

# 高光谱遥感

## Hyperspectral Remote Sensing

张 兵

中国科学院遥感与数字地球研究所

# 报告提纲

一、遥感科技的历史与现状

二、高光谱遥感技术与应用

三、高光谱图像分析的几个核心问题

四、智能高光谱遥感系统

公元前4世纪，《墨经》记载了世界上最早的针孔成像实验：“景到，在午有端，与景长，说在端”。

梁启超（《墨子校释》自序, 1922）：“在吾国古籍中欲求与今世所谓科学精神相悬契者，《墨经》而已矣。”

1839年 法国画家达盖尔发明了“达盖尔银版摄影术”，世界上诞生了安装达盖尔感光银版和乌拉斯顿新月型透镜的第一台便携式木箱照相机。

20世纪：变焦镜头、自动曝光、数码相机。



热气球摄影平台



1858年法国巴黎照片



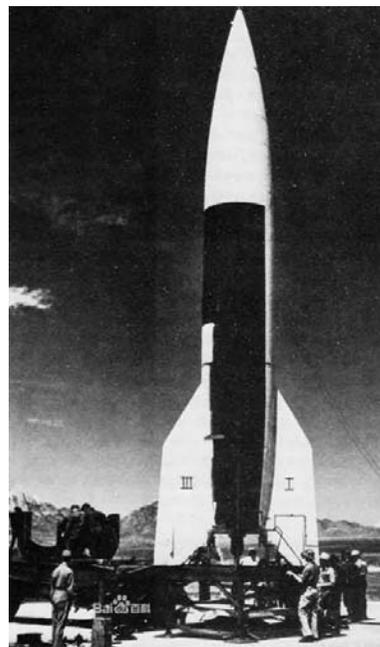
生物遥感平台\_鸽子



1903年德国巴伐利亚农场照片



航空遥感平台\_飞机  
(赖特兄弟1904年)



德国V-2火箭

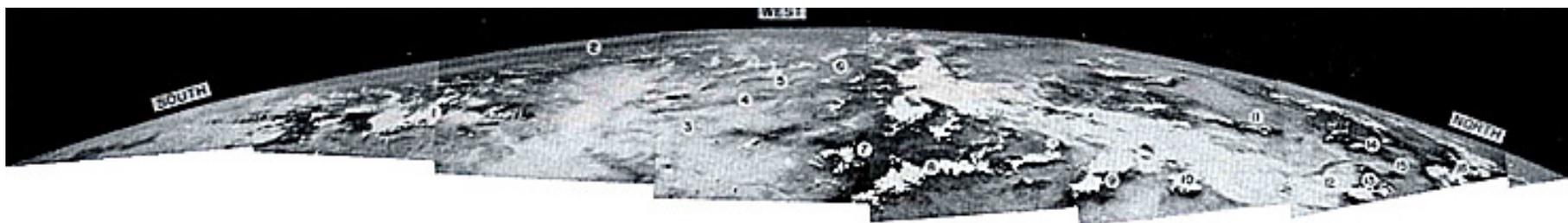
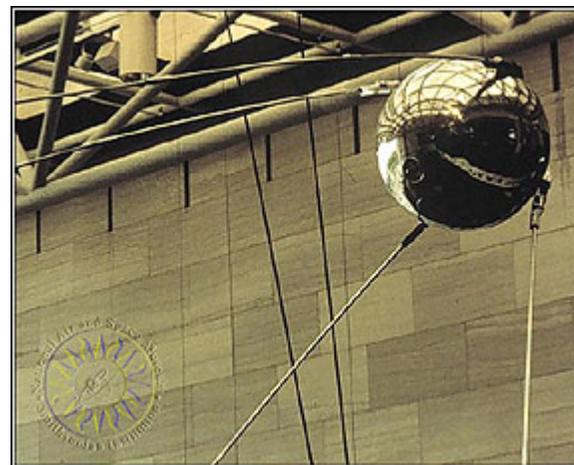


Photo U. S. Navy—Johns Hopkins (APL)

二战结束后，美国人将相机装在缴获的德国V-2火箭上，人类首次获得了地球曲面形态的照片。

现代的遥感技术是建立在20世纪20年代初航空摄影基础之上的，随着空间科学技术、电子计算机技术的发展，到60年代以来才形成一门新兴的综合探测技术。

1957年十月四日前苏联发射了第一课人造地球卫星，拉开了人类走入航天遥感的序幕。



1962年第一届国际环境遥感大会，Remote Sensing一词问世。

1962年古巴导弹危机进一步推动了航空航天遥感技术的发展。



1972年美国陆地卫星的成功发射标志着人类正式进入了航天对地观测的时代。

截至到2013年2月，美国共发射LANDSAT系列卫星8颗：

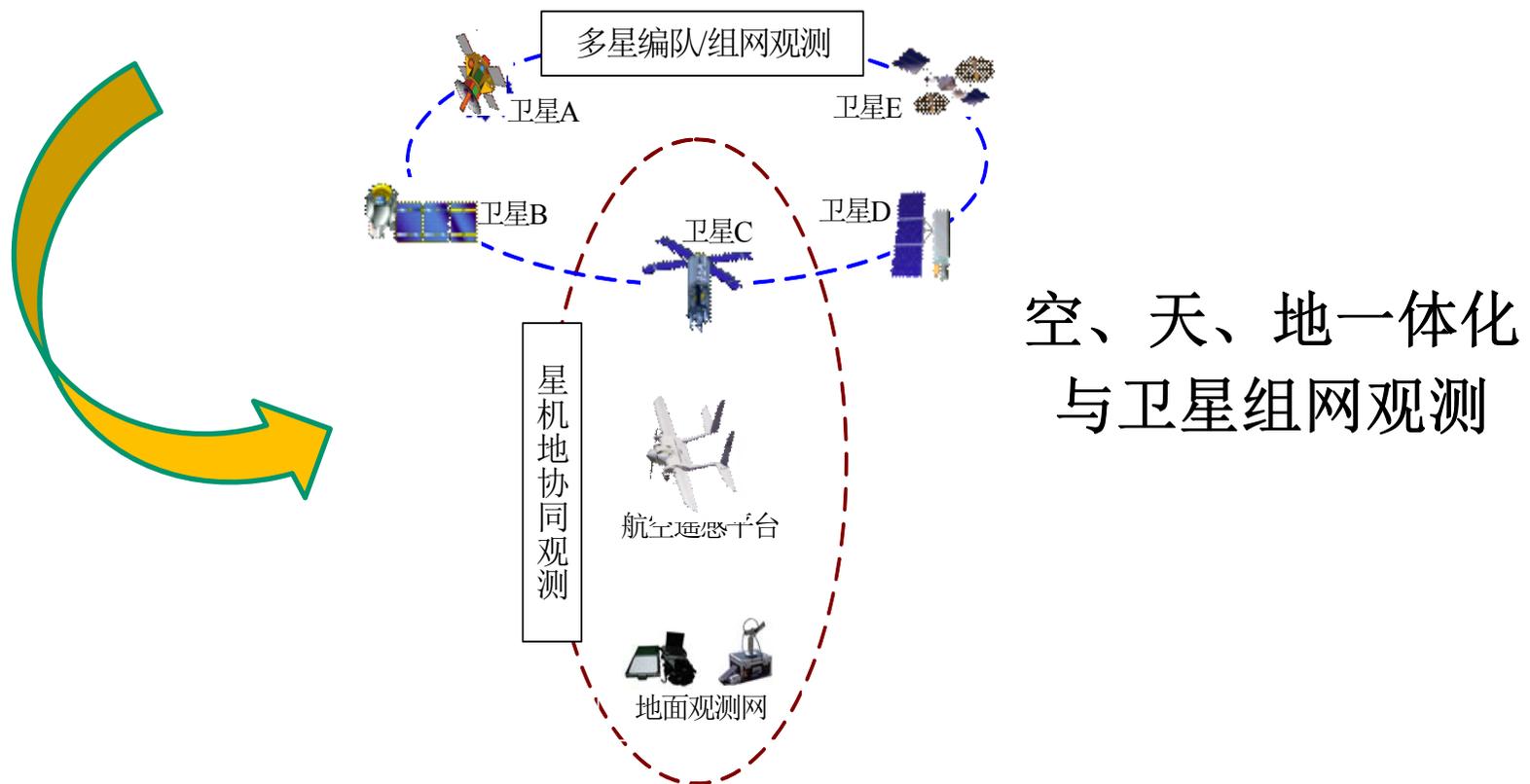
Satellite	Launch Date
Landsat-1 / ERTS-1 (ERTS-A)	1972-07-23
Landsat-2 / ERTS-2 (ERTS-B)	1975-01-22
Landsat-3 (Landsat-C / ERTS-C)	1978-03-05
Landsat-4 (Landsat-D)	1982-07-16
Landsat-5 (Landsat-D1)	1984-03-01
Landsat-6 [failed]	1993-10-05
Landsat-7	1999-04-15
Landsat-8 / LDCM	2013-02-11

