，值取0。

$$T_{\varepsilon2}(x, t) = \frac{1.184}{\{1 + \exp[0.2 \times (T_{opt}(x) - 10 - T(x, t))]\}} \\ \times \frac{1}{\{1 + \exp[0.3 \times (-T_{opt}(x) - 10 + T(x, t))]\}}$$

当某一月平均温度 $T(x, t)$ 比最适温度 $T_{opt}(x)$ 高 10°C 或低 13°C 时，该月 $T_{\varepsilon2}(x, t)$ 等于月平均温度 $T(x, t)$ 为最适温度 $T_{opt}(x)$ 时 $T_{\varepsilon2}(x, t)$ 值之半。

水分胁迫因子 $W\varepsilon(x,t)$ 估算

水分胁迫 $W\varepsilon(x,t)$ 反映植物所能利用的有效水分条件对光能利用率的影响,随环境有效水分增加而增大,取值范围0.5 (极端干旱条件)-到1 (非常湿润)

(朴世龙等,2001)

$$W\varepsilon(x,t) = 0.5 + 0.5 \times E(x,t)/Ep(x,t)$$

$E(x,t)$ 为区域实际蒸散量(mm), $Ep(x,t)$ 为区域潜在蒸散量(mm).

最大光能利用率 ϵ_{\max} 的确定

最大光能利用率 ϵ_{\max} 的取值因不同的植被类型而有所不同，在CASA模型中全球植被的最大光能利用率为0.389 g C·MJ⁻¹

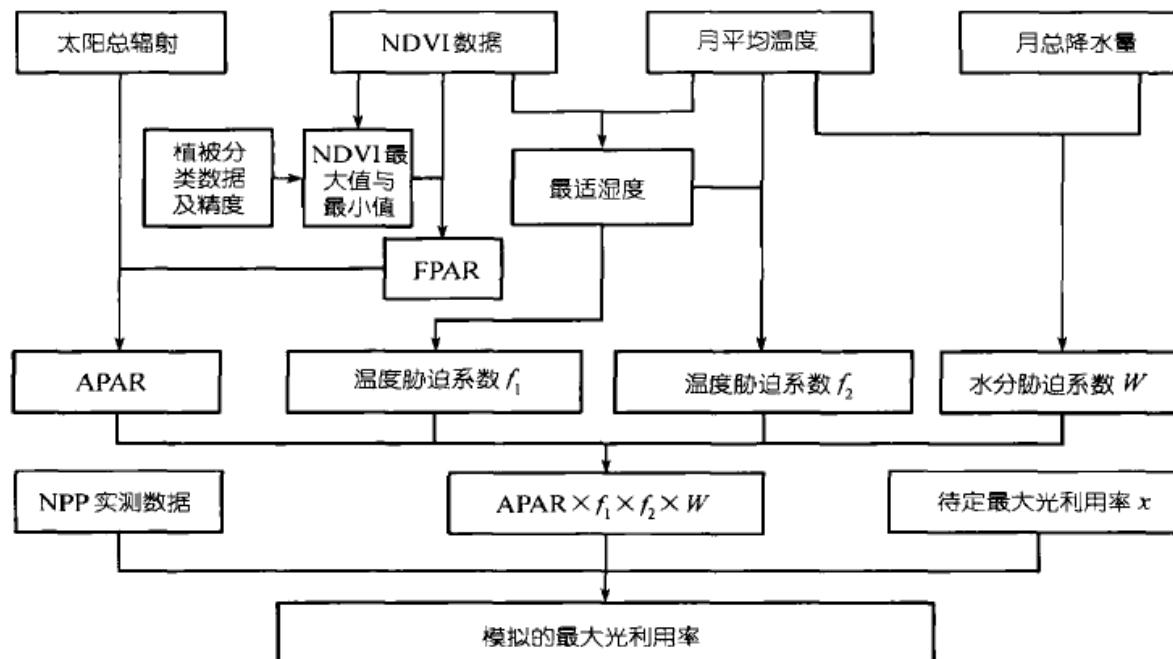
模型NPP计算缺点

- ◆ 植被最大光能利用率固定取值 0.389gC MJ^{-1} 。实际上，不同植被类型光能利用率存在很大差异，受温、水、土壤、个体发育等影响；
- ◆ 模型仅在计算入射光合有效辐射吸收比例FPAR，确定比值植被指数SRmax时，才考虑植被类型，不能揭示植被类型与NPP关系；
- ◆ 土地利用/覆盖分类采用欧盟联合研究中心结果，空间分辨率 1 km ，22个类，精度只有61.8%(朱文泉等, 2007)，分类未体现干旱区特点；
- ◆ 现用CASA, GLO-PEM，主要用于算宏观尺度NPP，用低空间分辨率遥感数据，对区域，精度不够。

修正模型，适应干旱区

1) 不同植被类型引入了不同最大光合利用率

方法：先计算所有像元APAR、温度和水分胁迫因子；然后，挑选研究区相同时间段NPP 实测数据；据误差最小原则，模拟各植被类型最大光能利用率。



修正模型，适应干旱区

得到实验区不同土地利用/覆盖(包括：耕地、林地、草地、建筑用地、水域、沼泽地、裸沙地、戈壁、风蚀劣地)最大光能利用率。

表 1 不同土地利用/土地覆盖类型的最大光能利用率

土地利用/土地覆盖类型	最大光能利用率	
耕地	0.604	模拟结果与CASA 模型所使用 (0.389) 存在差异，各类型统一用 0.389，显然不合适。
林地(含疏林、灌木)	0.774	
草地	0.380	
建筑用地	0.202	与现有学者研究结果一致
水域	0.296	(Running 等, 2000; 朱文泉等, 2004; 彭少麟等, 2000; 柳梅英等, 2010)。
沼泽地	0.357	
裸沙地	0.211	
戈壁	0.314	
风蚀劣地	0.327	

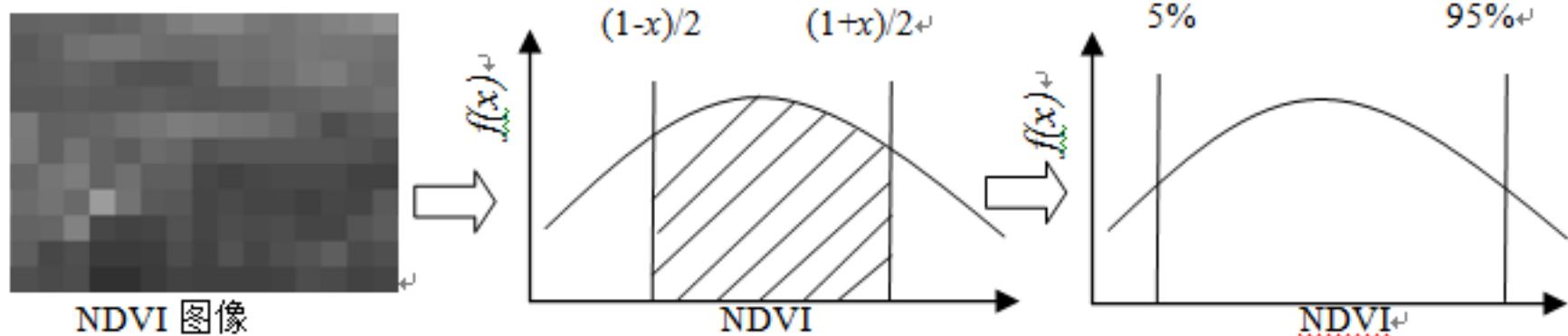
修正模型，适应干旱区

2) 考虑植被类型分类精度对NPP影响

将植被类型引入模型，考虑植被覆盖类型分类精度对NPP影响，由它们共同决定不同覆盖类型的NDVI最大值，获得各覆盖类型比值植被指数最大值，实现对FPAR估算。

修正模型，适应干旱区

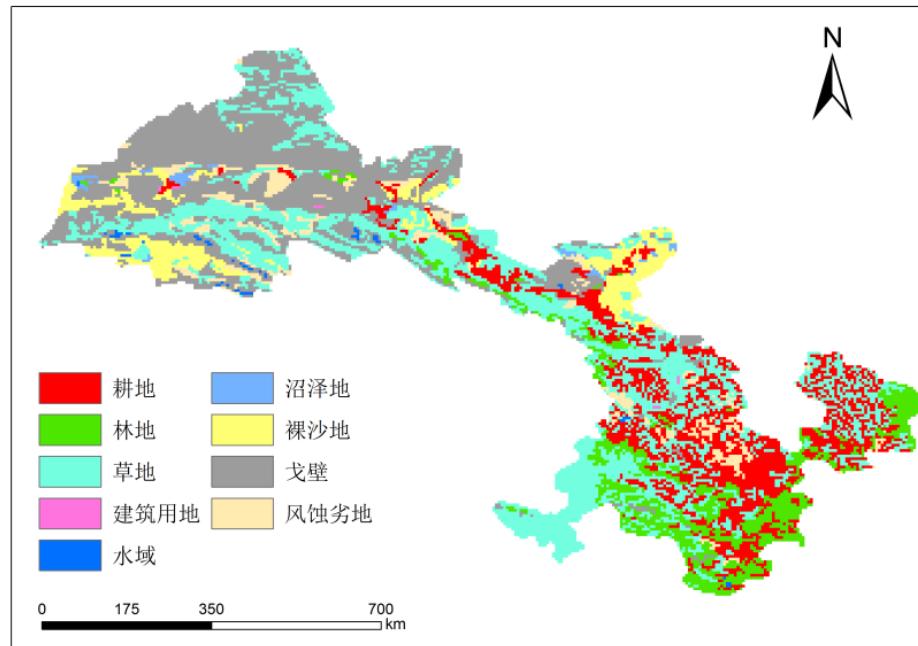
NDVI 最大值的确定，分三步：(i) 在0.0001间距下求各植被覆盖类型 NDVI 最大值概率分布；(ii) 根据植被分类精度 x , 在概率分布区间 $[(1-x)/2,(1+x)/2]$ 内选出该植被类型各个像元；(iii) 对选出像元再计算一次 NDVI 概率分布，该 NDVI 概率分布的 95% 下侧分位数所对应的 NDVI 值即为 NDVI 最大值，而 5% 下侧分位数所对应的 NDVI 值则代表 NDVI 最小值。 (i) 和 (ii) 实际上是消除植被分类所带来的误差，(iii) 取 95% 下侧分位数则在一定程度上消除了遥感影像噪声所带来的误差。



修正模型，适应干旱区

4) 未利用土地类型细分

以Landsat TM影像，在野外样地调查和地物光谱分析基础上，建立基于专家知识决策树分类模型，实现细分。依干旱区特点，将干旱区土地利用/覆盖类型划分为耕地、林地、草地、水域、建筑用地、沼泽地和未利用地（含风蚀劣地、裸沙地、戈壁等）。



修正模型，适应干旱区

5) 实验数据选择的精细化

- (A)遥感数据:当前多用MODIS,分辨率 $250*250m$,研究用TM $30*30m$
- (B)气象数据: 当前多用全国741个站数据, 点少, 精度不够。研究用全国 $1km*1km$ 网格模拟数据【基于PRISM(parameter-elevation regressions on independent slopes model) 建立起来的气候模型(Daly等, 2002), 采用2600多个气象站数据, 产生 $1km \times 1km$ 网格气候数据】，时间与影像配套。
- (C)DEM数据: 当前用 $90 \times 90m$,研究用 $30*30m$
- (D)土地利用/覆盖图: 现用欧盟联合研究中心结果, 数据为 1 km , 分22类, 分类精度只有 61.8% 。研究用TM分类结果, 精度近 90% 。