## 遥感技术发展走向：

分辨率不断提高：高空间、高光谱、高时间、高辐射

观测条件适用性：全天候（主被动）、全天时（白天夜晚）

观测平台多样性：大卫星、小卫星、有人机、无人机、飞艇…



# 对地观测技术发展目标：

观测：

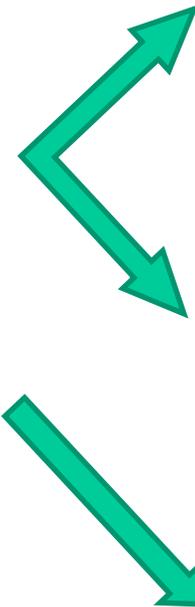
量化的地球

变化的地球

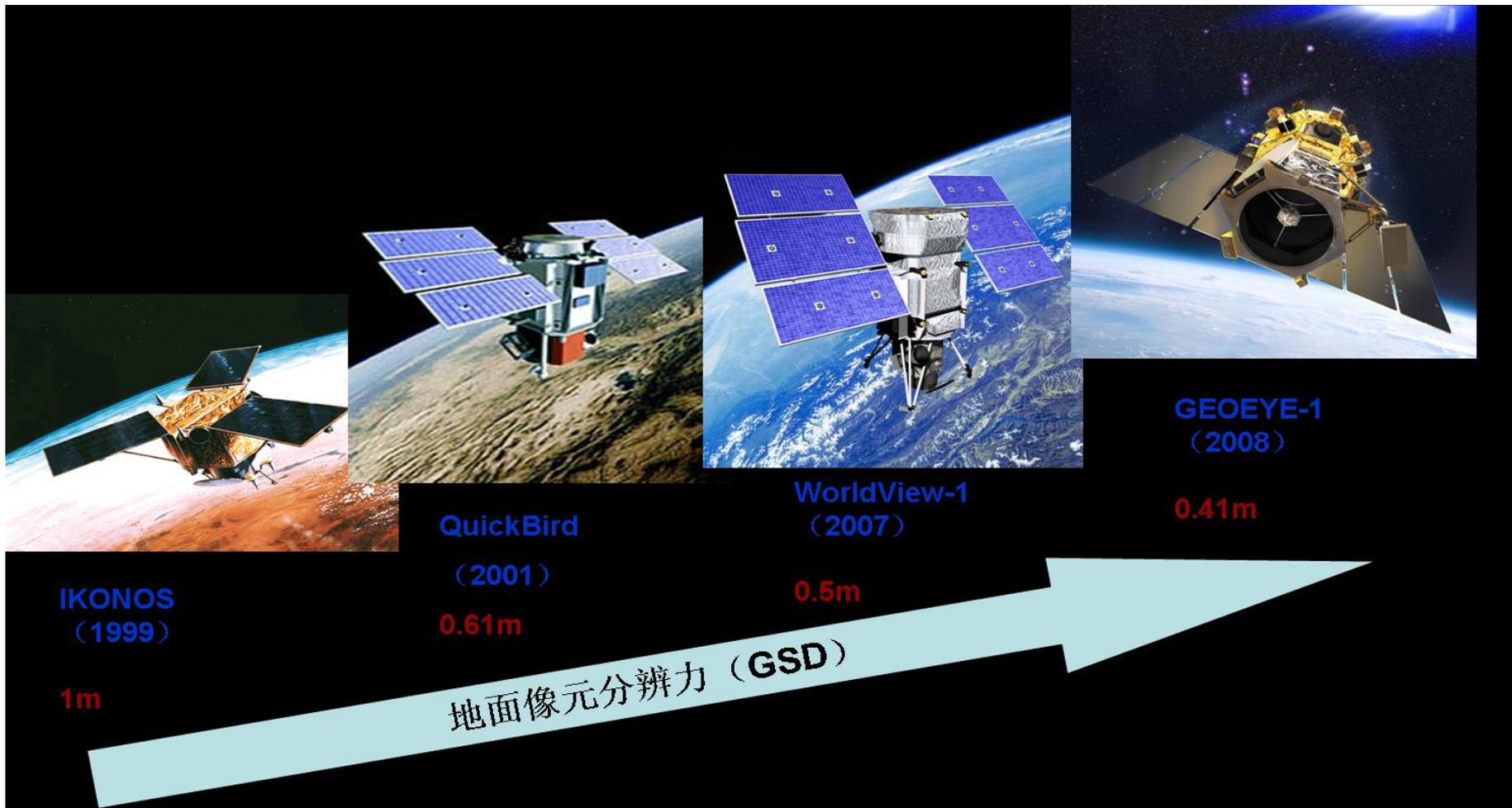
精致的形态

精致的波谱

精致的过程

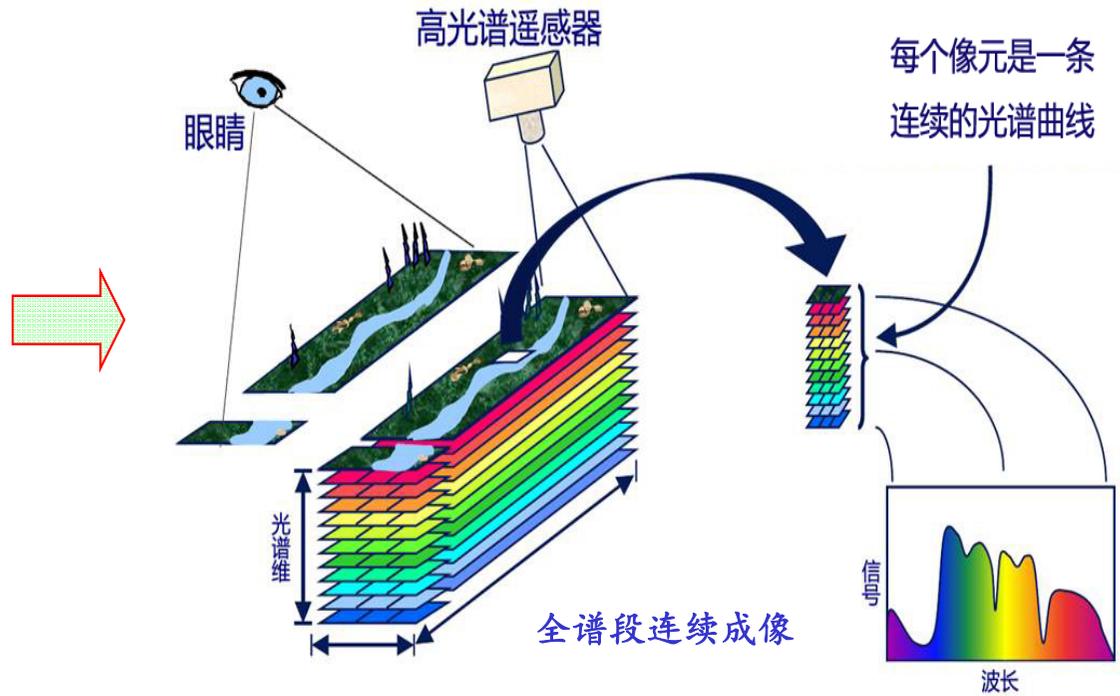
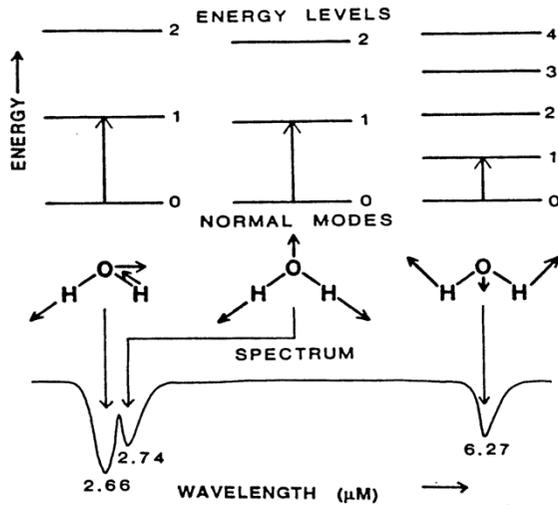
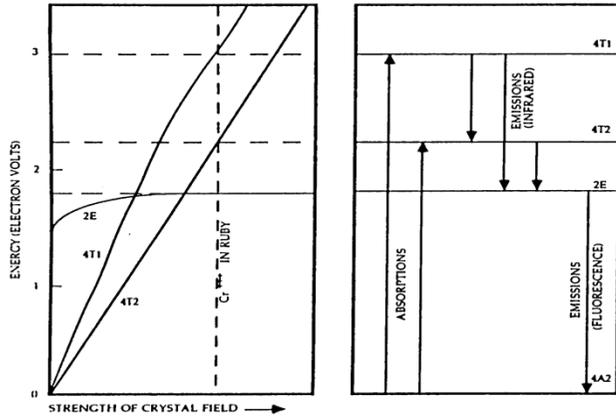


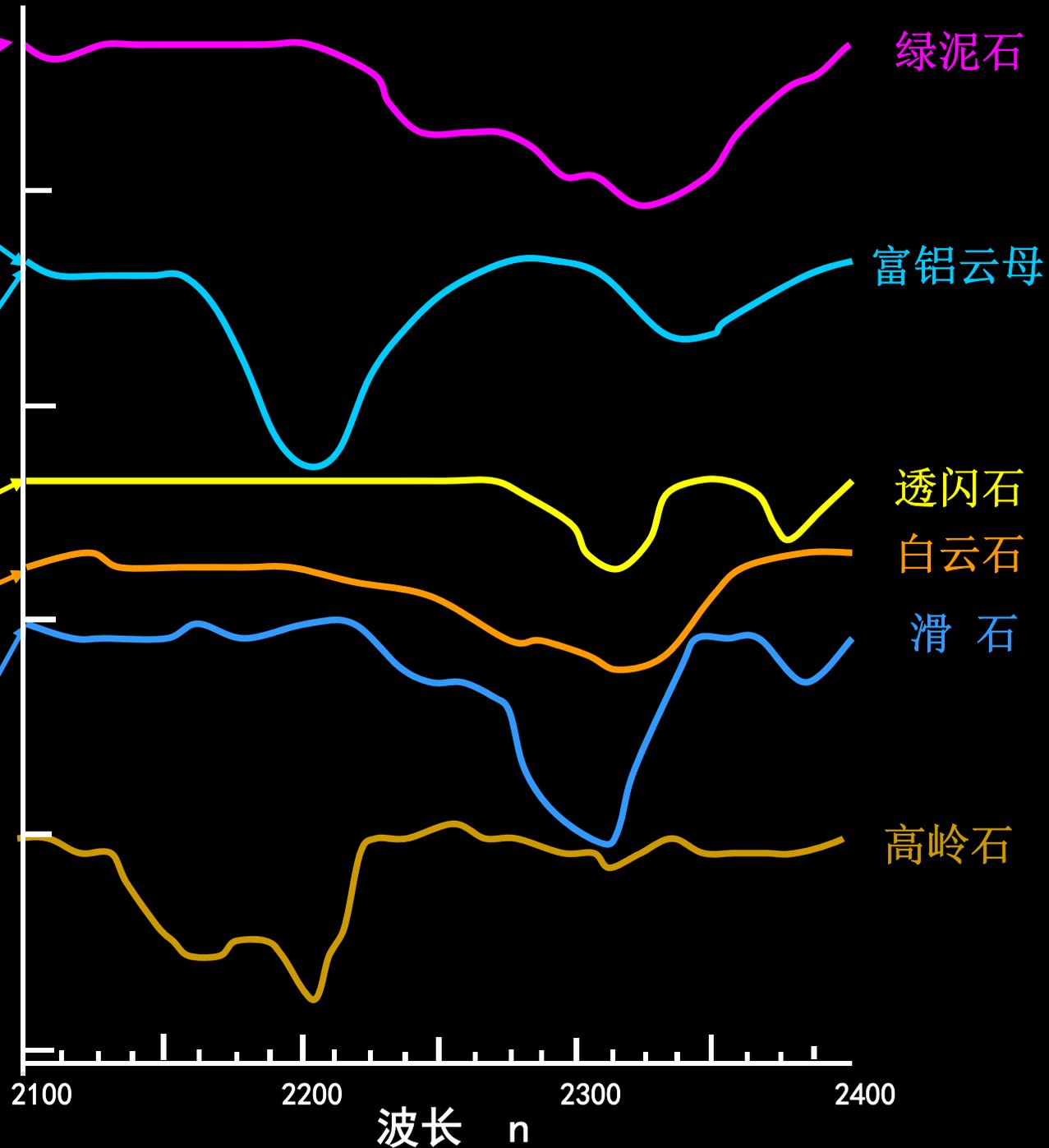
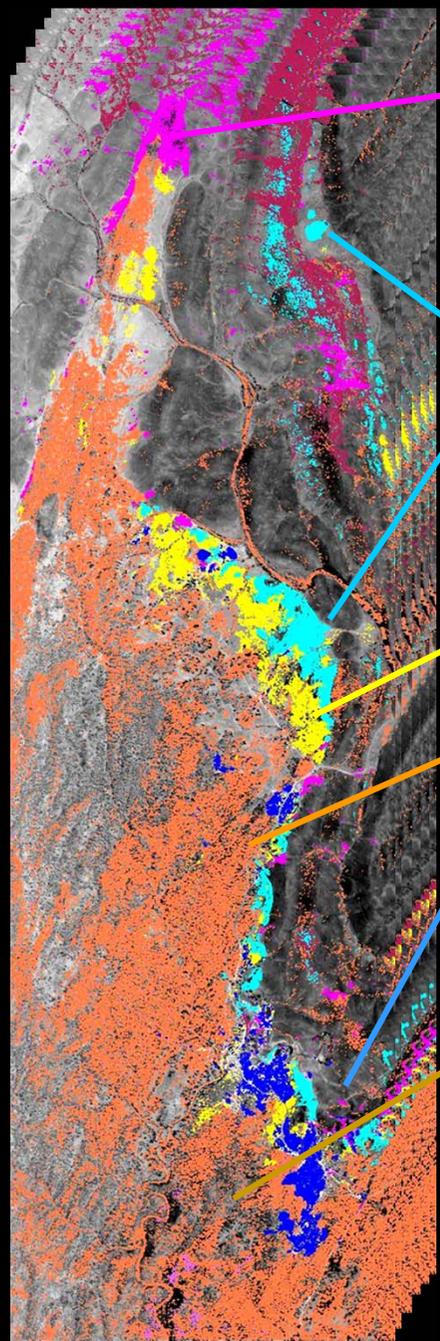
# 精致的形态-----高空间分辨率