干旱区NPP计算

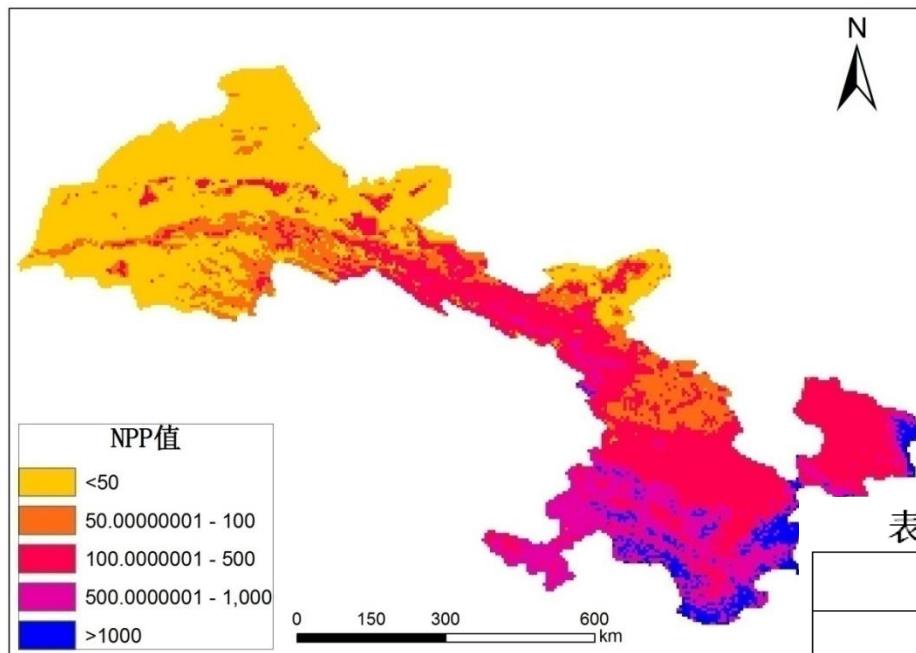
固碳量估算

植被固碳估算公式为（马长欣等, 2010; 柳梅英等, 2010）：

$$E_i = T_i \times \delta_i \times C$$

式中: E_i 为第 i 种土地覆盖类型的固碳量, g; T_i 为第 i 种土地覆盖类型对应的土地面积, m^2 ; δ_i 为第 i 种土地覆盖类型的净初级生产力, $gCm^{-2} \cdot a^{-1}$; C 为植被生物量与含碳量之间的转换因子为 0.45。

甘肃省2期NPP量



甘肃省2006年NPP

表 2006 年甘肃省各土地利用/覆盖类型的 NPP 量

类型	NPP 总量(10^3tC/年)
耕地	15255.62
林地(含疏林、灌木)	27314.64
草地	21398.73
建筑用地	18.37
水域	123.16
沼泽地	2.75
裸沙地	833.49
戈壁	3478.77
风蚀劣地	1409.14
各类型总和	69834.60

甘肃省2期NPP量

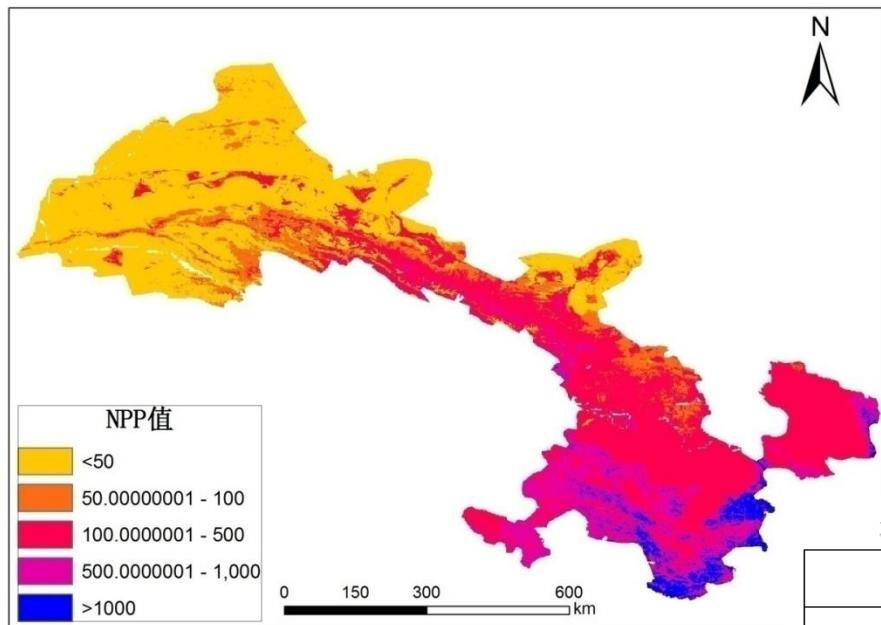
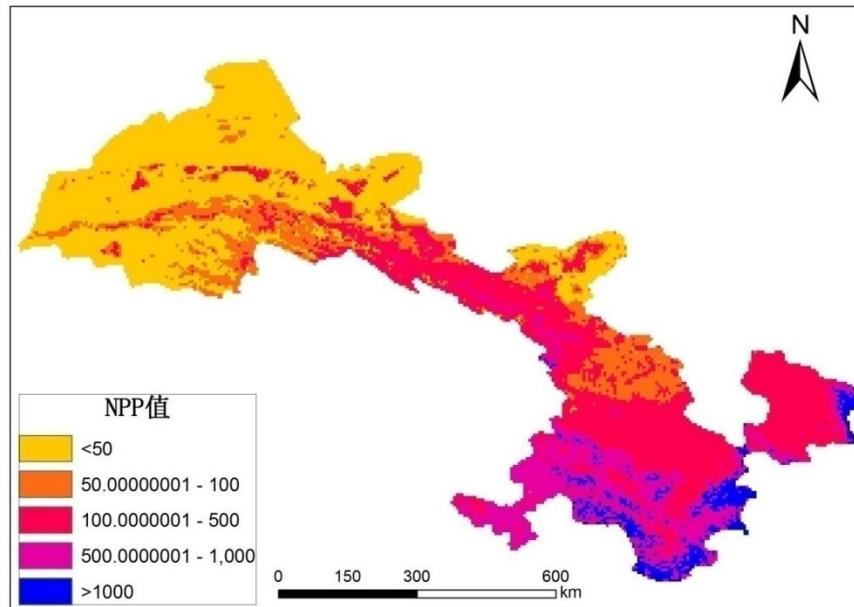


表 1996 年甘肃省各土地利用/覆盖类型的 NPP 量

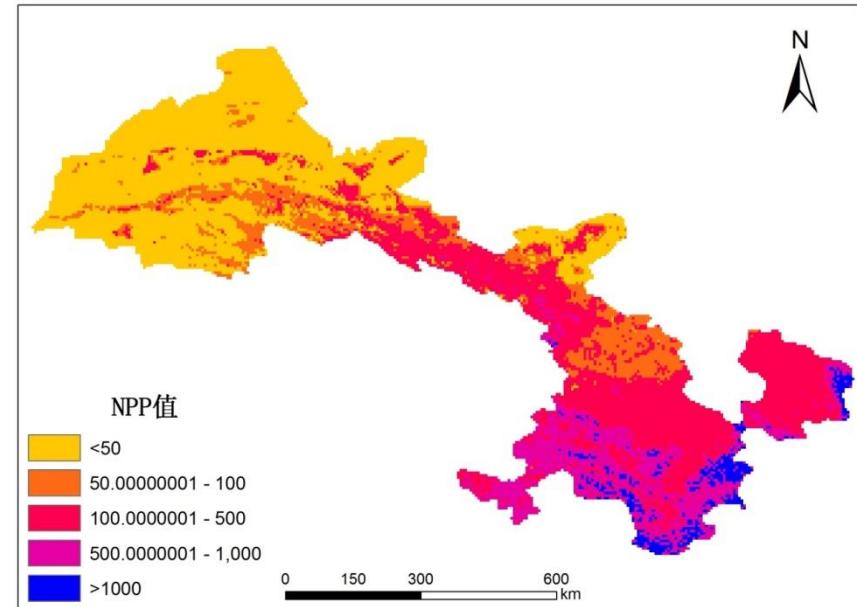
类型	NPP 总量(10^3tC/年)
耕地	13094.05
林地(含疏林、灌木)	18238.64
草地	22941.04
建筑用地	524.6014
水域	1919.51
沼泽地	1594.00
裸沙地	844.17
戈壁	5076.76
风蚀劣地	846.41
各类型总和	65079.18

气候变化对NPP影响

气候变化对甘肃NPP影响,用1976与2006年气象数据算甘肃NPP量



甘肃省2006年NPP(各类型总体)



甘肃省1976年NPP(各类型总体)

表 2006 年、1996 年与 1976 甘肃省各土地利用/覆盖类型的 NPP 量

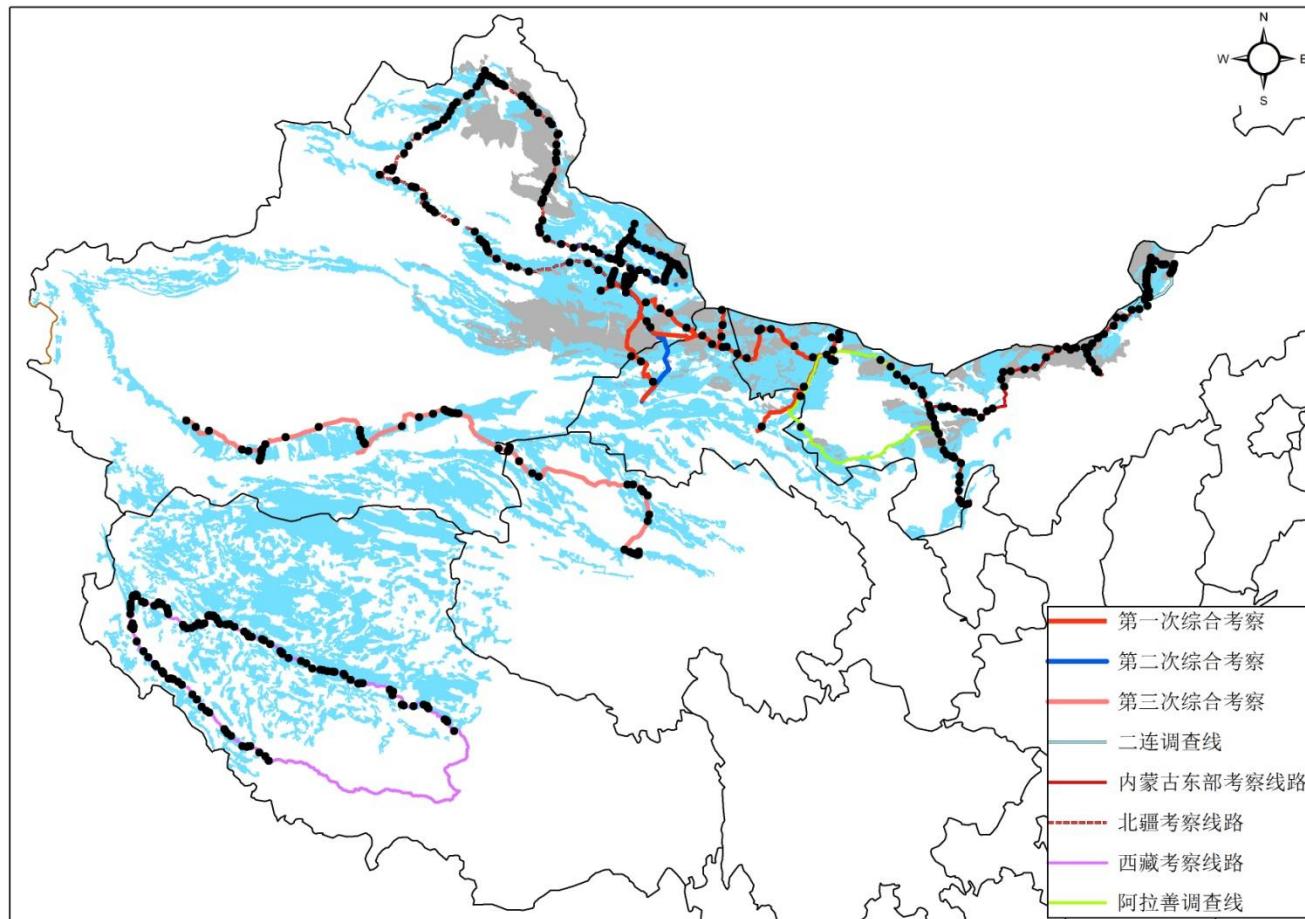
类型	NPP 总量(10^3tC/年)
各类型总和 2006	69834.60
各类型总和 1976	64261.72

3、制作完成中国戈壁分布图

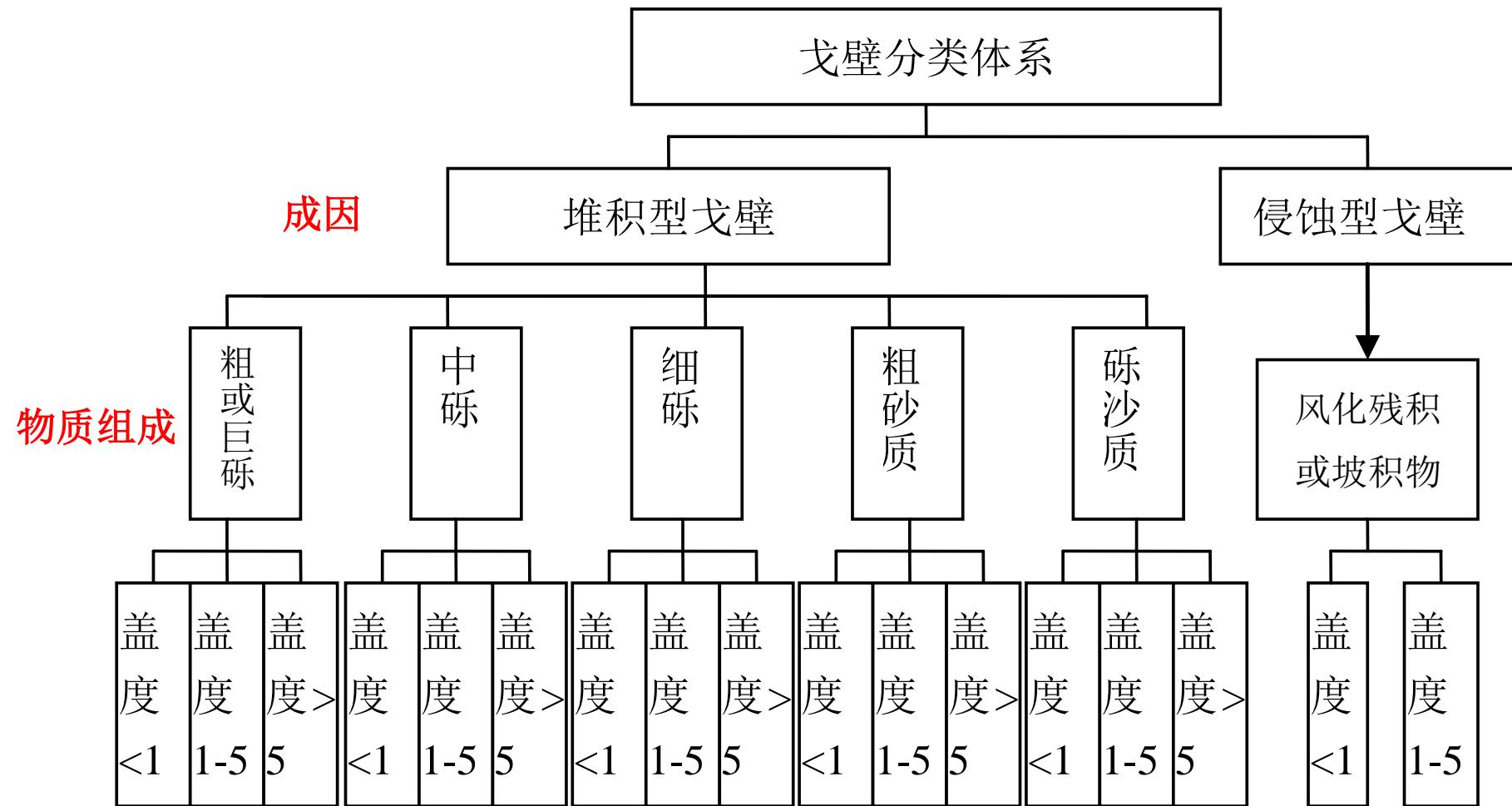
外业调查

从2011-2016年，组织4次多单位联合考察（2011、2012、2014、2016）；遥感专题调查：

- 1、阿拉善高原（2011）
- 2、新疆东部（2011）
- 3、二连浩特周边（2011）
- 4、哈密（2012）
- 5、玉门、瓜州（2012）
- 6、北疆（2014）
- 7、蒙古高原（2015）
- 8、西藏



戈壁分类基准-基于影像



戈壁类型的量化指标

表 1 戈壁地表物质粒径分级

Table 1 Grain size classification for gobi surface substance

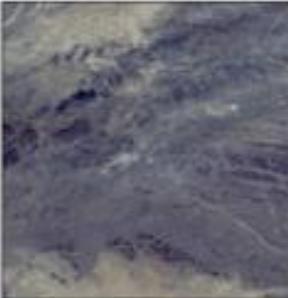
戈壁类型	粒径范围/mm (温德华分级)
粗砂质戈壁	1~2
细砾质戈壁	2~4
中砾质戈壁	4~64
粗砾或巨砾戈壁	>64

植被盖度分三层: <1%, 1-5%, >5%

不同戈壁类型影像特征

表 2 主要戈壁类型影像解译标识表^④

Table 2 Image interpretation label table for main gobi types^④

戈壁类 ^④	影像特征表述 ^④	解译标志 ^④	间接解译标志 ^④	照片对照 ^④
侵蚀型 戈壁 ^④	暗黑色或浅灰色，色调不均，纹理杂乱清晰，形状不规则，地势凸凹不平，边界线清晰。 ^④		多分布于低海拔山地丘陵 ^④	
堆积型 戈壁 ^④	深灰色，色调均匀，纹理明显，形状不规则，中间夹杂有浅白色干河谷，地势平坦。 ^④		地面平坦，坡度0.5°-7° ^④	
粗砾或 巨砾 ^④	深灰或深黑色，色调较均匀，中间夹杂有浅白色干沟谷，纹理明显，形状呈锥形，一般分布于山的出口处。 ^④		多分布于洪积扇顶端 ^④	

不同戈壁类型影像特征

中砾：图片、影像见堆积型戈壁

细砾质：灰白相间，色调较均匀，地势平坦，中间夹杂有浅白色干河谷，分布于地势低洼处。



在粗或巨砾下部，多分布于冲积平原区

处于中砾下部，多分布于地形较低盆地中心或接近湖、河区域



粗砂质：影像泛虚呈白色或灰白色，色调较均匀，地势平坦。



多分布于沙漠与戈壁过渡带



砾沙质：灰白相间，色调不均，分布于地势低洼处，周围一般有湖或干河谷。



在中砾下部，地势平坦，多分布于地形较低盆地中心或接近湖、河区域



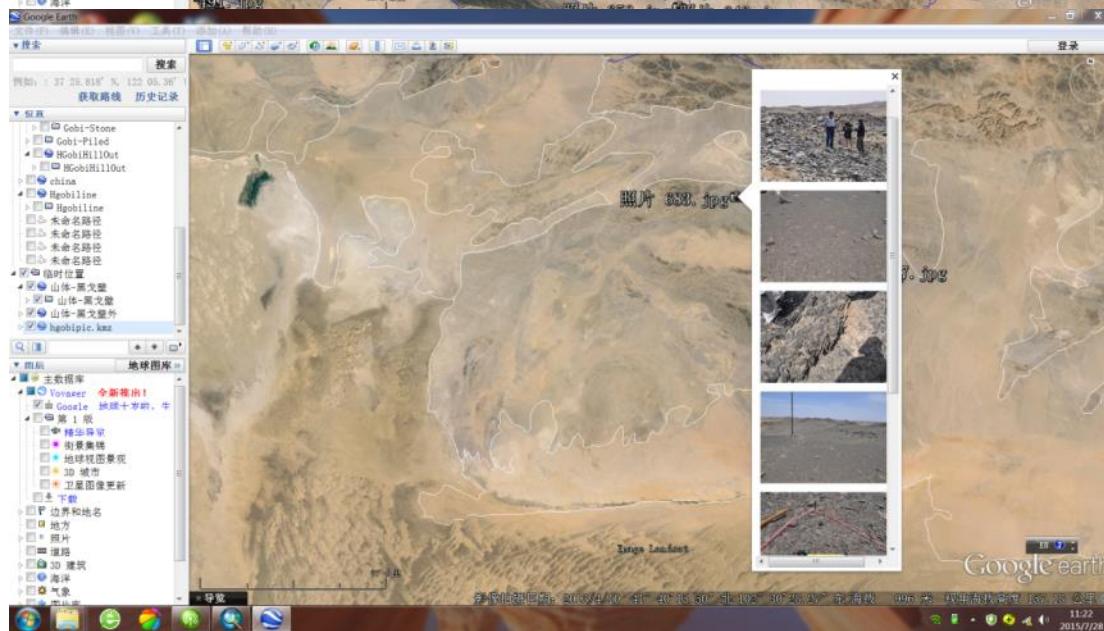
风化残积或坡积：图片、影像见侵蚀型戈壁

多分布于低海拔山地丘陵

《中国戈壁分布图》是遥感组一个重要产出，于2011年开始进行戈壁外业专项调查，直到2016年10月，历时6年，专题组足迹基本跑遍我国主要戈壁分布区，采用无人机、数码像机，结合**GPS**，拍摄了大量带地理坐标像片，通过与高分辨率卫星影像叠加，采用目识解译和自动解译相结合，编制完成。

《中国戈壁分布图》比例尺1:400万，使用宽幅A0印刷。制图范围包含除南海诸岛外的所有中国疆域，主要考虑戈壁的分布范围以及使读者直观了解戈壁在我国的分布区位。图属小比例尺全国性图件，主要反映我国戈壁的分布特点，揭示其形成环境。