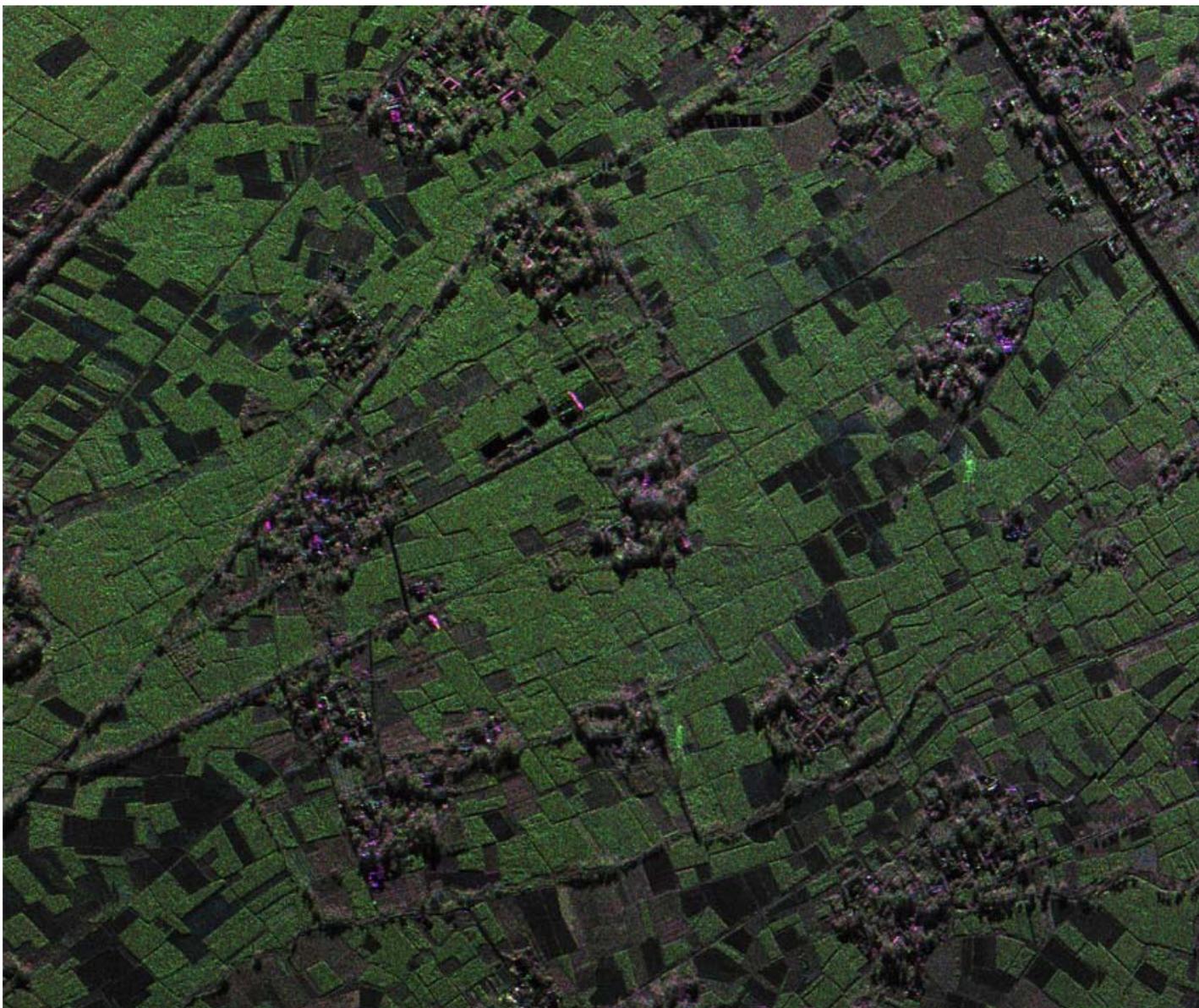
# 精致的波谱

-----高光谱分辨率（辐射、极化、全谱段）

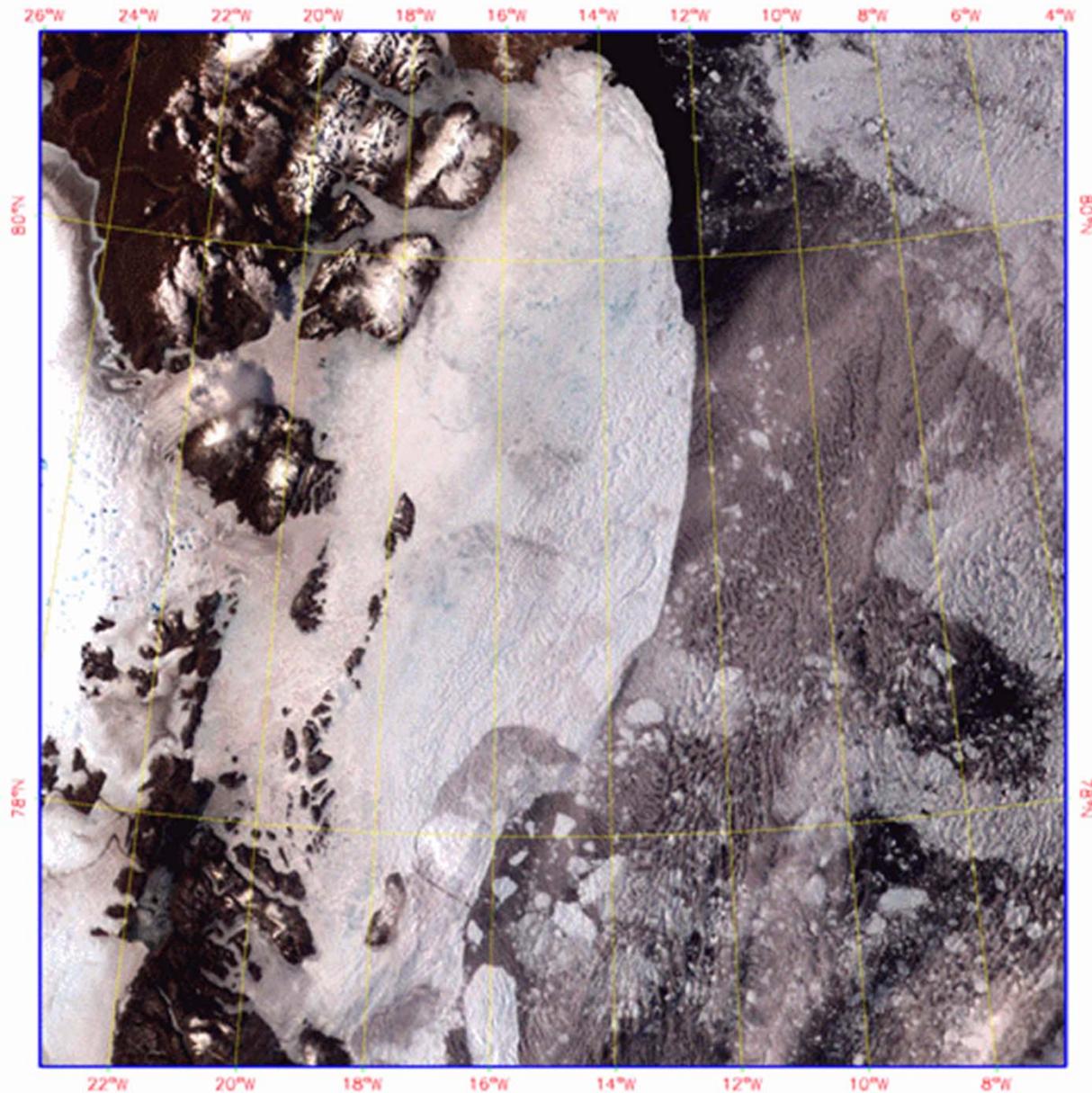




# 多极化SAR成像技术



## 精致的过程—针对特定事件的连续观测



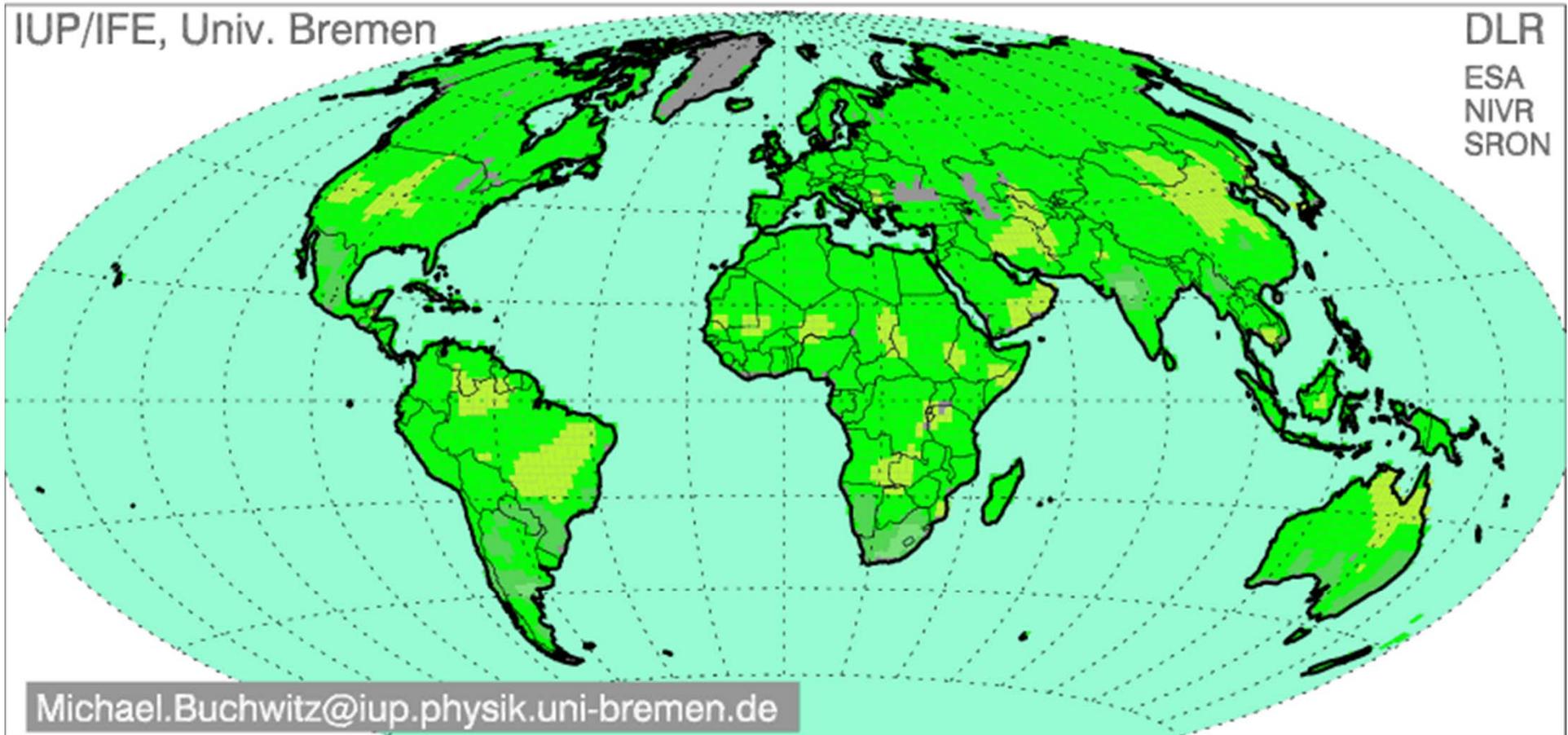
格陵兰岛附近  
大块冰体崩裂、  
融化过程监测。

FY-3 MERISI

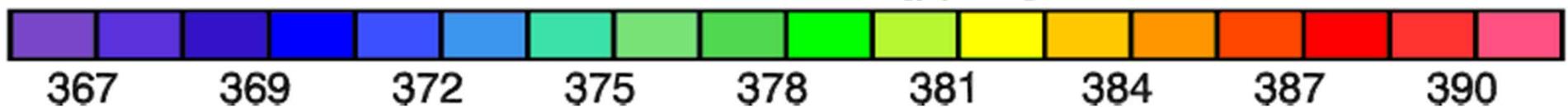
2008-7月16- 8月17日

# 全球大尺度地球环境变化动态观测

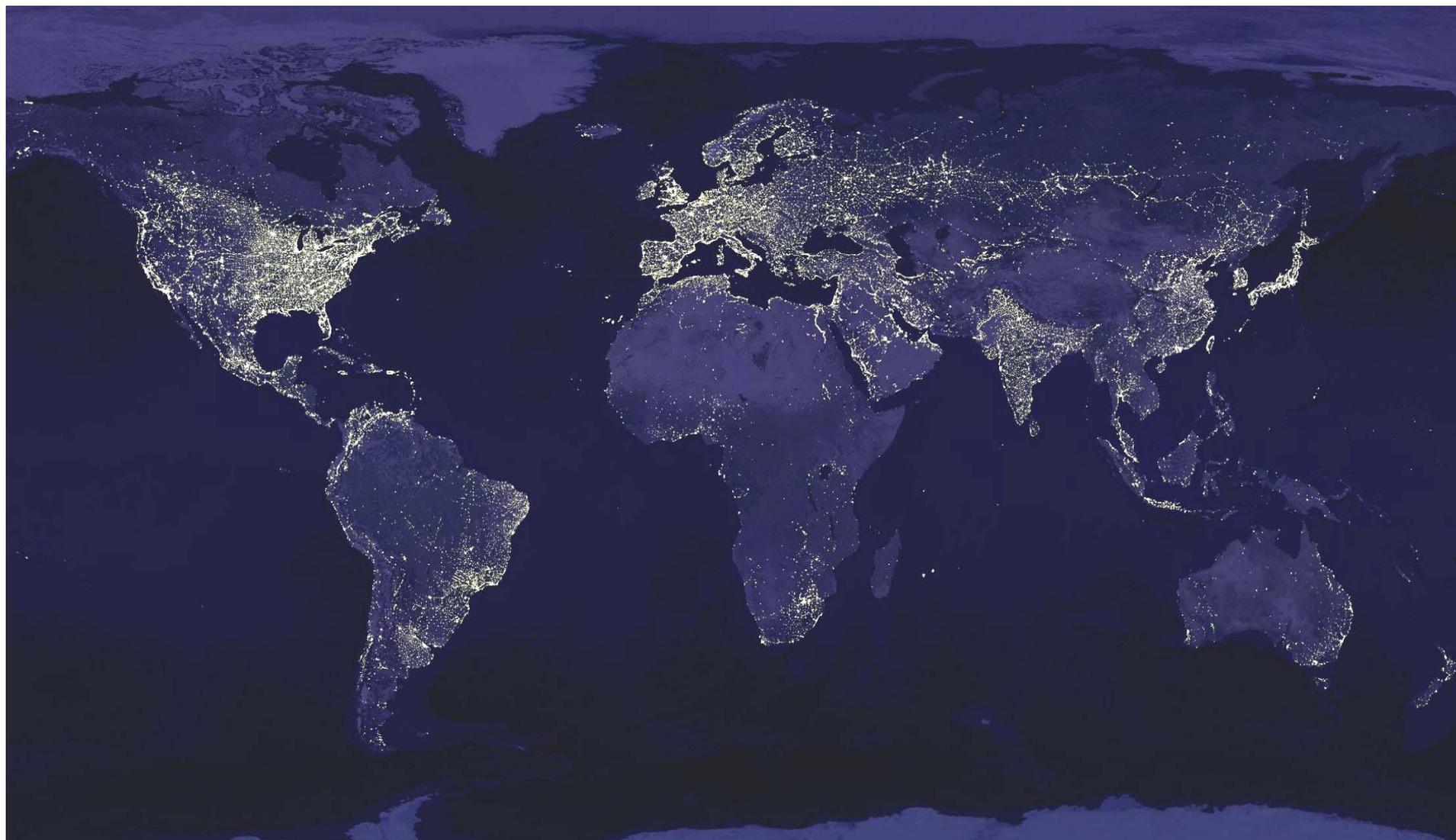
Carbon dioxide SCIAMACHY(WFMDv1.0)/ENVISAT 2003 01



CO2 column VMR [ppmv]



## 特定对象和事件的昼夜连续观测



# 报告提纲

一、遥感科技的历史与现状

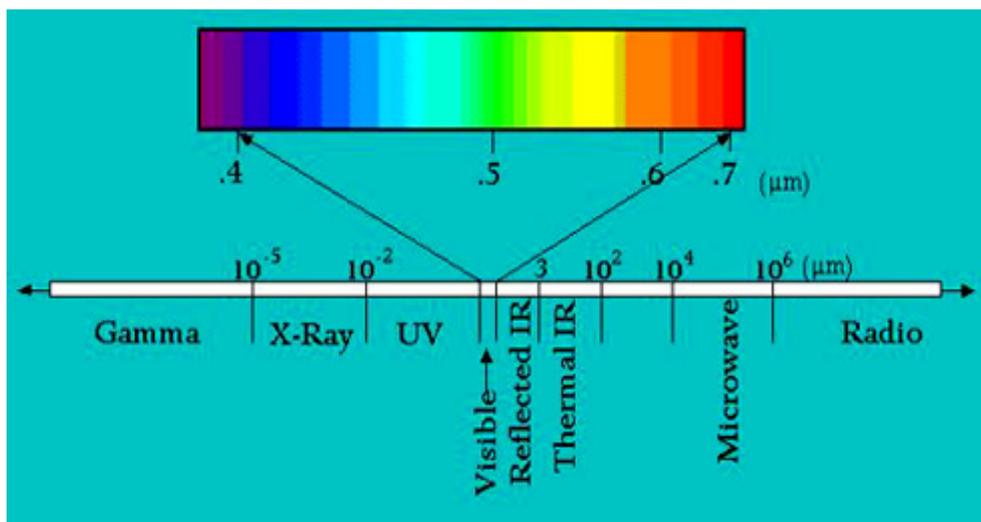
二、高光谱遥感技术与应用

三、高光谱图像分析的几个核心问题

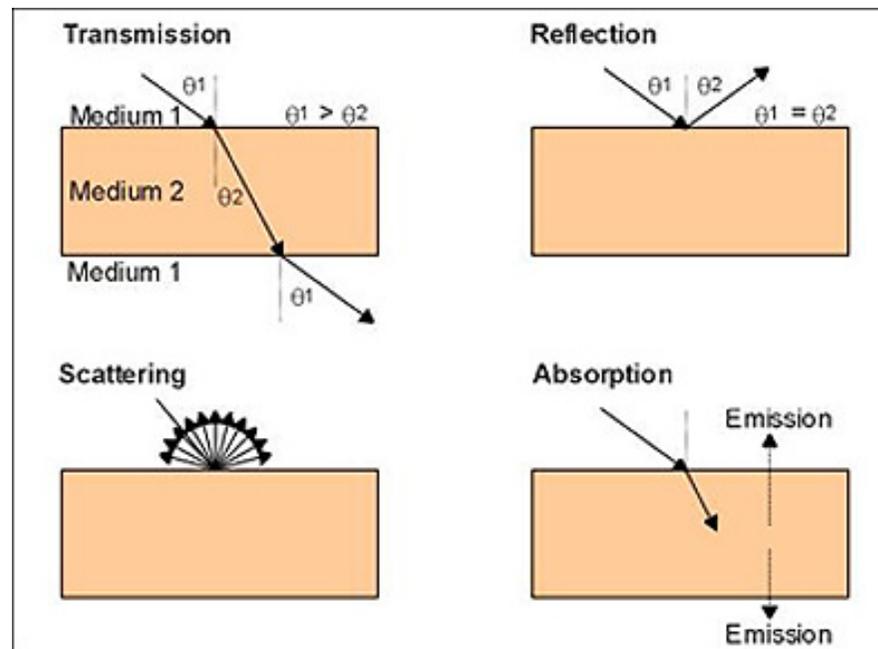
四、智能高光谱遥感系统

# 遥感—Remote Sensing

**遥感 (Remote Sensing)**：通过电磁波与地物的相互作用，以波谱和空间两维成像方式来探测地物特性的技术。



遥感探测谱段



电磁波与物质的相互作用

## 遥感分类

### (1) 按照遥感平台

航空遥感和航天遥感

### (2) 按照使用的谱段

可见光（光学）遥感、红外遥感、微波遥感

### (3) 按照感测目标能源的作用形式

主动遥感、被动遥感

### (4) 按照遥感应用的领域

地球资源遥感、环境遥感、气象遥感、农业遥感、地质遥感、海洋遥感、城市遥感等

## 高光谱遥感—Hyperspectral Remote Sensing

### 光学遥感技术的发展:

全色（黑白）——彩色摄影——多光谱扫描成像——高光谱遥感  
(Hyperspectral Remote Sensing)。

**高光谱分辨率遥感 (Hyperspectral Remote Sensing)**：用很窄 ( $10^{-2}\lambda$ ) 而连续的光谱通道对地物持续遥感成像的技术。在可见光到短波红外波段其光谱分辨率高达纳米 (nm) 数量级，通常具有波段多的特点，光谱通道数多达数十甚至数百个以上，而且各光谱通道间往往是连续的，因此高光谱遥感又通常被称为成像光谱 (**Imaging Spectrometry**) 遥感。

**hyperspectral imaging**: the acquisition of images in hundreds of contiguous, registered, spectral bands such that for each pixel a radiance spectrum can be derived. Goetz, A. F. H., Vane, G., Solomon, J., & Rock, B. N. (1985). Imaging spectrometry for Earth remote sensing. *Science*, 228, 1147–1153.