编图制作方法---影像目识解译与自动分类结合

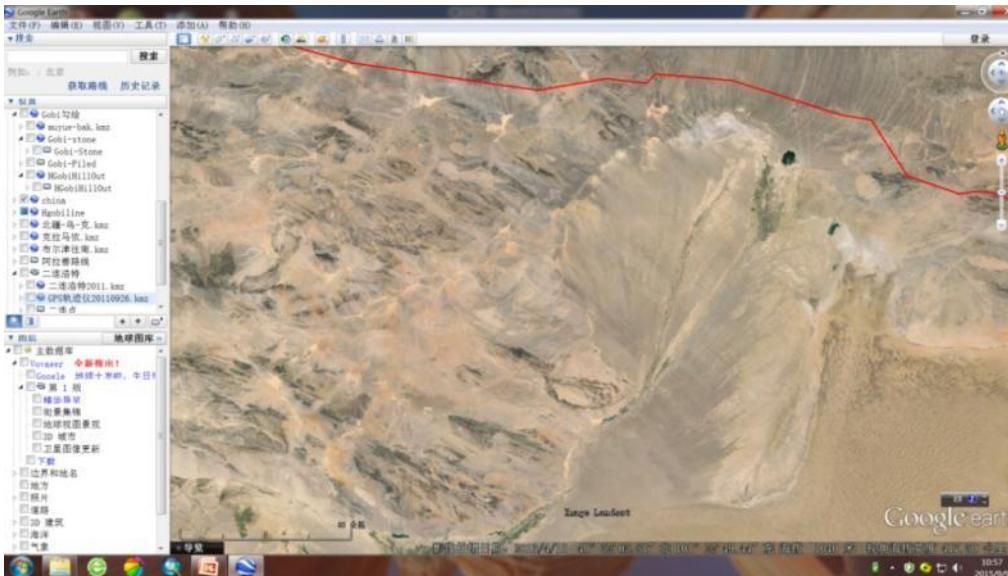
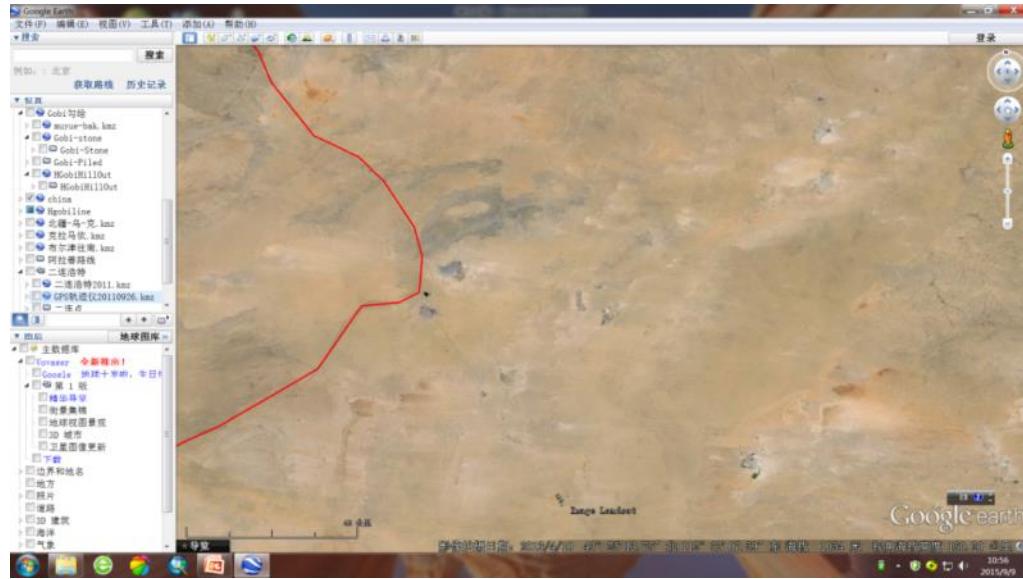


目识解译：

野外大量GPS照片
与高空间分辨率遥
感影像叠加，进行
手工戈壁类型勾绘

（主要分两大类：
侵蚀型戈壁与堆积
型戈壁）。

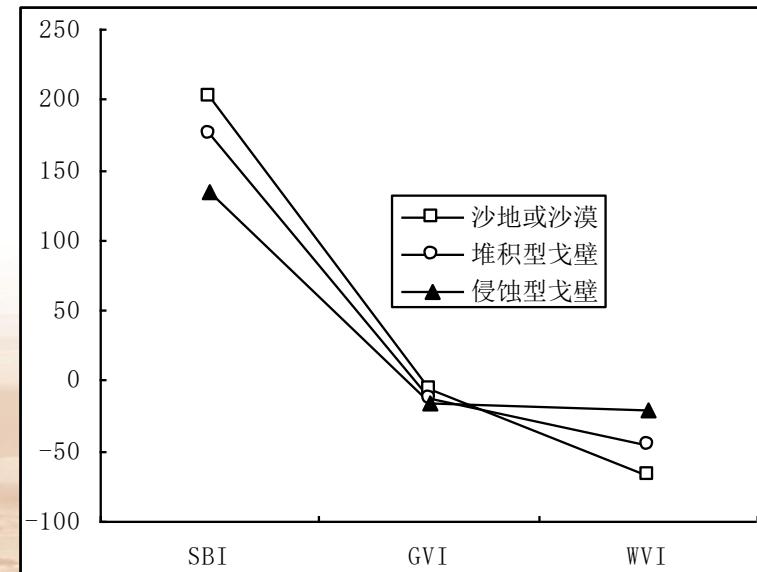
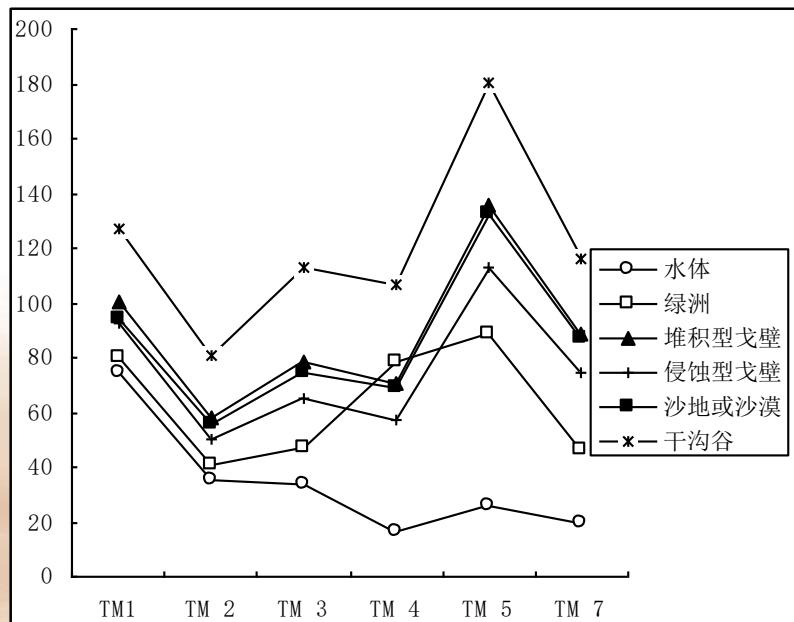
类型图制作方法---影像目识解译与自动分类结合



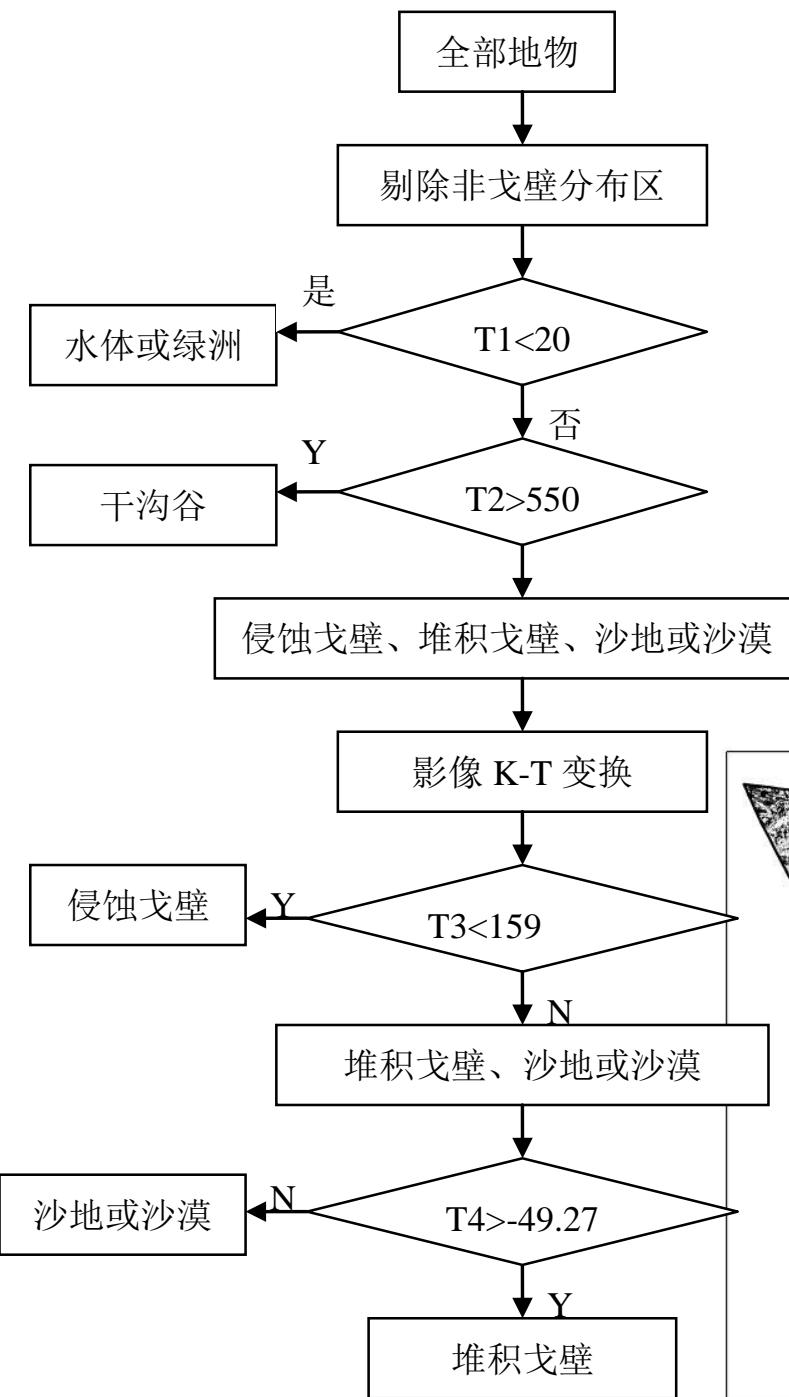
自动解译：对目识无法解译区域，如二连浩特周边过渡地带（沙地、草地与戈壁混杂），采用自动解译，然后结合目识别读。

戈壁信息影像识别与提取

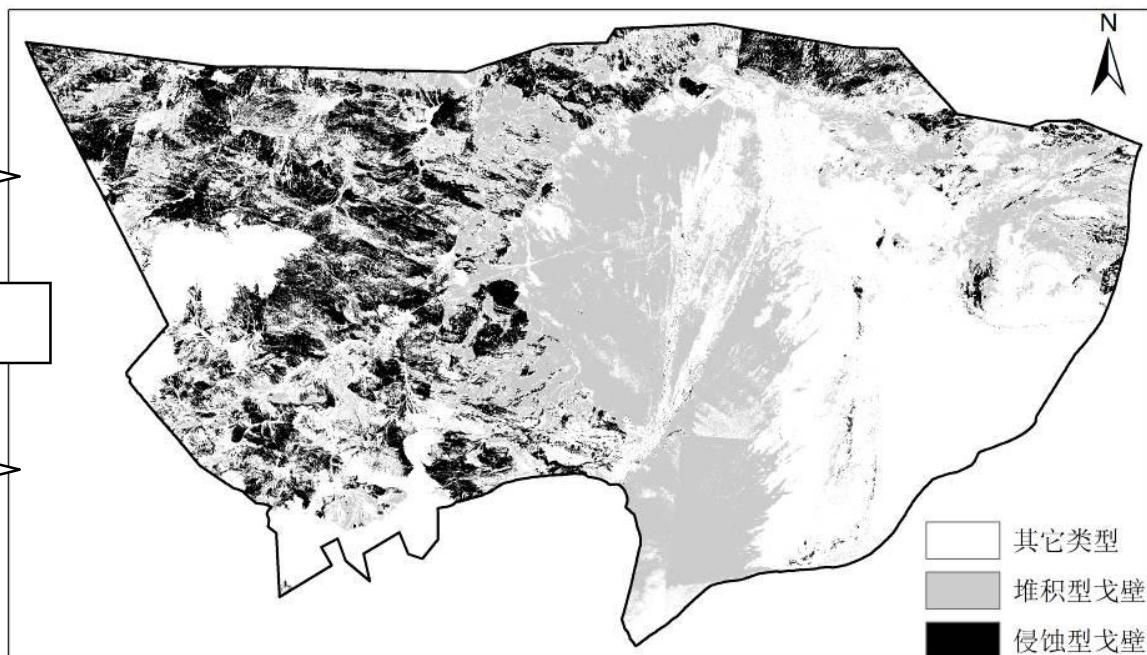
□ 基于决策树的戈壁信息提取：以Landsat TM遥感影像以及30 m DEM作为基本数据源，首先借助DEM数据，在GIS中，提取出非戈壁分布区，然后，在分析不同典型地物光谱特征基础上，建立基于知识的决策树信息提取模型，利用该模型实现了侵蚀型戈壁与堆积型戈壁信息的自动提取。



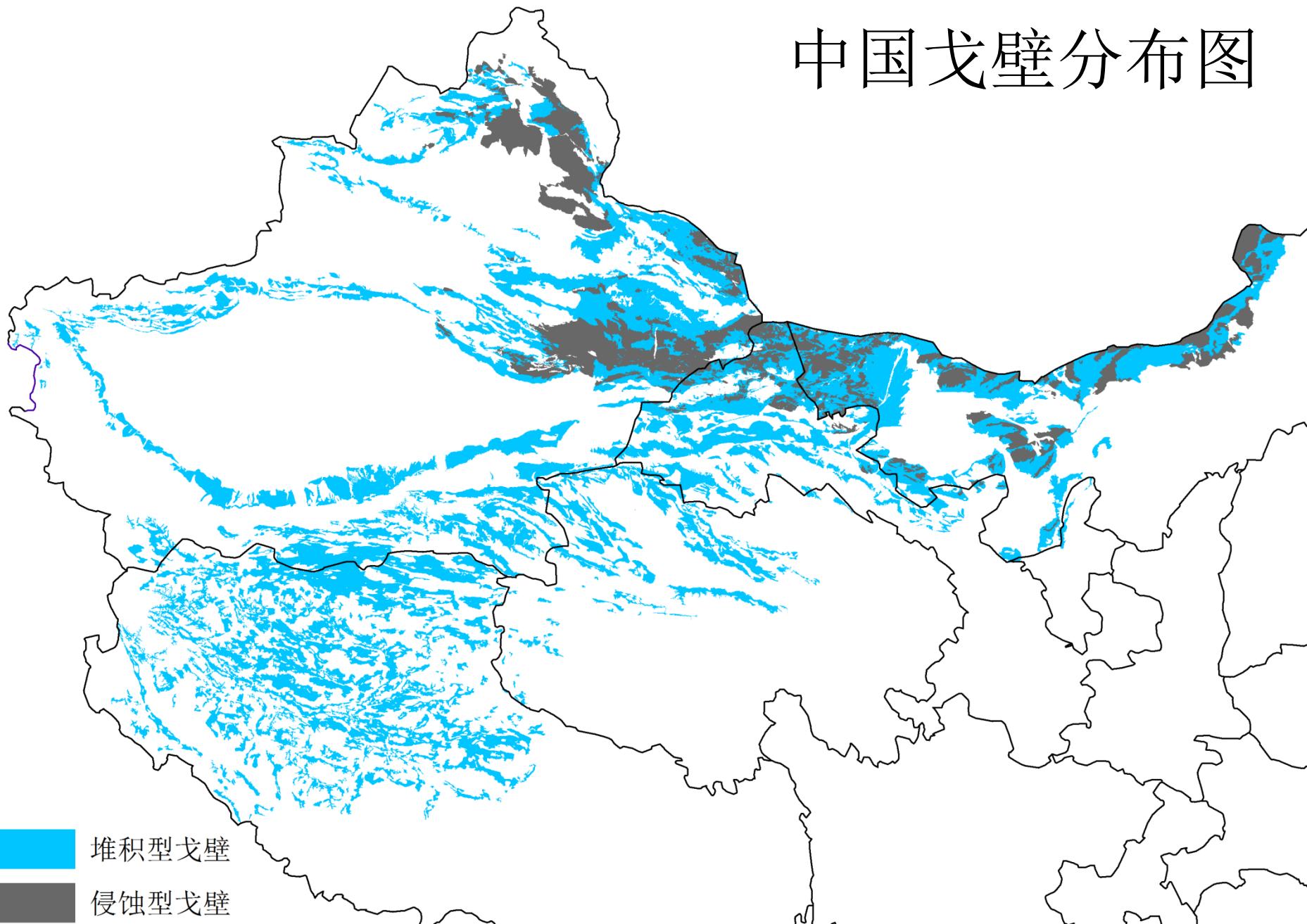
典型地物光谱分析



额旗总面积约8.52万平方公里，戈壁5.08万，占59.6%，其中堆积型3.14万，占戈壁面积的61.8%；侵蚀型占38.19%

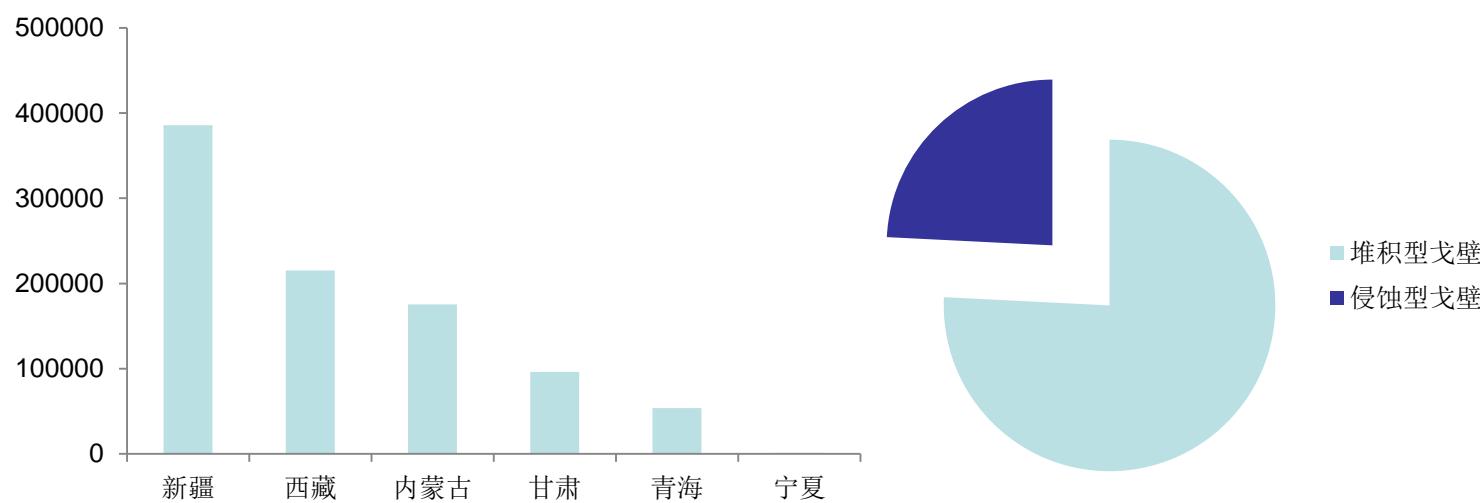


中国戈壁分布图



戈壁面积

行政区	总面积	堆积型戈壁	侵蚀型戈壁
新疆	385944.70	268766.98	117177.72
西藏自治区	215333.82	194666.44	20667.38
内蒙古自治区	175634.13	105722.48	69911.65
甘肃	96407.59	79732.84	16674.75
青海	53663.23	53414.32	248.91
宁夏	1154.50	1154.50	0
全国戈壁总面积	928137.97	703457.56	224680.41



厘清了我
国及各省2
大类戈壁
面积及其
分布。

戈壁面积

表 4 全国戈壁面积统计及出处

单位：万平方公里

面积万 km ²	出处
63.7	中科院冰川冻土沙漠所 1974 编中国沙漠分布图
75.7	中科院兰州沙漠所 1979 编中国沙漠图
57	朱震达 1980《中国沙漠概论》
45.8	赵松乔等 1985《中国干旱区自然地理》
71.1	林业局第一次荒漠化监测 1994
66.4	林业局第二次荒漠化监测 1999
66.2	林业局第三次荒漠化监测 2004
66.1	林业局第四次荒漠化监测 2009

给出戈壁面积波动起伏大（45.8-71.1万km²），戈壁演替漫长，从给出时间看，相差40年，目前给出的戈壁面积可能不准确，另外，现有面积统计均未考虑西藏。原因：可能是迄今为止对戈壁都没有进行过全面调查，统计标准不一，且现有统计只是全国荒漠化调查副产品，无从确定面积真实值。此外，给出的面积是一个总体统计结果，没有分类型。

4、戈壁表面砾石粒径遥感反演

野外实验

无人机2架，哈密天山南麓洪积扇航拍，采集样线及样方戈壁面航片及地形数据。实验区海拔变化从850米到1800米，每隔高差50米内设置两个到三个飞行区域，控制每个飞行区域的航线在1000米以内，总共40个飞行区域。