Beginning in the 1980s, **Dr. Alexander F.H. Goetz** and his colleagues at the **Jet Propulsion Laboratory** began a revolution in remote sensing by developing a powerful new instrument called **AVIRIS** (for Airborne Visible-Infra Red Imaging Spectrometer).<sup>\*</sup> This instrument took advantage of new detector technology to extend ground-based spectrometers into the air on moving platforms. Thus, the distinct value of obtaining **hyperspectral** curves has made it possible to acquire detailed data on the materials and classes present on the Earth's (or other planets) surfaces.

# 高光谱遥感—Hyperspectral Remote Sensing

全色Panchromatic

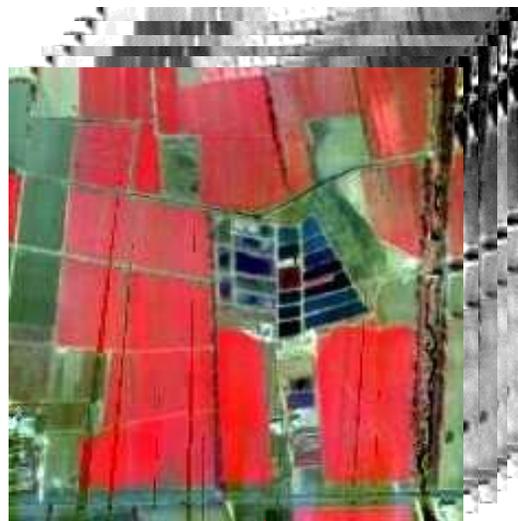


彩色color photography

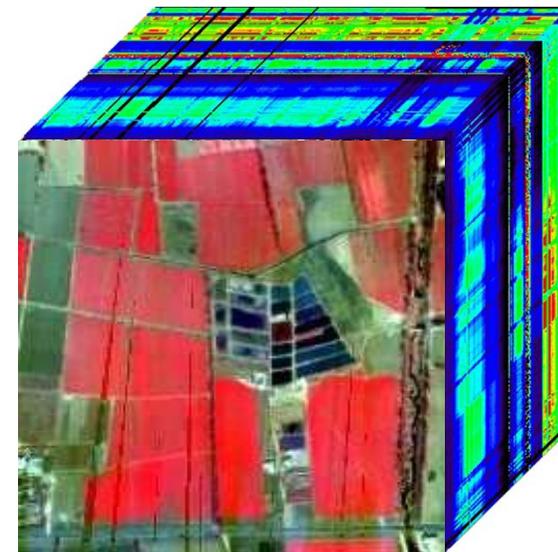


光学遥感的发展——  
光谱分辨率的不断提高

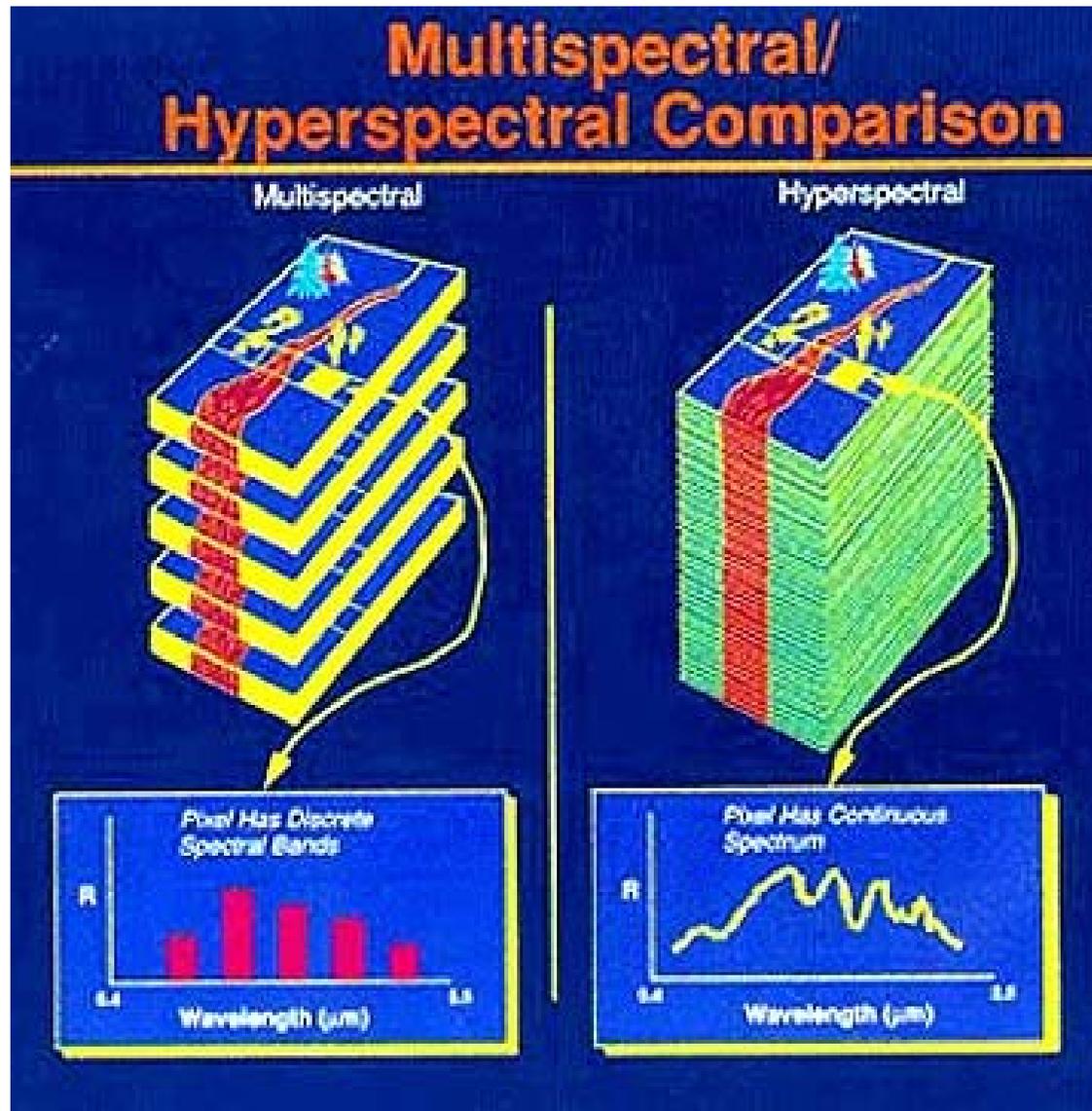
多光谱Multispectral



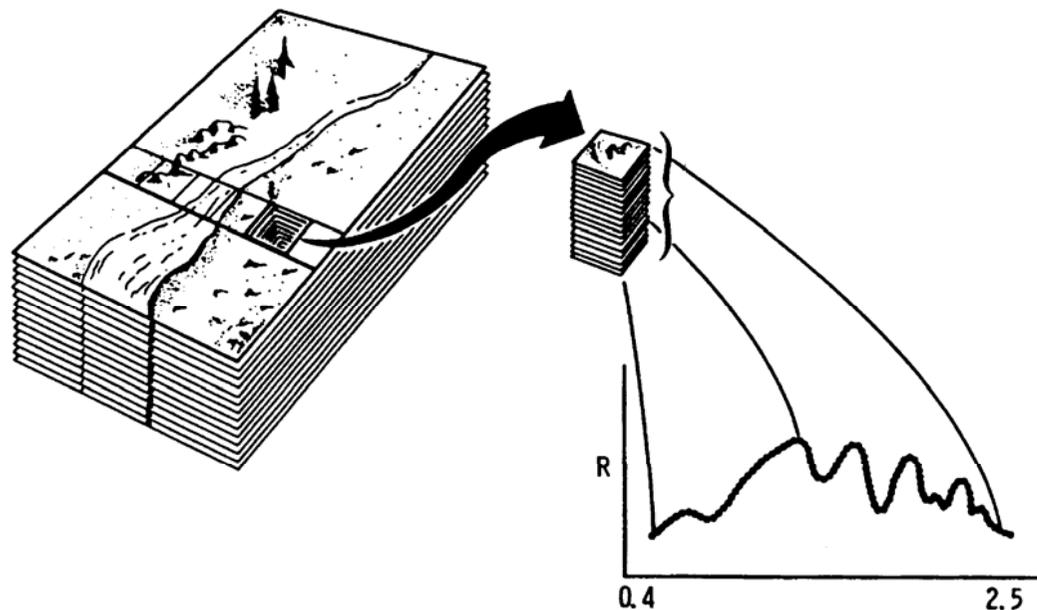
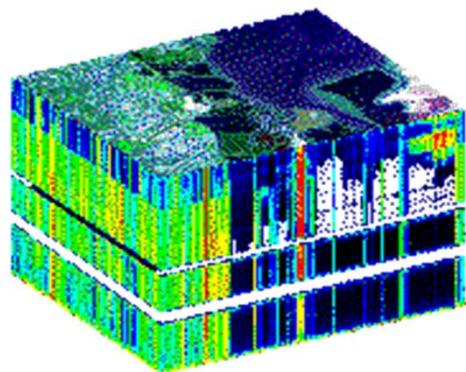
高光谱Hyperspectral



# 高光谱遥感—Hyperspectral Remote Sensing



# 高光谱遥感—Hyperspectral Remote Sensing



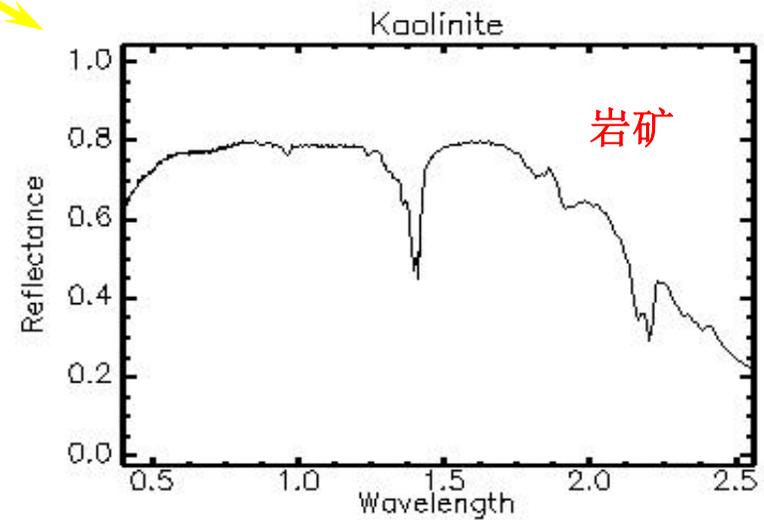
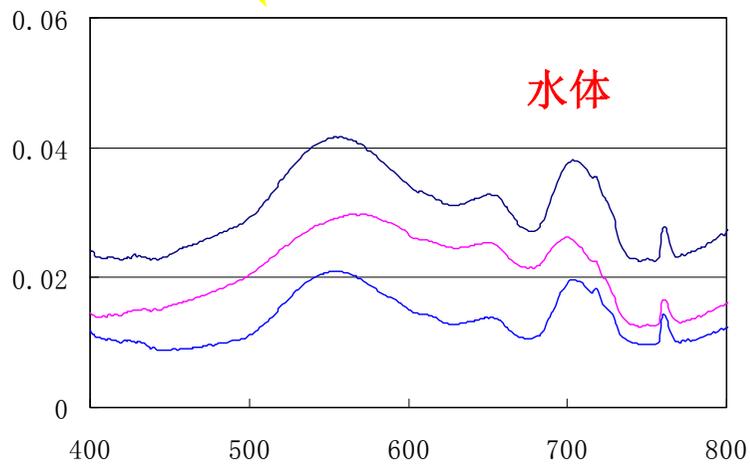
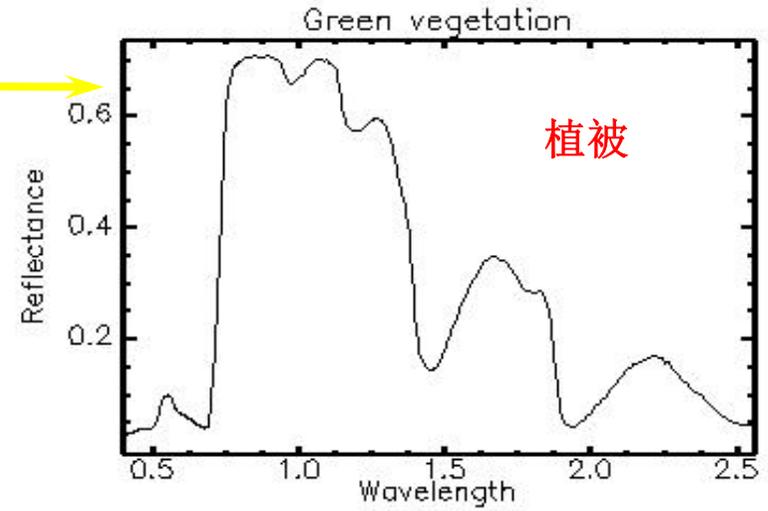
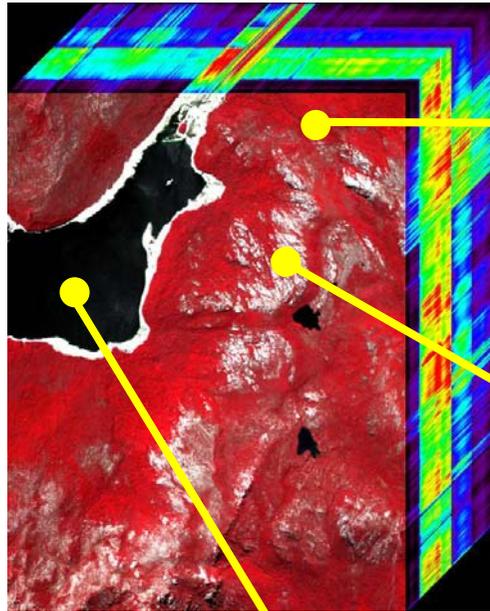
高光谱图像立方体