图 6 飞行总路线

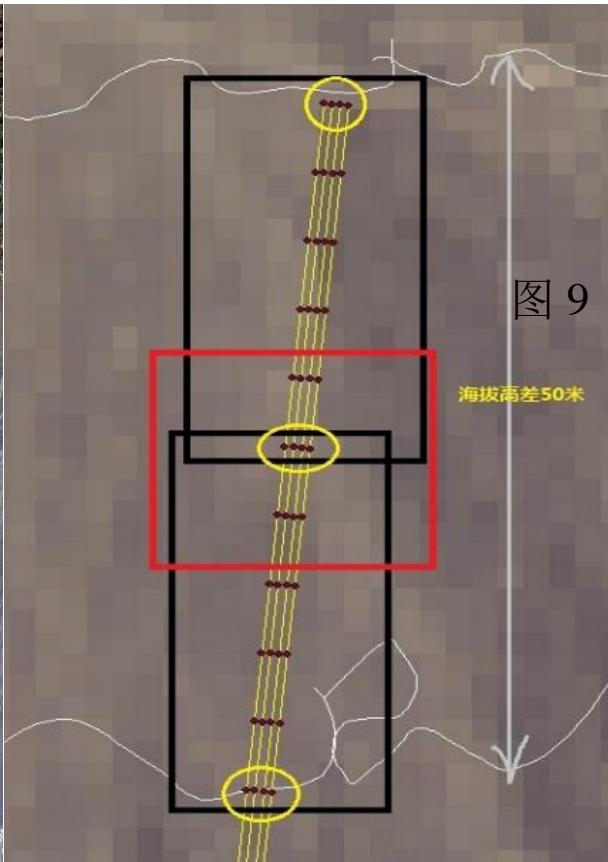


图 7 两个连接的飞行小区

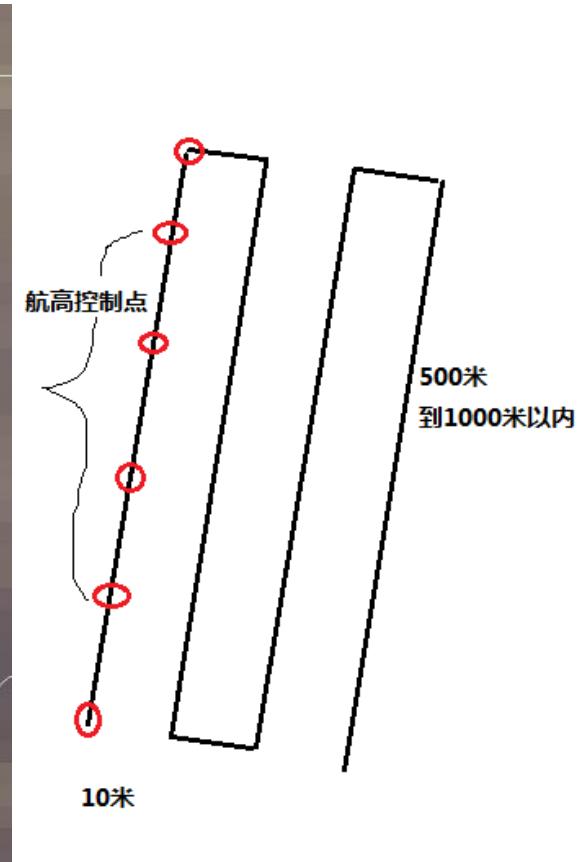


图 8 单个飞行小区飞行路线

地面实验

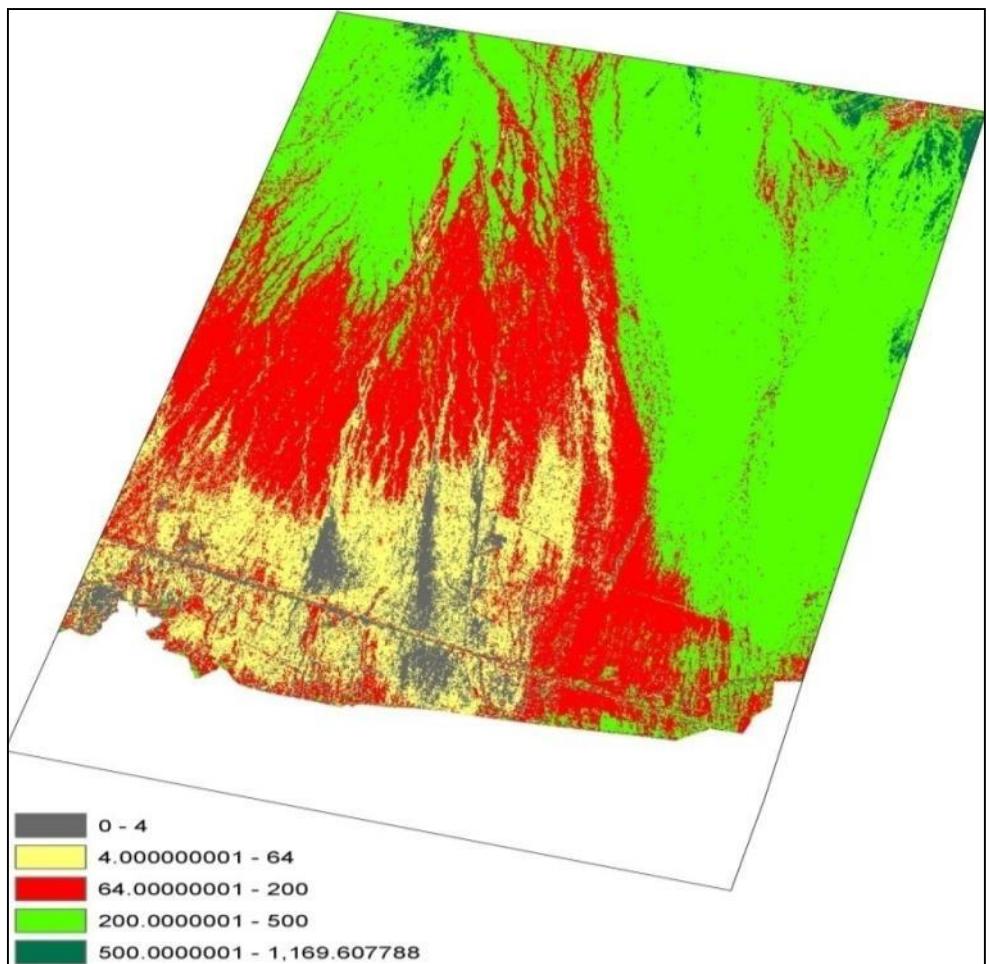
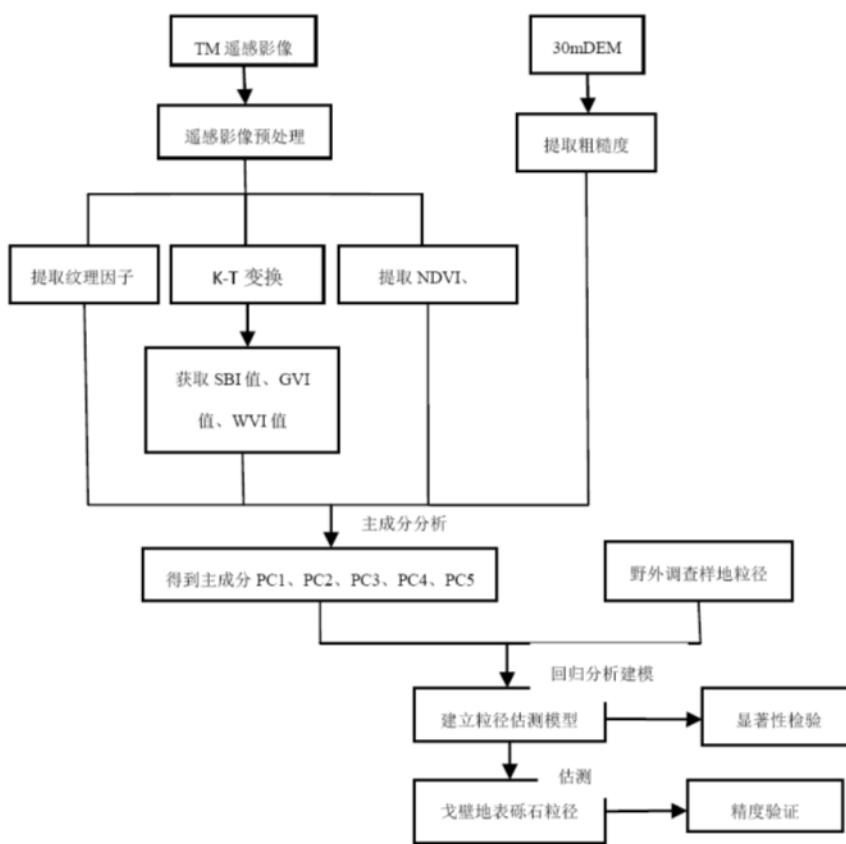
无人机2架，哈密天山南麓洪积扇航拍，采集样线及样方戈壁面航片及地形数据。实验区海拔变化从850米到1800米，每隔高差50米内设置两个到三个飞行区域，控制每个飞行区域的航线在1000米以内，总共40个飞行区域。



图9 无人机飞行与地面配合实验

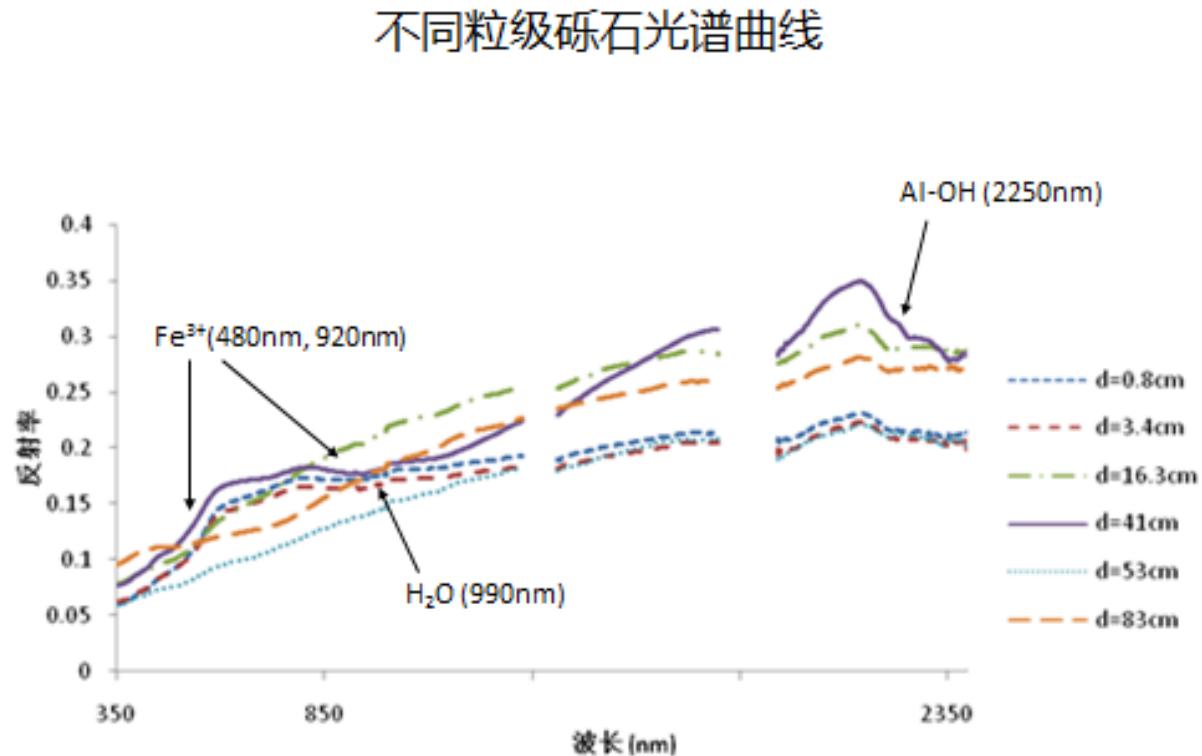
(A) 基于可见光影像数据的戈壁表面砾石粒径反演

采用TM数据，主成分分析筛选影响戈壁粒径估计因子，构建戈壁表面砾石粒径遥感反演模型，初步实现粒径估测。研究为改造利用，认识沙粒迁移、沙漠扩展提供支持。



(B) 基于高光谱影像数据的戈壁表面砾石粒径反演

- 高光谱影像数据为E0-1经过辐射校正L1R产品。野外地物光谱资料是美国ASD全波段野外光谱仪(350~2500nm)测量得到。采样间隔为1 nm, 取10条光谱进行算术平均。



5、沙尘暴监测

沙尘天气分类与基本概念

- ◆ 沙尘天气分为：浮尘、扬沙、沙尘暴、强沙尘暴。
- ◆ 沙尘天气是大气中的现象，用气象要素能见度等来界定。

研究现状

技术研究

- 利用沙尘粒子的光谱辐射特性（可见光的纹理颜色和红外温度），**图像分类**识别沙尘信息，云，地表（神经网络、SVM）
- 利用热红外波段进行地表、云层、沙尘亮温测算，分离沙尘暴信息
- **气溶胶光学厚度反演**得到大气含尘量（针对海面上空效果较好）
- **下垫面参数计算**，定性分析与沙尘暴形成演化间的关系

标准规程

- 沙尘暴监测评估标准：《GB-T 20480-2006 沙尘暴天气等级》

其他现有系统

- 亚洲沙尘暴业务预报系统CUACE_DUST（中国国家气象局）
 - 128核小型机
 - 大中时间（24小时）和空间尺度（10KM以上）模拟

数据及来源

遥感数据

卫星传感器	开始时间	空间分辨率 m	光谱区间 μm	波段数	时间周期	当前可用性
NOAA/AVHRR	1979	1000	0.58~12.5	5~6	6h	○
EOS/MODIS	1999	250-1000	0.4~14.3	36	6h	◎
GMS/VISSR	1995	1250-5000	0.55~12.5	4	0.5~ 1h	—
FY-1C/AVHRR	1999	4000	0.43~12.5	5- 10	1h	—
Landsat/ETM	1970	30	0.4~2.5	7	1-30day	○

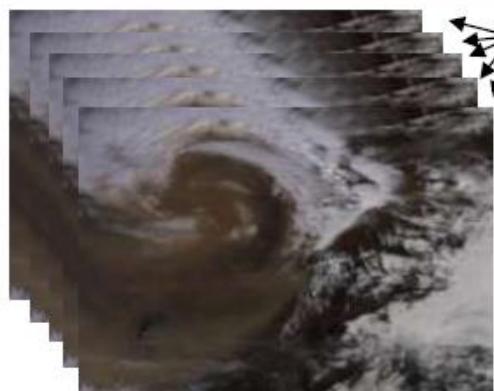
* 以上数据均可免费下载使用

地面监测数据

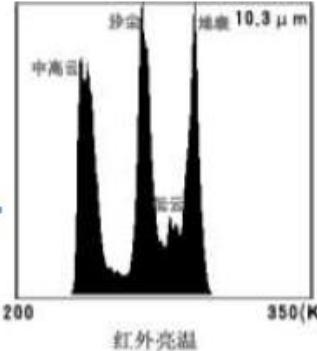
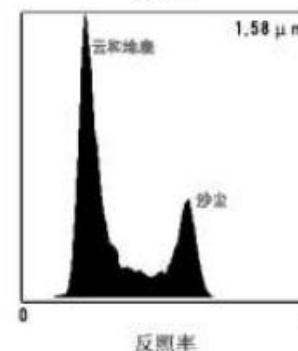
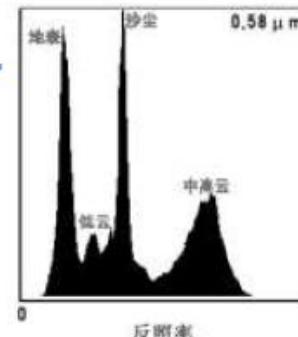
风速、温度、能见度、沙尘浓度等。（由CAF提供）