空间成像的同时，记录下成百个连续光谱通道数据

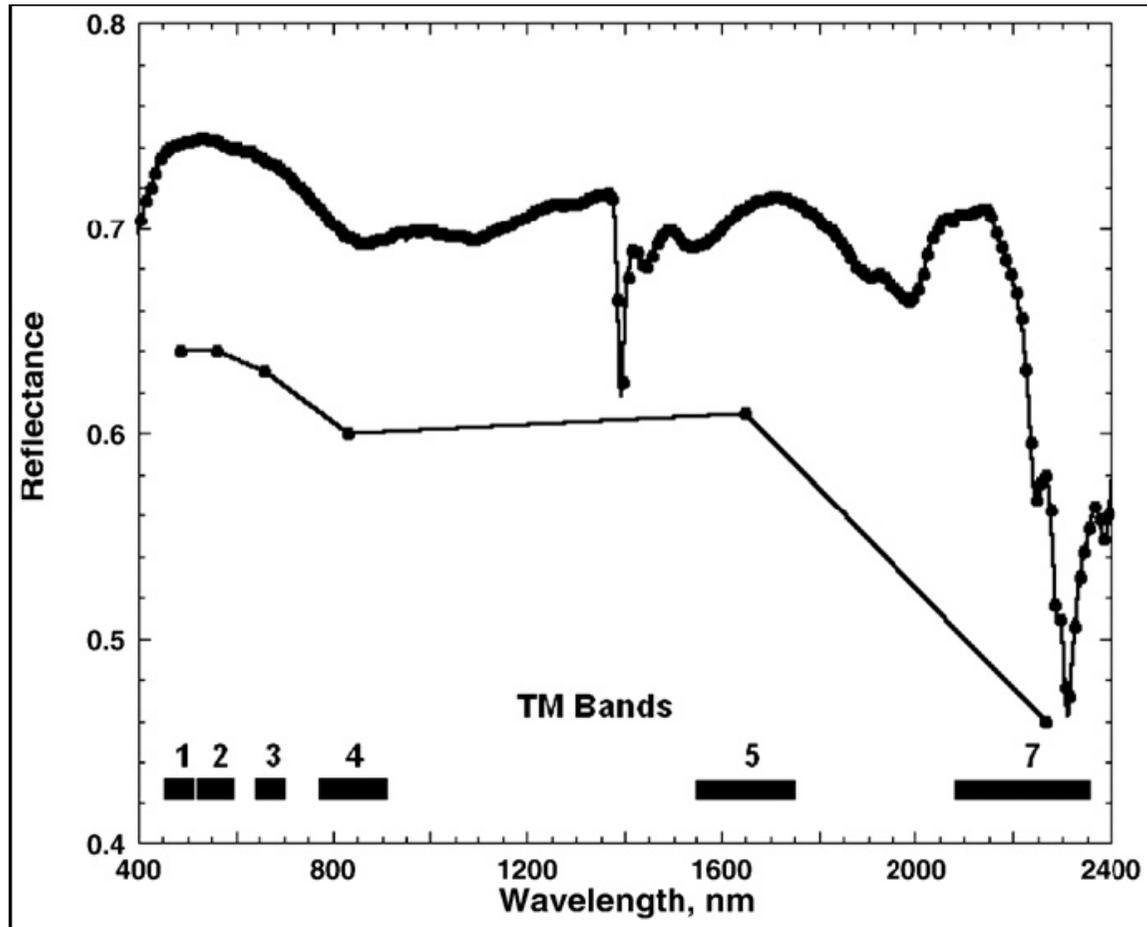
从每个像元均可提取一条连续的光谱曲线

对高光谱图像的处理实质是对像元光谱曲线的  
定量化处理与分析

# 高光谱遥感—Hyperspectral Remote Sensing

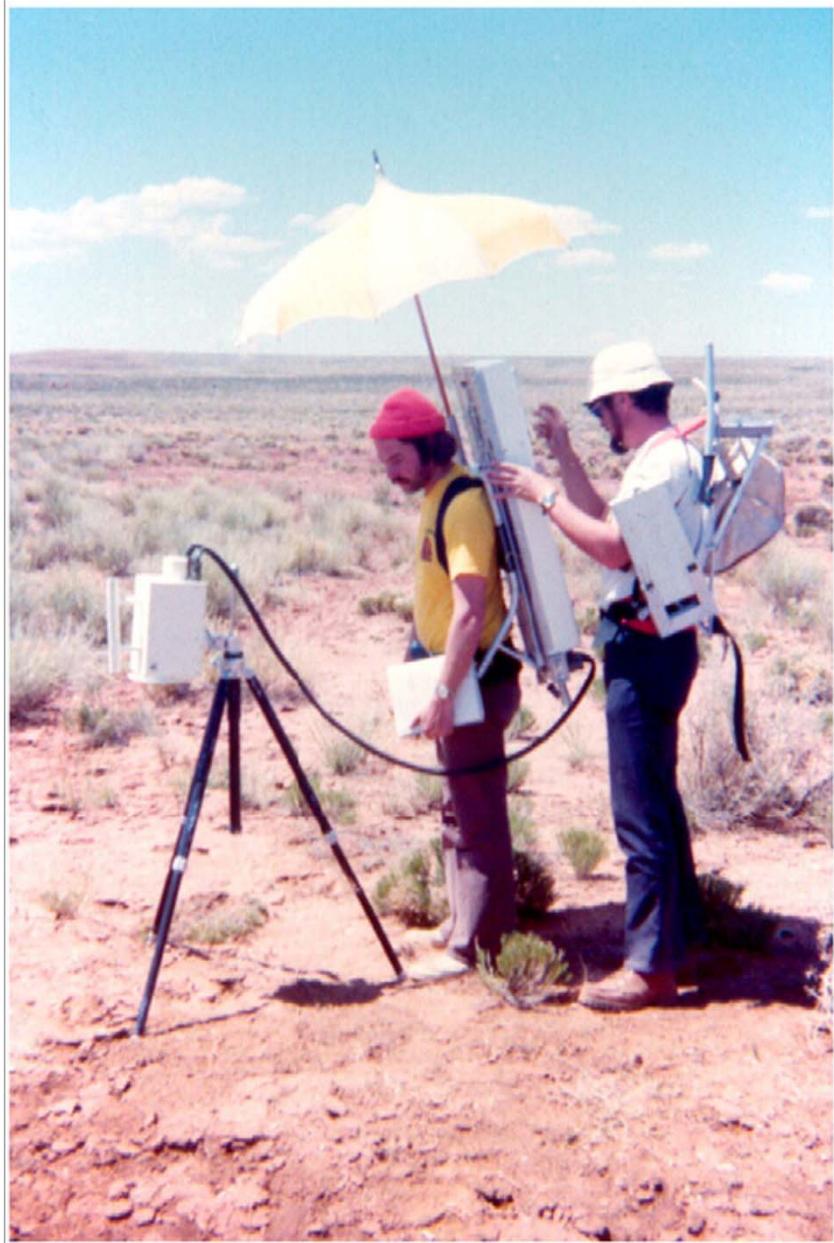


# 高光谱遥感—Hyperspectral Remote Sensing



Multispectral (below) vs. hyperspectral sampling (above).

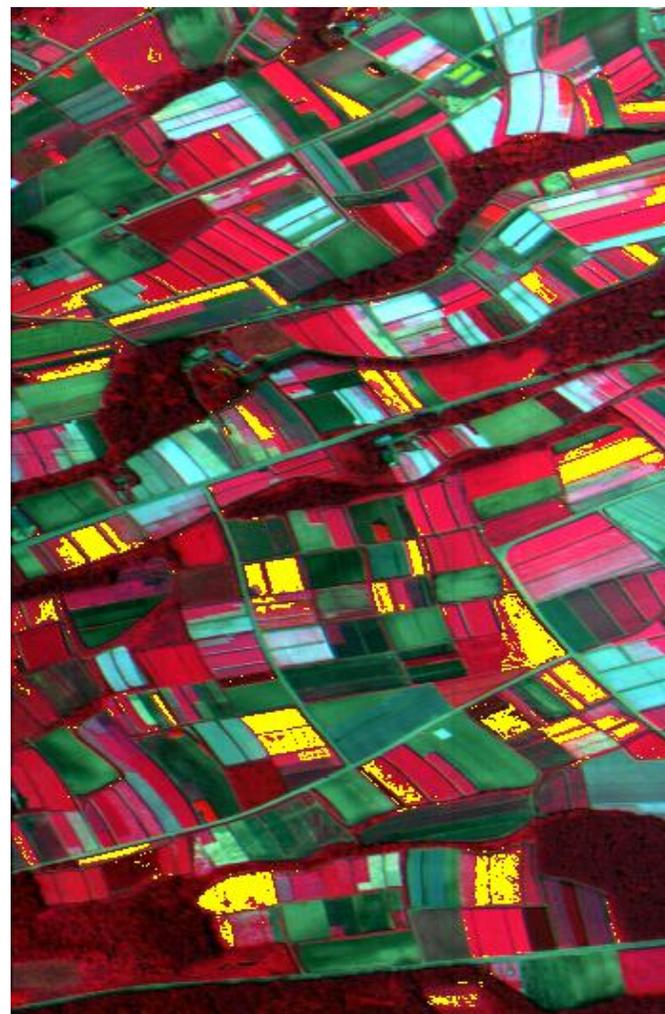
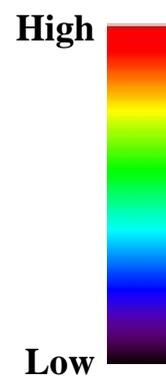
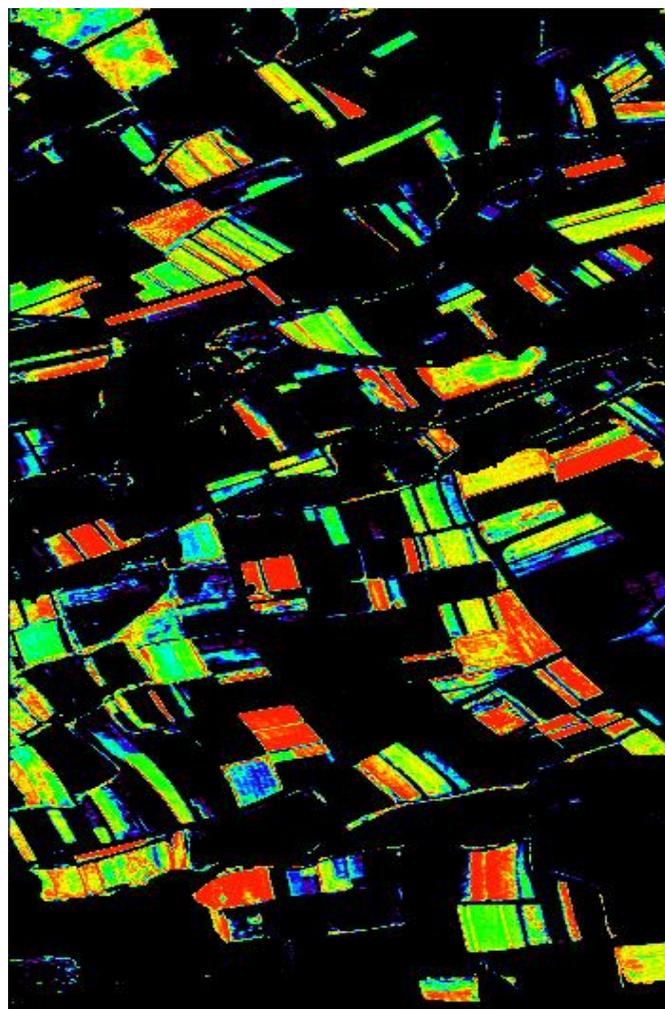
## 高光谱遥感—Hyperspectral Remote Sensing



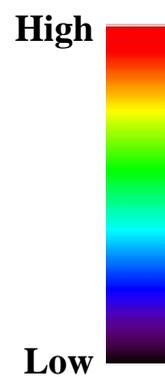
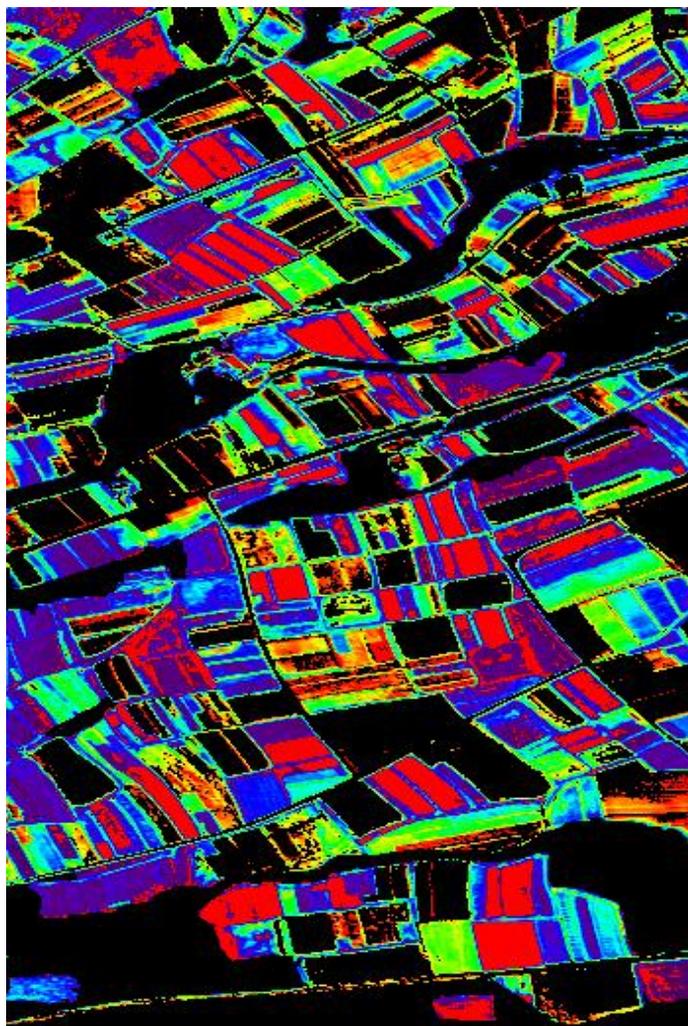
The Portable Field Reflectance Spectrometer (PFRS) could cover the spectral range of solar reflected radiance, 0.4–2.5  $\mu\text{m}$ , which produced spectra that resulted in the addition of band 7 to the Landsat Thematic Mapper (TM).

Goetz, A. F. H. (1975). Portable field reflectance spectrometer, Appendix E in Application of ERTS images and image processing to regional geologic problems and geologic mapping in Northern Arizona. JPL Technical Report (pp. 32–1597).

Spectral Similarity Mapping (with Japanese Cabbage )

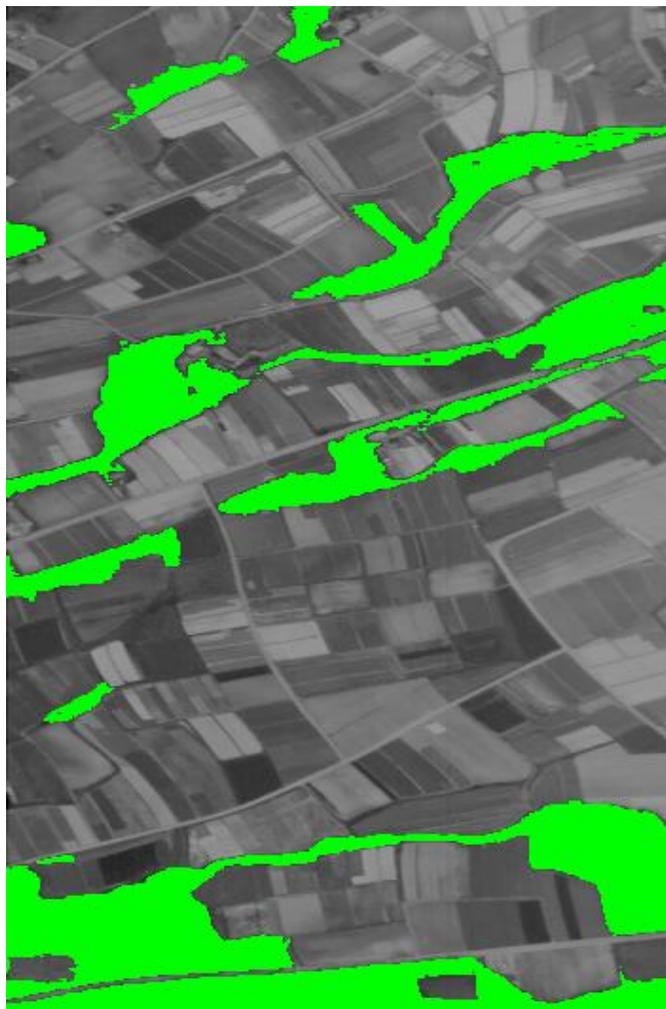


Spectral Similarity Mapping (with Chinese Cabbage )

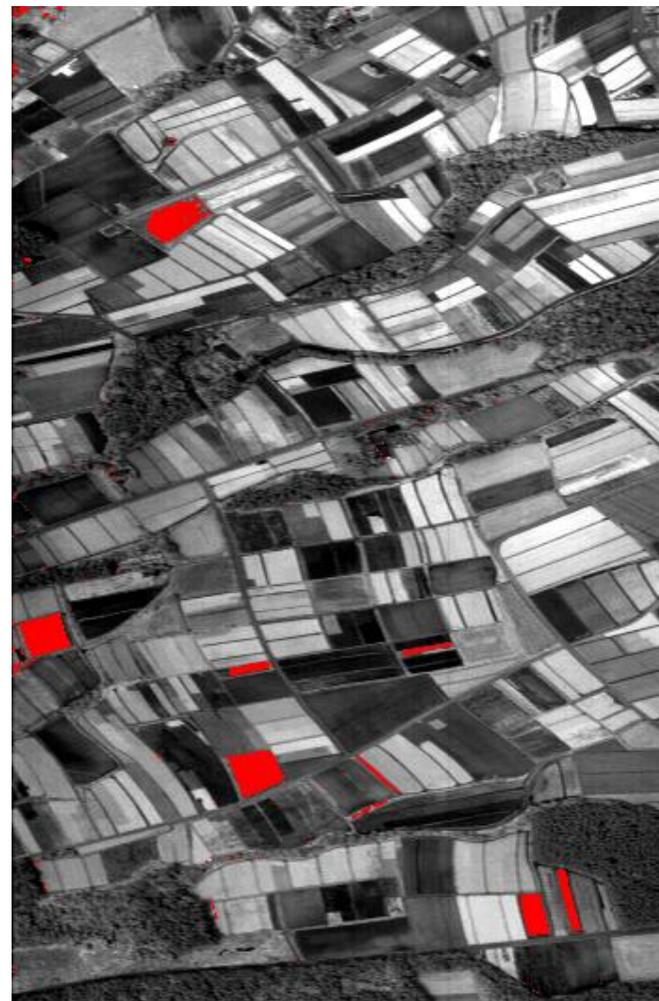


# 高光谱遥感应用—农作物精细识别

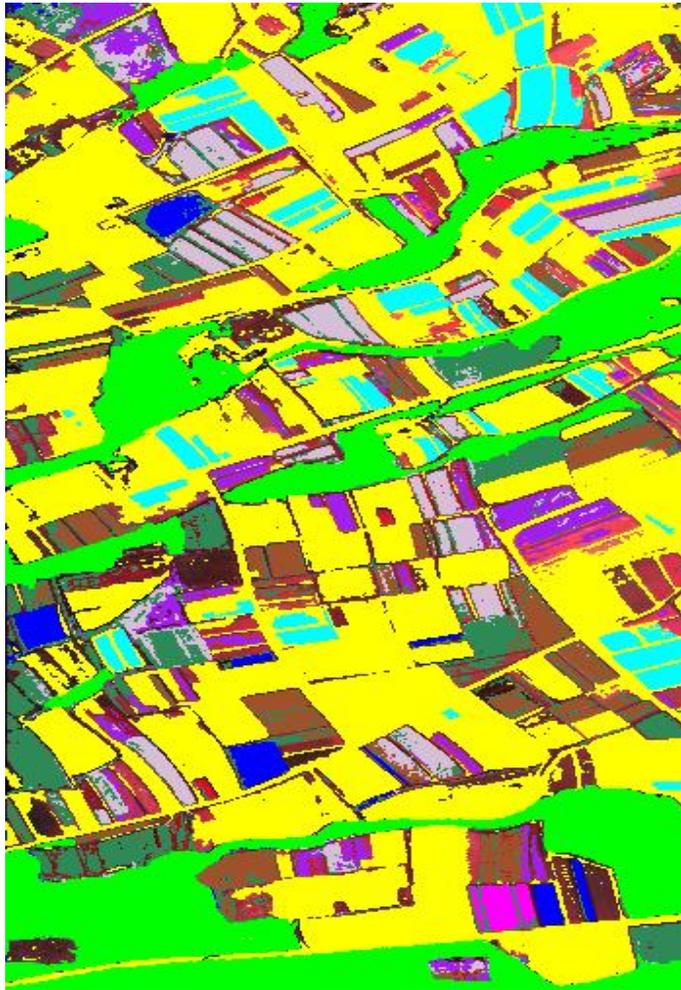
树林



架豆



# 高光谱遥感应用—农作物精细识别

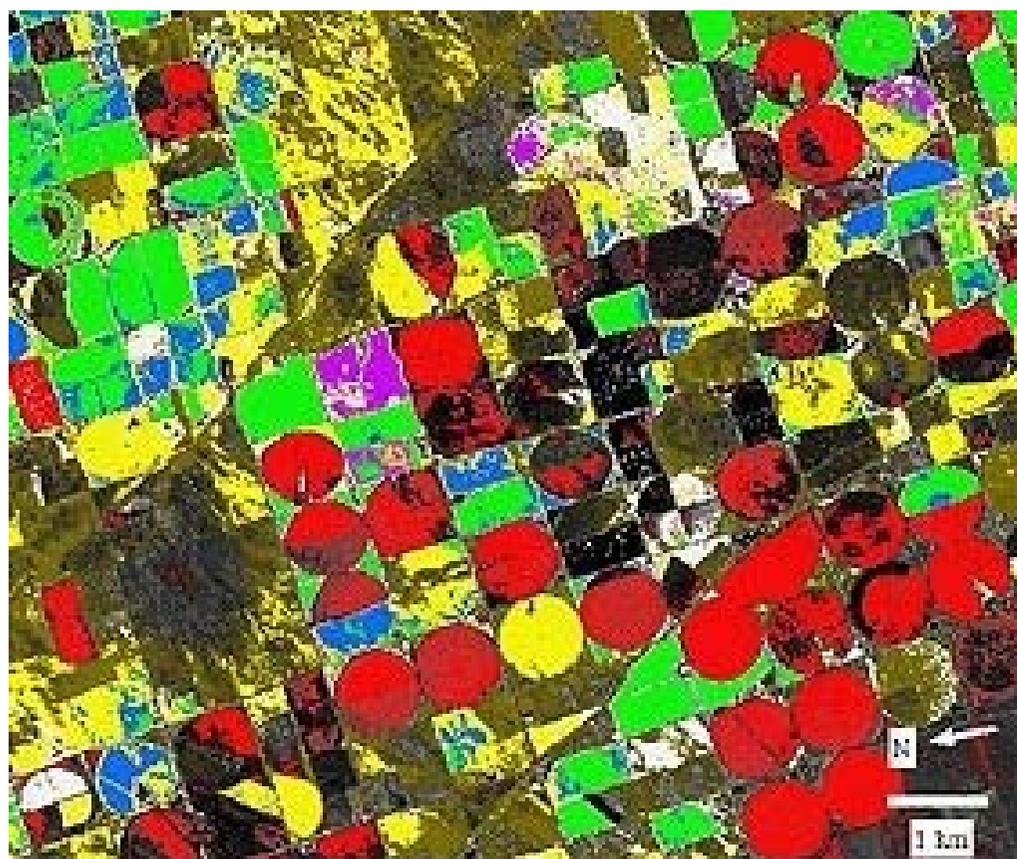


- Japanese cabbage (midseason)
- Chinese cabbage (midseason)
- Radish
- Lettuce (midseason)
- Pasture
- Yam
- Forest
- Plastic film
- No\_vegetation cover area