沙尘空间分布范围提取

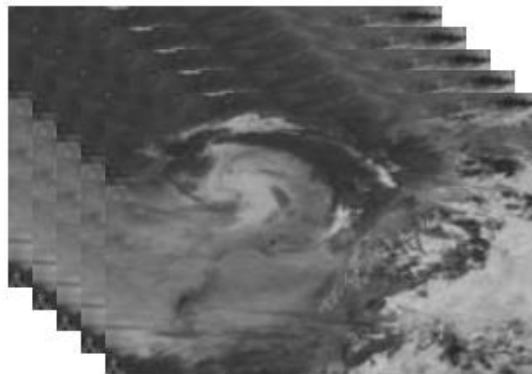
基于大气中沙尘、云团以及地物在高光谱遥感影像中（可见光、红外、热红外波段）的光谱特性对沙尘暴进行识别提取和分析。



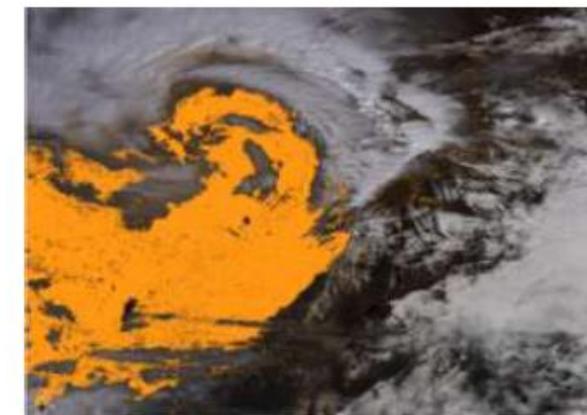
0.65μm
3.75μm
8.5μm
11μm
12μm



Modis (主要使用5个波段数据)



$0.16 < \text{Ref}(0.65\mu\text{m}) < 0.4$
 $305\text{K} < \text{BT}(3.75\mu\text{m}) < 325\text{K}$
 $\text{BT}(3.75\mu\text{m}) - \text{BT}(8.5\mu\text{m}) > 20\text{K}$
 $\text{BT}(12\mu\text{m}) - \text{BT}(11\mu\text{m}) > 0$
 $\text{BT}(11\mu\text{m}) < 290\text{K}$



沙尘空间分布范围

反射率 Reflectance (Ref)

亮度温度 Brightness temperature (BT)

沙尘能见度分析（数据选择）

建立遥感影像信息与能见度的对应关系

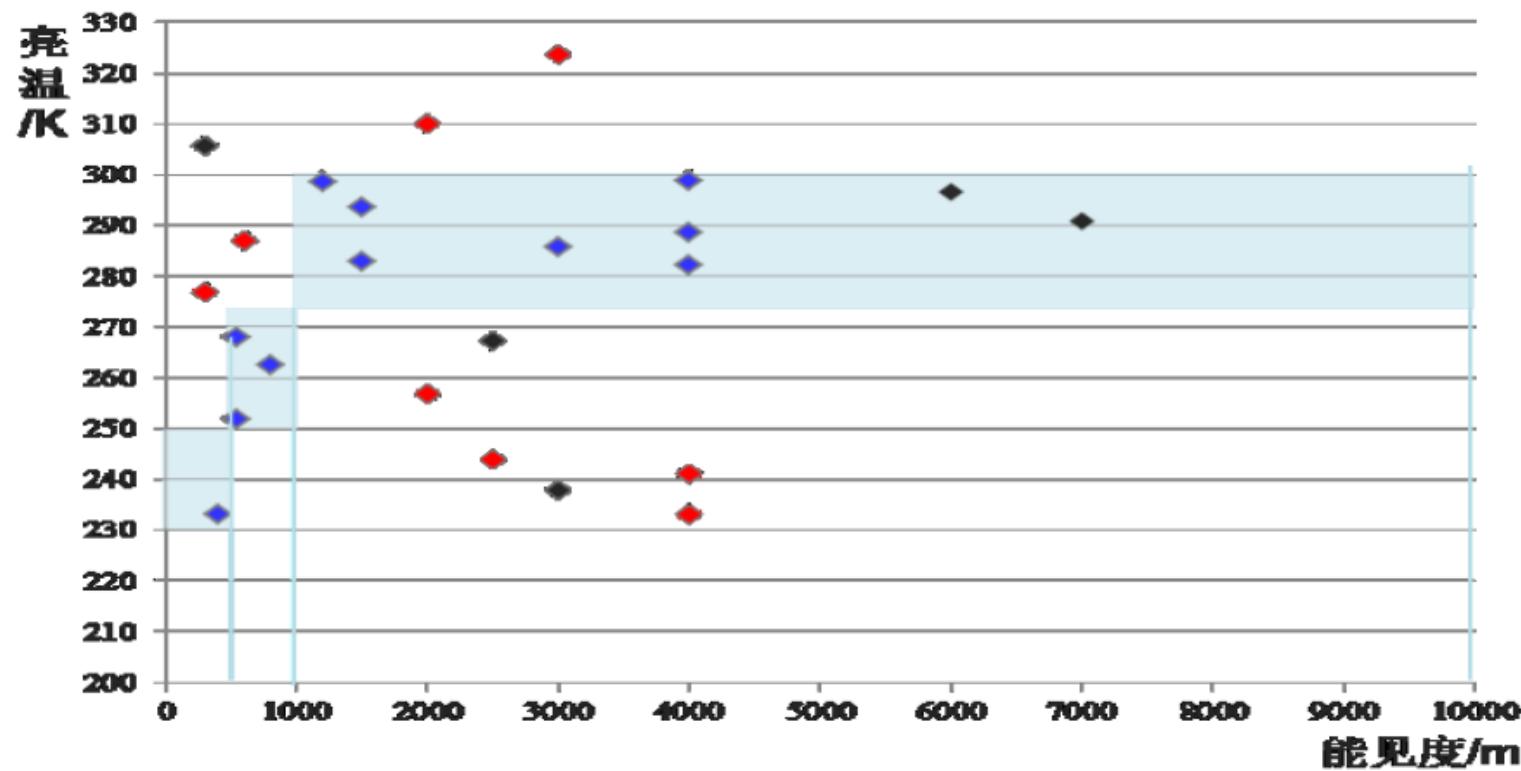
(CAF/沙林中心)

MODIS数据

时间	能见度	水蒸气含量	卷云反射率	云顶温度	云顶气压	云顶气压_IR	B1_Ref	B6_Ref	T3.75	T3.75-T8.5	T11	T12	
20090423	550	281	184	11860	7325	7681			317.508	271.276	267.857	272.956	good
20090430	400	280	1103	7343	2575	3205	0.3883	0.2353	271.321	237.099	233.117	231.969	good
20100319	550	472	358	10124	5133	5579	0.2887	0.1815	278.546	255.263	251.811	250.129	good
20100427	2000	-9999	813	10891	6322	6725	0.7321	0.5602	312.212	256.233	256.895	256.729	error
20100506	300	912	44	0	0	0	0.1816	0.2882	321.735	301.874	305.723	305.991	invalid
20100330	3000	502	105	13218	8799	8799	0.2165	0.2999	313.235	282.53	285.848	288.152	good
20100508	1500	712					0.2106	0.3091	318.157	292.466	293.529	295.184	good
20101110	300	481	51	12571	8289	8335	0.1464	0.2108	305.657	277.357	276.879	278.416	error
20110313	2500	203	756	7524	3170	3642	0.2658	0.1952	275.312	247.62	243.94	242.832	error
20110317	1500	498	281	10925	6270	5867	0.1886	0.3229	304.294	277.834	283.018	279.953	good
20110331	1200	852	51	10251	4719	7032	0.1812	0.2872	317.154	293.36	298.535	297.143	good
20110706	800	453					0.2654	0.1869	283.474	263.562	262.434	260.122	good
20120322	600	614	81	12392	8346	8666	0.1618	0.2607	308.395	285.199	287.064	287.52	error
20120401	4000	90	731	6754	2647	3442	0.2792	0.2123	279.058	248.298	241.175	244.082	invalid
20120410	4000	865	72	12944	8135	8238	0.2357	0.3077	316.822	279.919	282.188	283.955	good
20120422	6000	743	54	0	0	0	0.193	0.288	315.099	295.844	296.653	297.174	invalid
20120426	3000	623	46	13695	8282	8550	0.2137	0.2806	317.798	294.65	323.683	299.044	error
20120506	2000	2076	9	11896	5917	6429	0.1902	0.3078	325.197	305.31	310.034	308.856	error
20120520	4000	1158	180	8770	2937	7432	0.2216	0.3315	322.234	298.065	298.782	296.516	good
20120706	3000	117	1152	0	0	0	0.4132	0.1791	264.337	235.267	237.891	231.647	invalid
20121127	2500	132	227	0	0	0	0.1376	0.1806	298.05	266.177	267.328	267.428	invalid
20130307	4000	936	46	12793	7613	8617	0	0.2472	308.574	286.074	288.617	290.386	good
20130407	4000	645					0.1874	0.2967	313.605	288.508	233.117	231.969	error
20130414	7000	645	71	0	0	0	0.1787	0.2975	313.605	286.499	290.9	291.204	invalid

沙尘能见度分析（模型反演）

- 建立能见度与波长为 $11\mu\text{m}$ 的热红外波段的亮度温度值的对应关系
- 分别用指数、对数、线性、二次多项式、幂函数拟合，最后选用分段函数

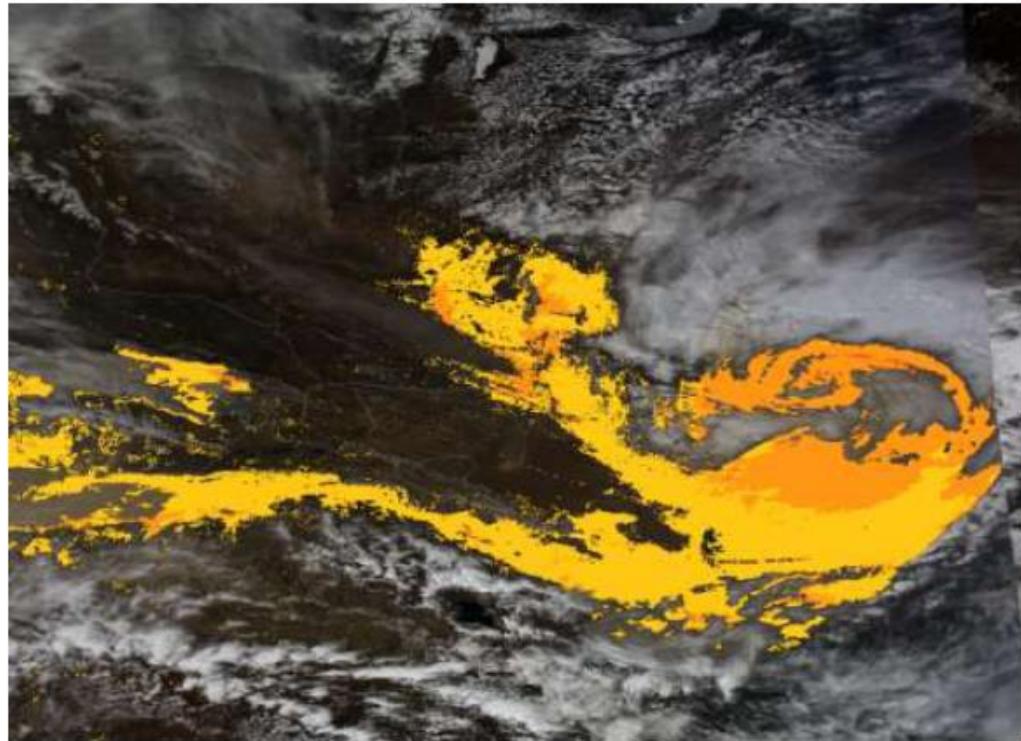


能见度--亮温 ($11\mu\text{m}$ 波段) 对应关系:

$$L_{\text{vis}} = \begin{cases} \geq 1 \text{ km} & 275 \leq T(11) \\ 0.5 \sim 1 \text{ km} & 250 \leq T(11) < 275 \\ < 0.5 \text{ km} & T(11) < 250 \end{cases}$$

沙尘暴等级划分

等级	能见度	图例
浮尘	$\geq 10\text{km}$	
扬沙	1~10km	
沙尘暴	0.5~1km	
强沙尘暴	<0.5km	
特强沙尘暴	<50m	



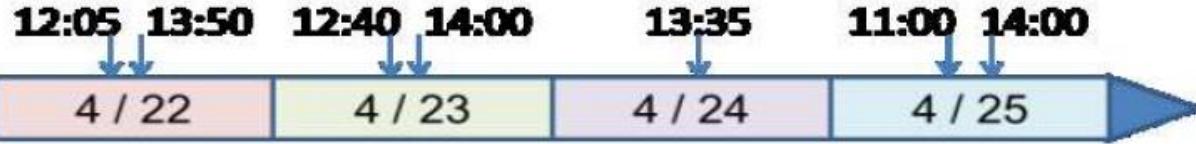
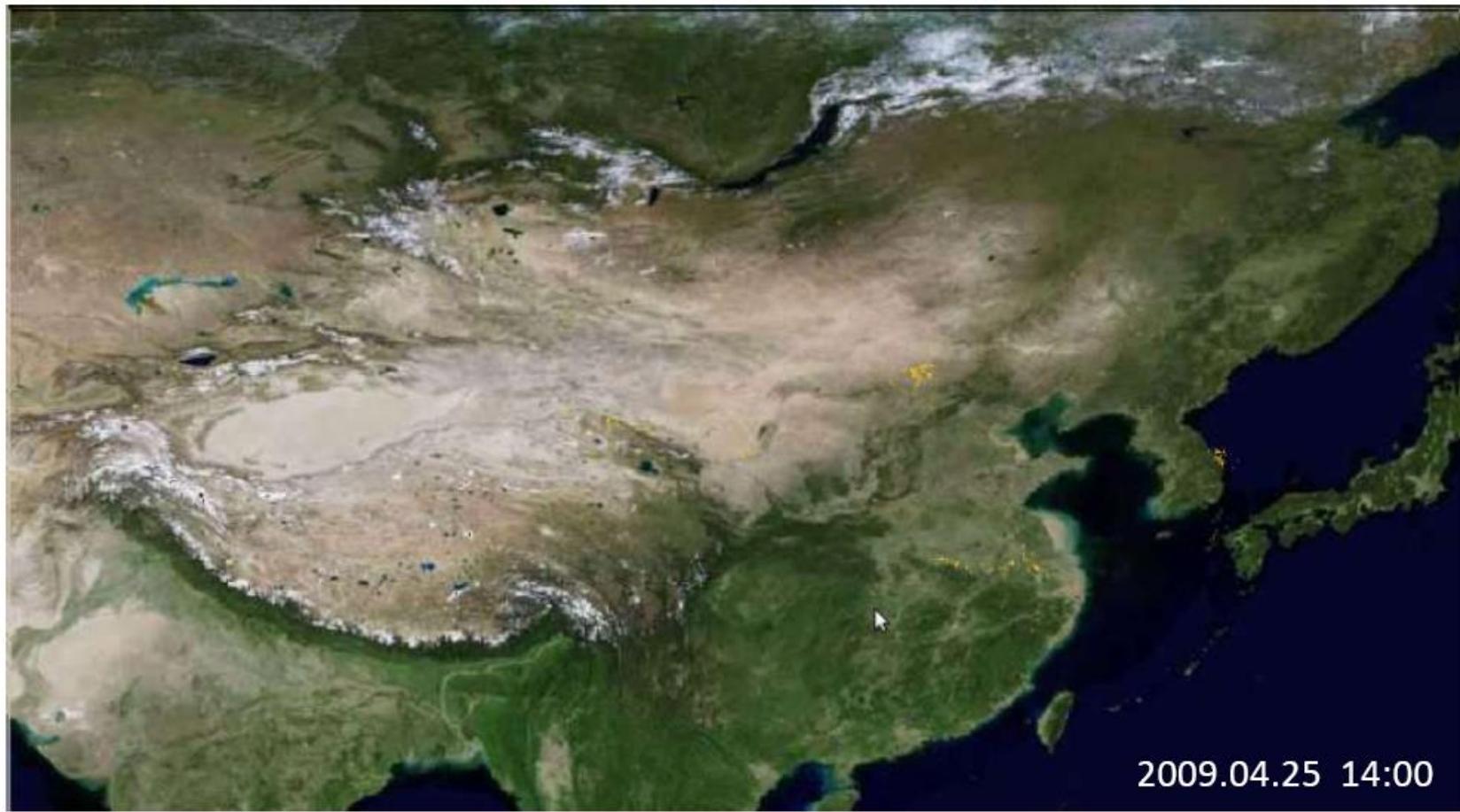
沙尘暴强度划分标准

沙尘强度等级

《GB-T 20480-2006 沙尘暴天气等级》

沙尘暴过程监测

2009年4月21日至4月25日的一次完整的沙尘暴过程



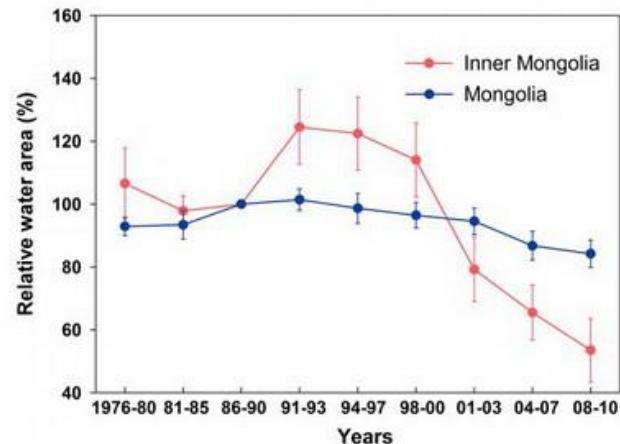
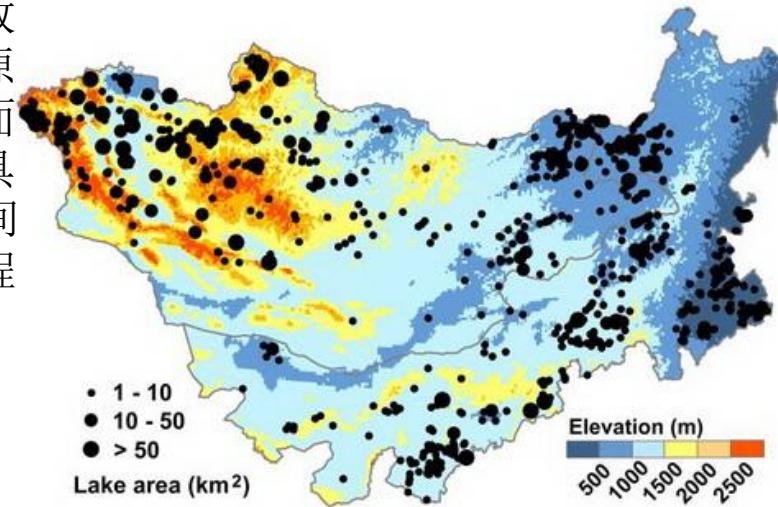
6、蒙古高原近30年湖泊数量和面积双减少

蒙古：70%来自气候驱动，内蒙古：70~80%人为驱动

(Rapid loss of lakes on the Mongolian Plateau, PNAS.1411748112, Dec.24, 2014)

蒙古高原地处欧亚大陆腹地，主要包括蒙古国与我国内蒙古自治区。该地区气候干旱，人口众多。千百年来，牧民们逐水草而居，以湖泊为代表的水资源，在蒙古高原往往意味着生命。因此，探明蒙古高原湖泊的数量、面积和分布变化，对维护该区域的人类生存和环境安全具有重要意义。研究发现，蒙古高原的湖泊在过去30年间呈快速消退趋势，且我国内蒙古与蒙古国的湖泊消退程度及成因明显不同。

- 研究者们分别对蒙古高原1987和2010两个时段大于 1km^2 的湖泊进行了监测，发现湖泊数量由785变成了577，减少了26.5%（其中内蒙古减少34.0%、蒙古国17.6%）；面积则由 4160km^2 缩小到 2901km^2 ，缩小30.26%。
- 研究针对面积大于 10km^2 湖泊进行年际变化时序检测，探讨湖泊变化成因。内蒙古高强度人为干扰导致湖泊面积快速萎缩，而蒙古国湖泊面积仅轻微下降。降水变化解释了蒙古国湖泊面积变化的70%，而在内蒙古地区，煤炭开采耗水解释了湖泊面积变化的66.5%，而降雨变化仅解释20%。进一步分析表明，在内蒙古草原区，湖泊锐减的原因近 $2/3$ (64.6%) 是来自煤炭开采耗水；而在其农牧交错区，灌溉耗水是湖泊减少的主要因素，解释了近8成的面积变化。

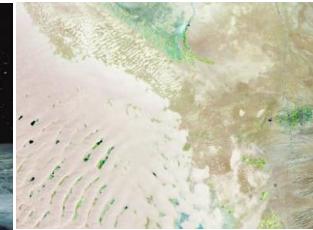
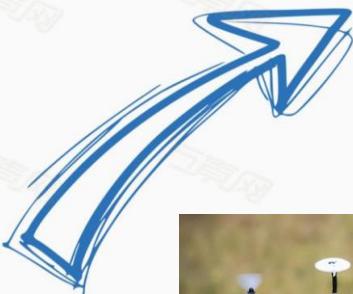


汇报提纲

三、未来发展

天空地一体化荒漠化监测

核心技术：
信息提取+尺度推演



航空：
尺度推演+模型计算

尺度推演
多时相遥感

多种需求



空中：无人机航拍+信息识别

信息识别
尺度推演

空间尺度
植被指数模型

时间尺度

空间尺度

大尺度

小尺度



地面：实地测量（植被信息+光谱）

光谱特征参数提取
敏感性指数构建

植被类型识别
植被信息提取

目标

研究内容

感知 决策 权衡

基于多平台遥感和物联网感知的智能管控

从生长源头保生态安全与产量

感知：养分与水分感知，病虫害与苁蓉产量监测

1. 传感器网络 → 梭梭林水肥环境
2. 多平台遥感 → 梭梭林生长状况
3. 探地雷达 → 苣蓉数量与产量



诊断与决策：水肥与病虫害诊断与管控



无人机精准作业

防风固沙效应与产量：阈值

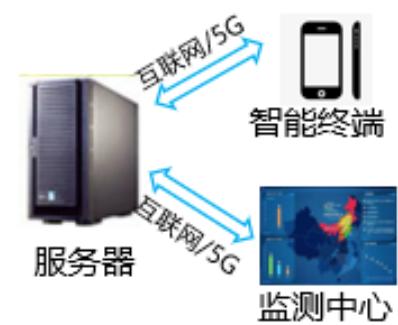


区域苁蓉产量与效益

从生态安全与产量需求促管控

智能管控：

- 适时监测
- 数据传输
- 模型诊断
- 生态效益与产量权衡
- 远程控制



謝謝