**LANDCOVER IN MINAMIMAKI, JAPAN**

August 23, 2000

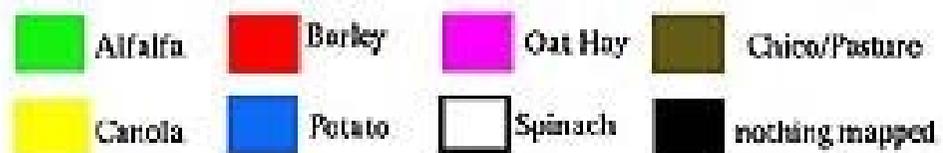
## 高光谱遥感应用—农作物精细识别



San Luis Valley, CO – Vegetation Distribution Map

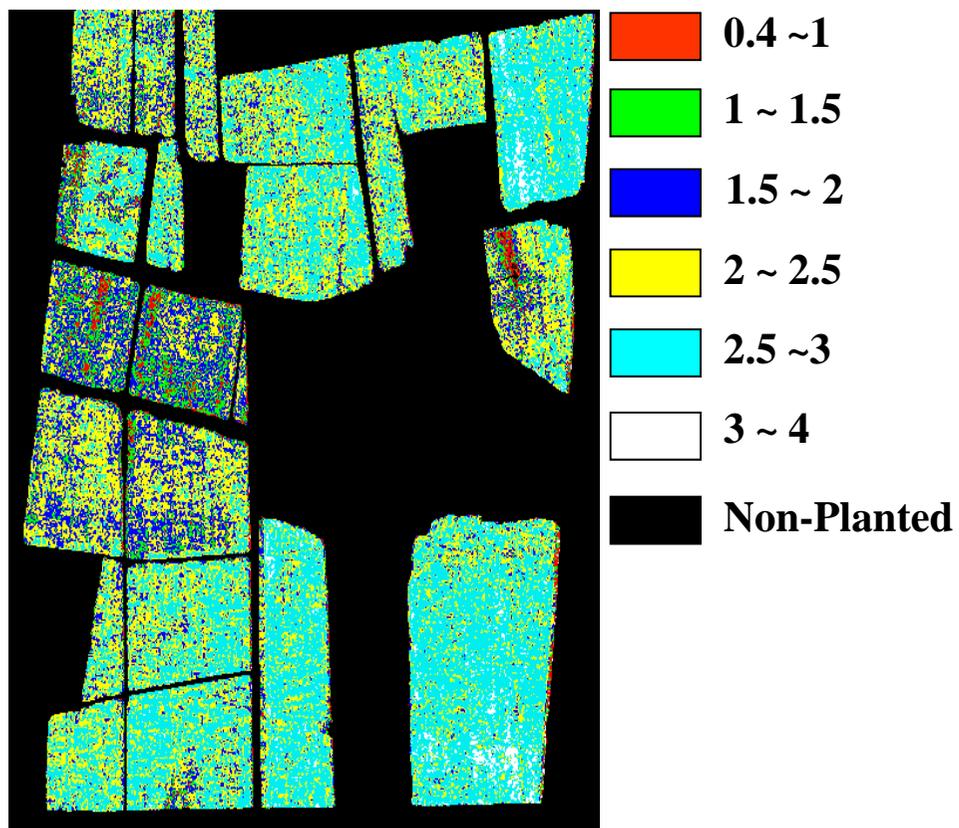
AVIRIS Sept. 3, 1993 Data

U. S. Geological Survey

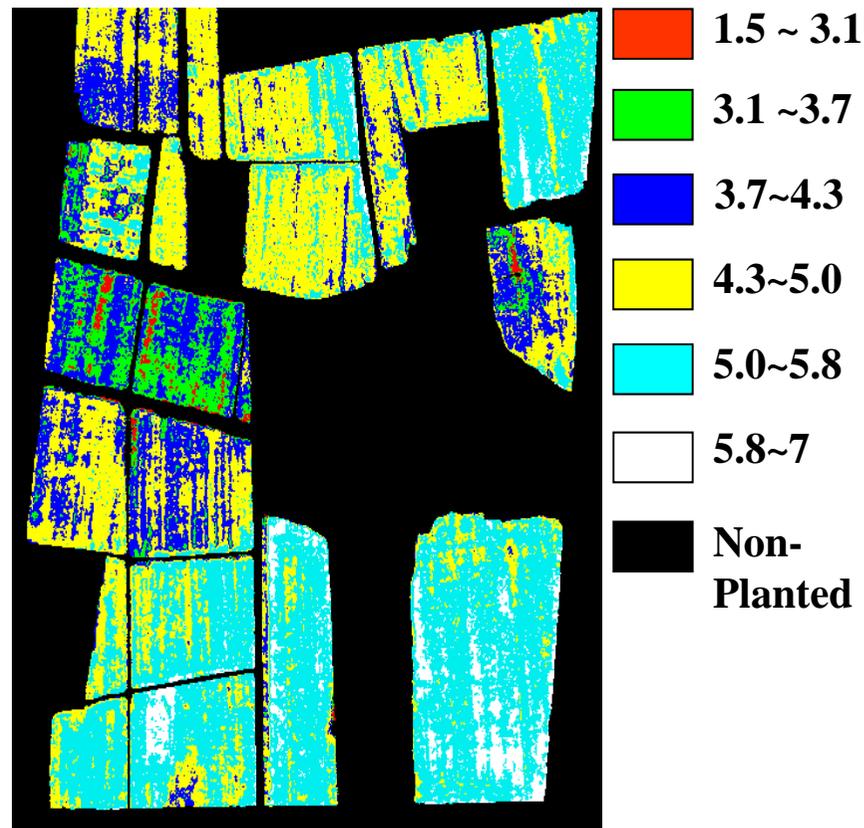


Bio-chemical parameter mapping

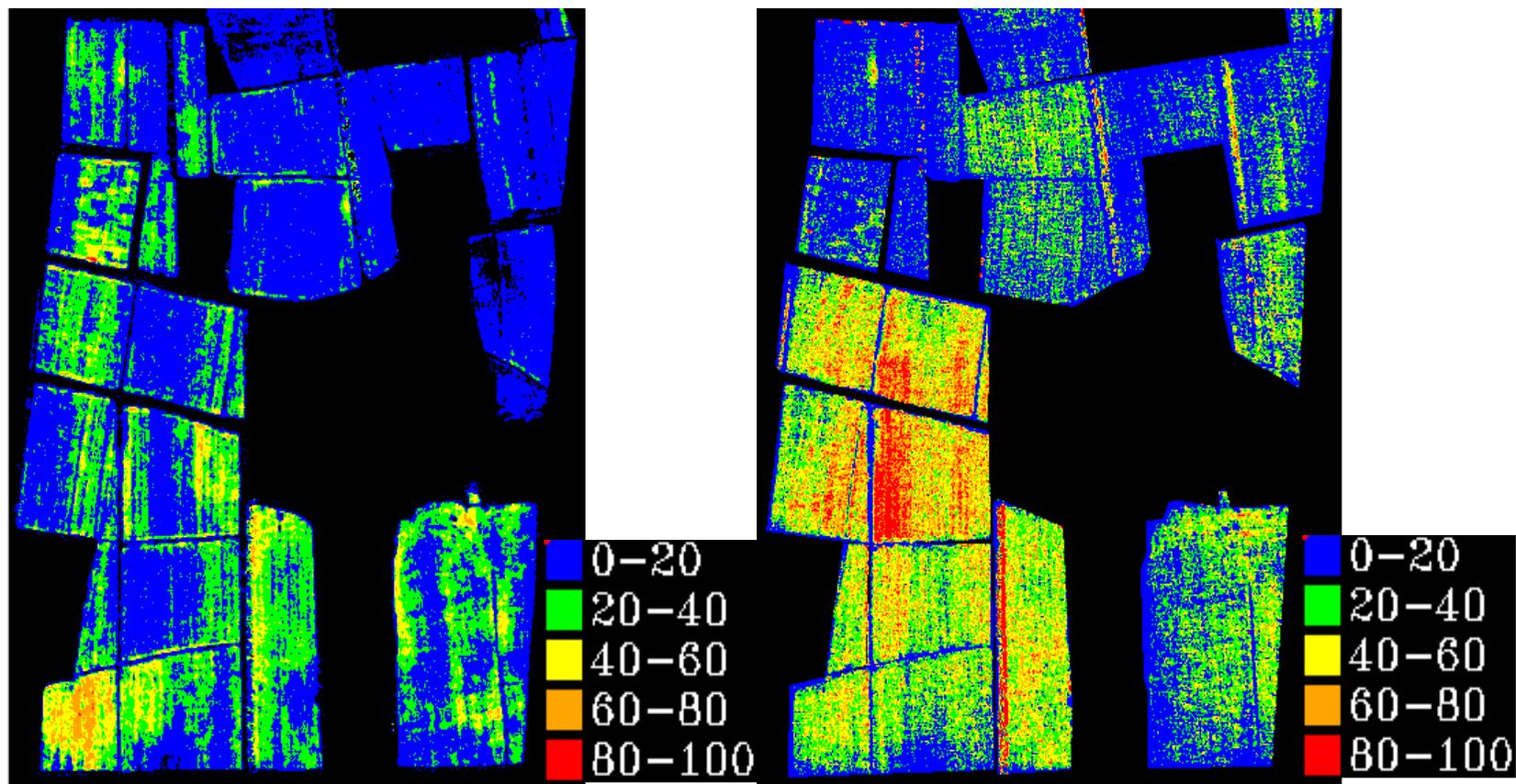
Chlorophyll (mg/g)



Nitrogen (%)

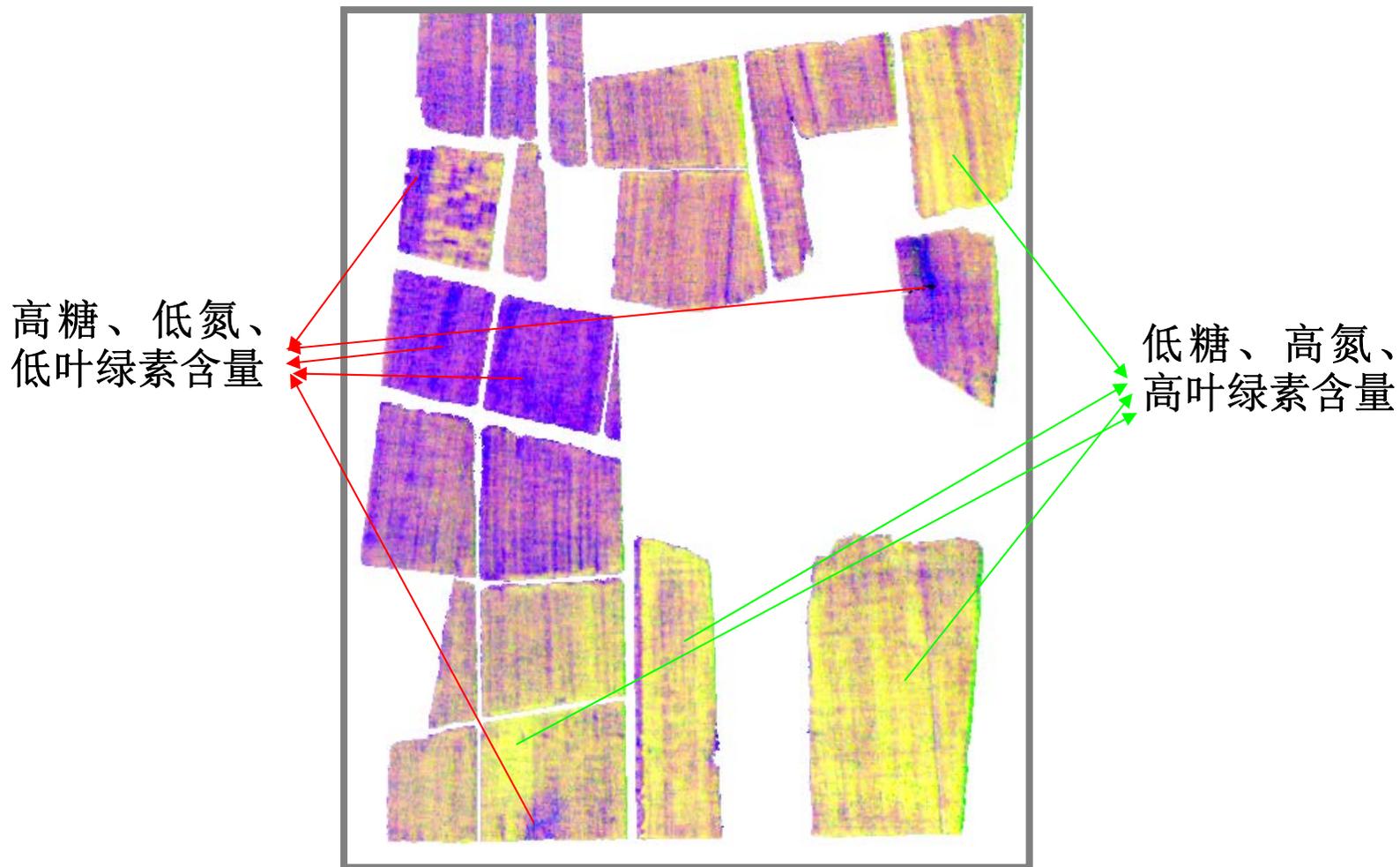


指导精准农业的变量施肥

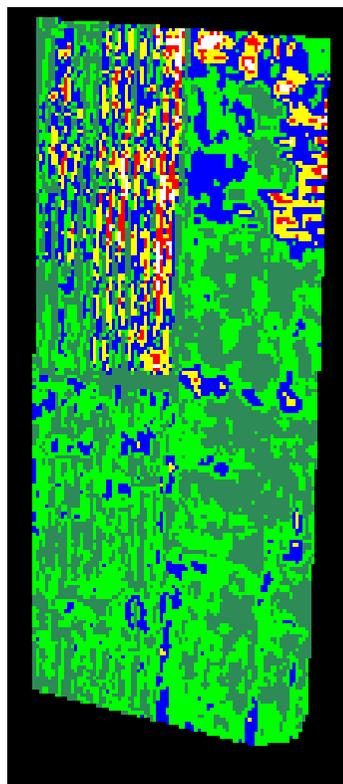


变量施肥处方图 kgN/ha(左为4月11日,右为26日)

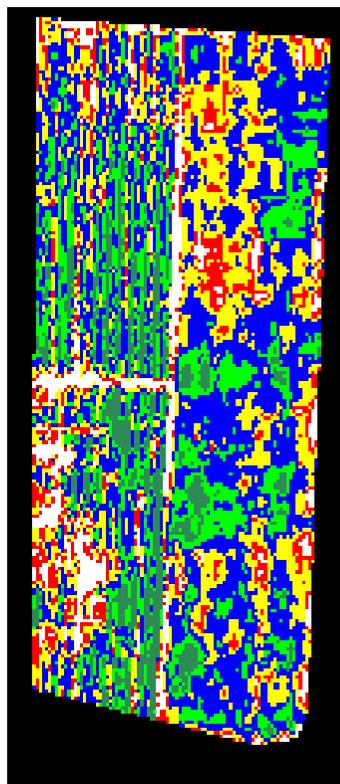
● 小麦蛋白质含量预测



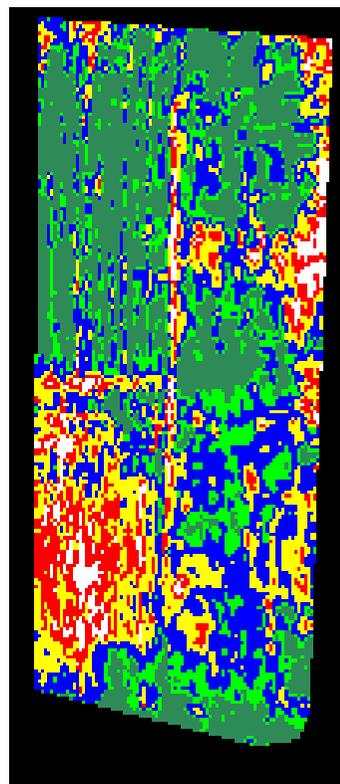
作物病虫害监测



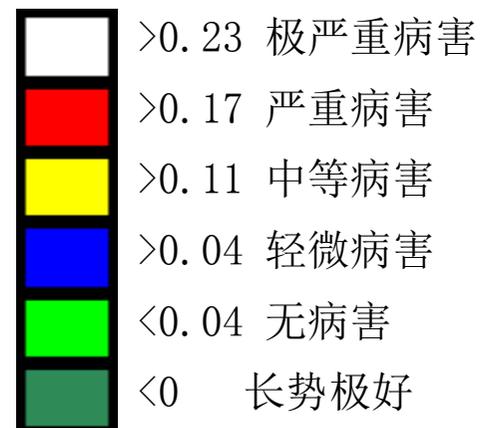
拔节期



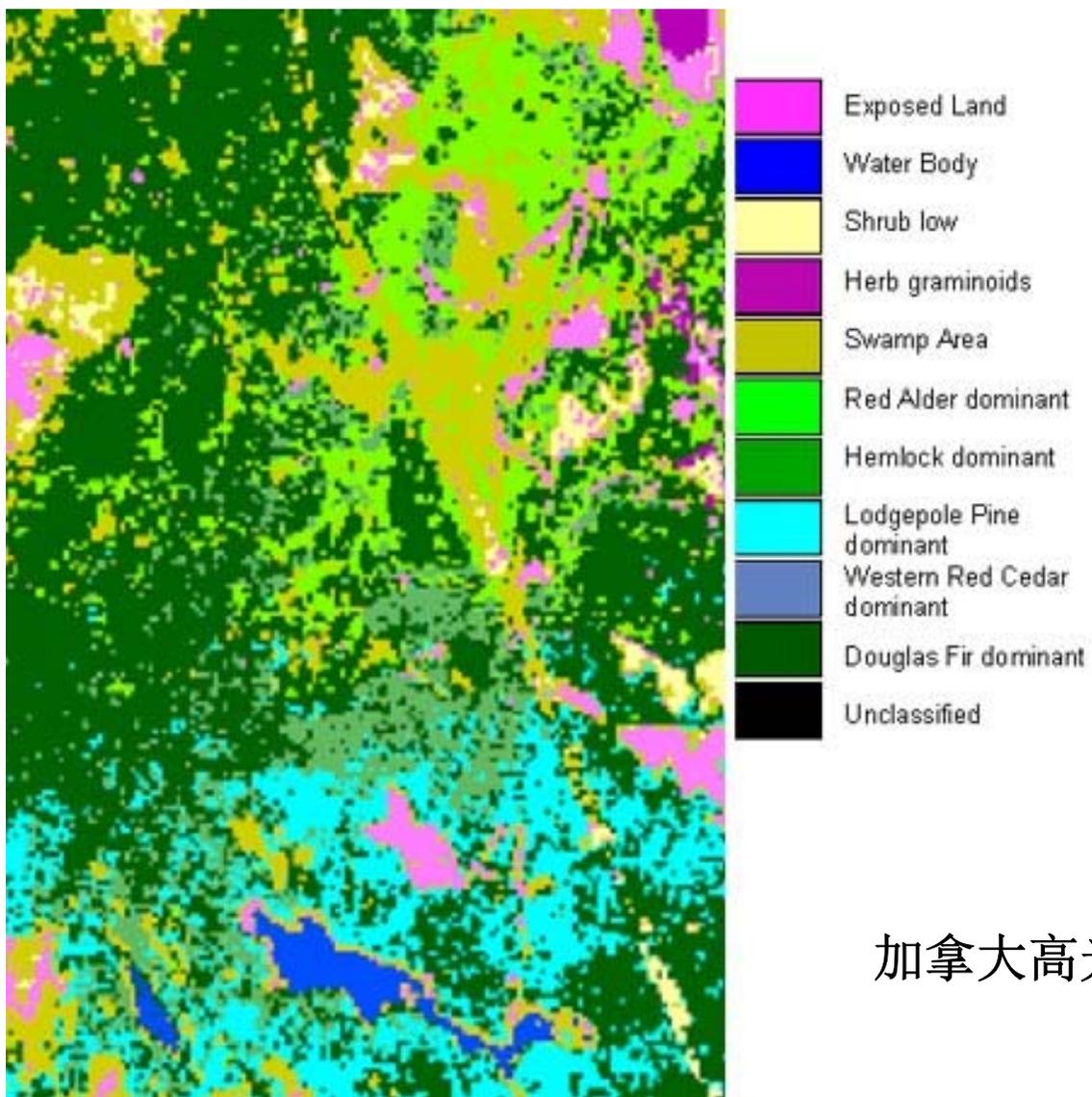
灌浆期



乳熟期

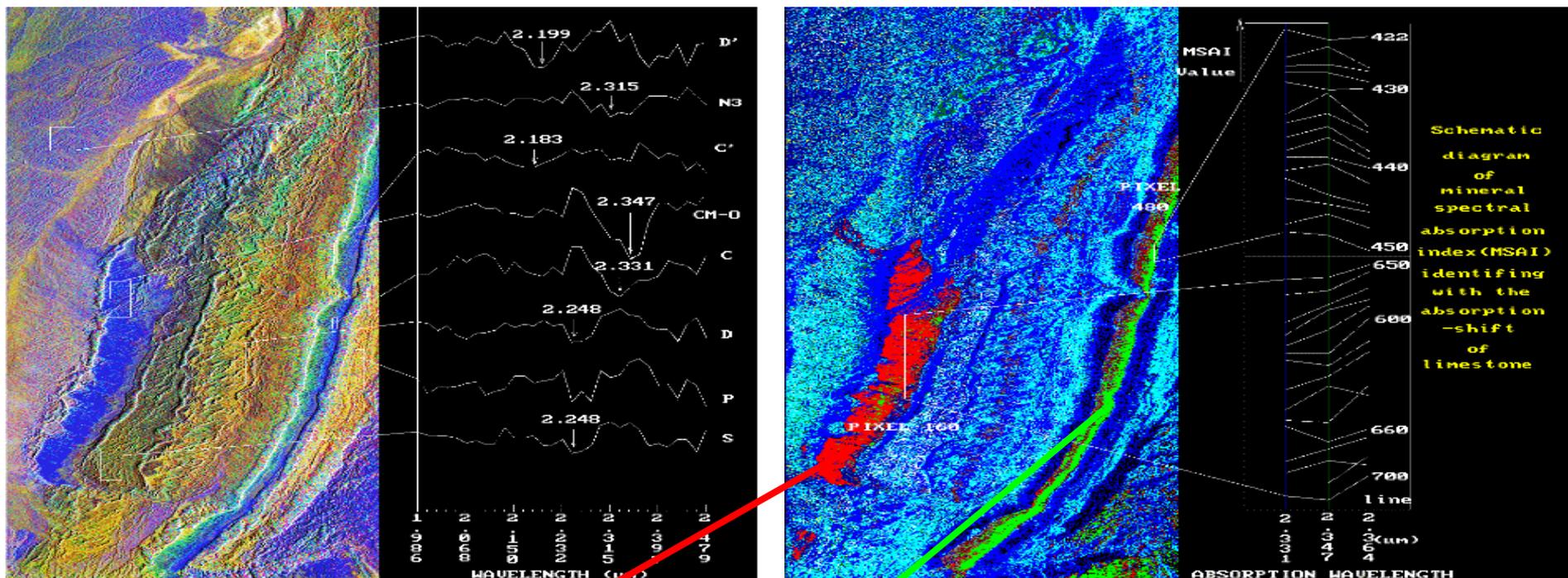


# 高光谱遥感应用—林业调查



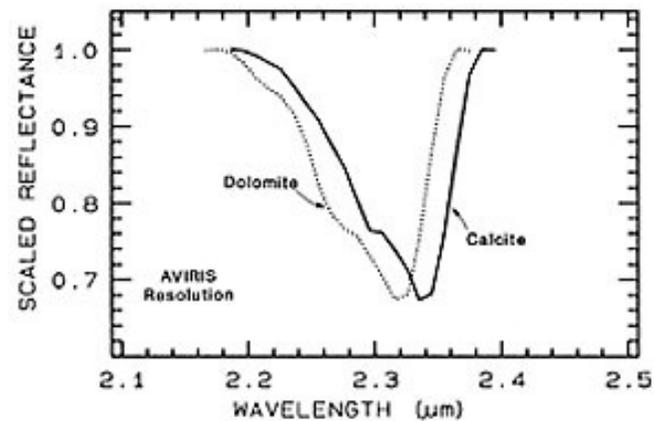
加拿大高光谱遥感林业调查

# 高光谱遥感应用—地矿调查



寒武—奥陶纪石灰岩  
(Calcite- $\text{CaCO}_3$ )

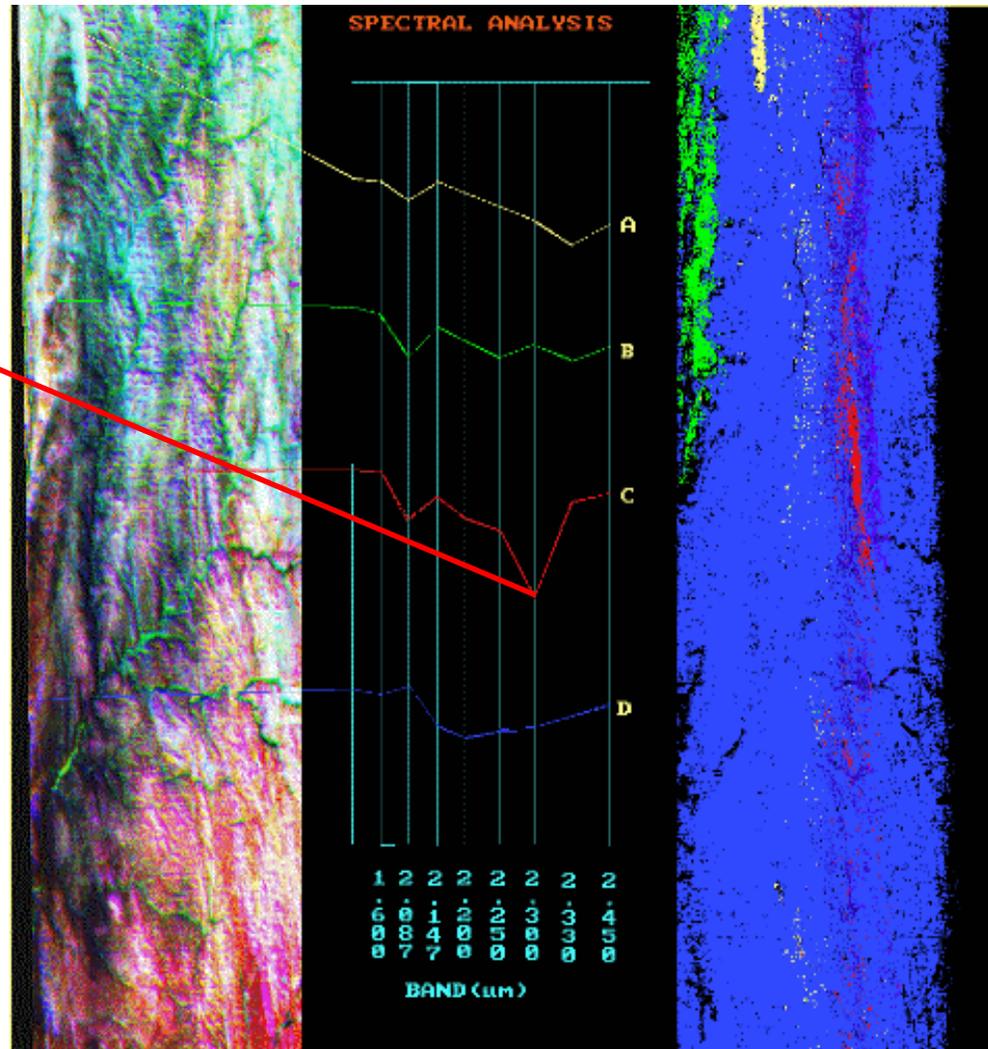
二叠纪白云岩  
(Dolomite- $\text{MgCO}_3$ )



# 高光谱遥感应用—地矿调查

Spectral absorption (SAI  
2.295 $\mu\text{m}$ ) showed the  
chloritization alteration

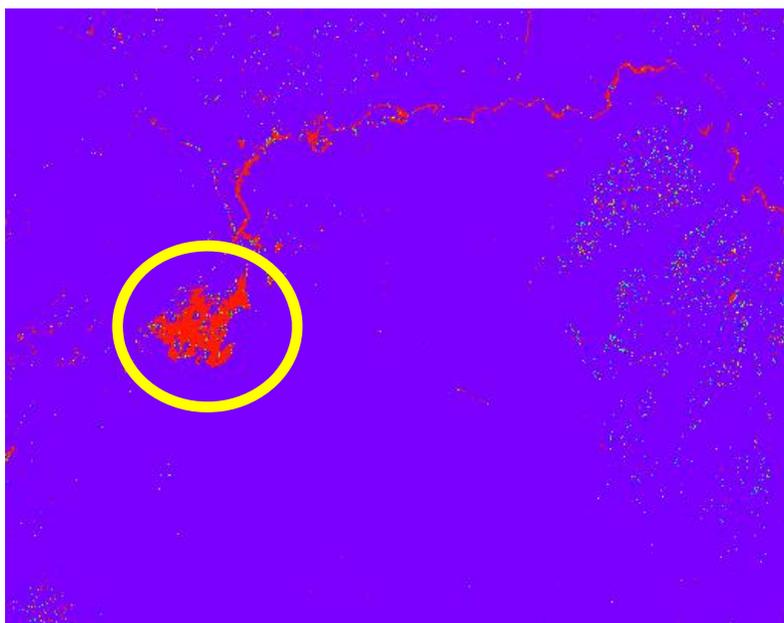
Gold exploration in Hatu of  
Xinjiang province.



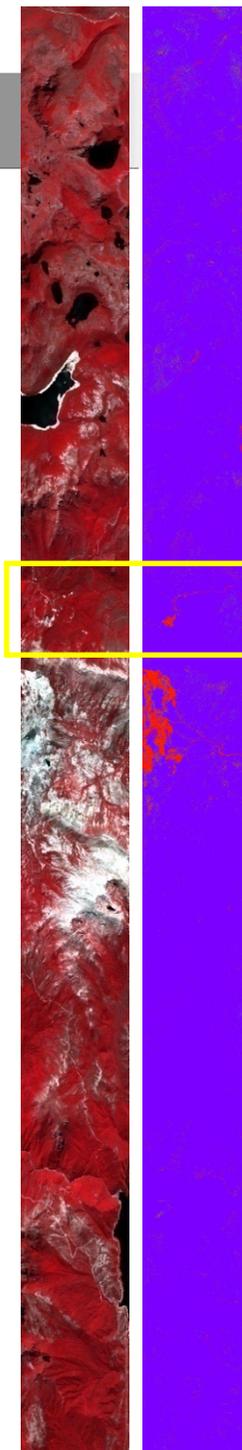
# 高光谱遥感应用—地矿调查



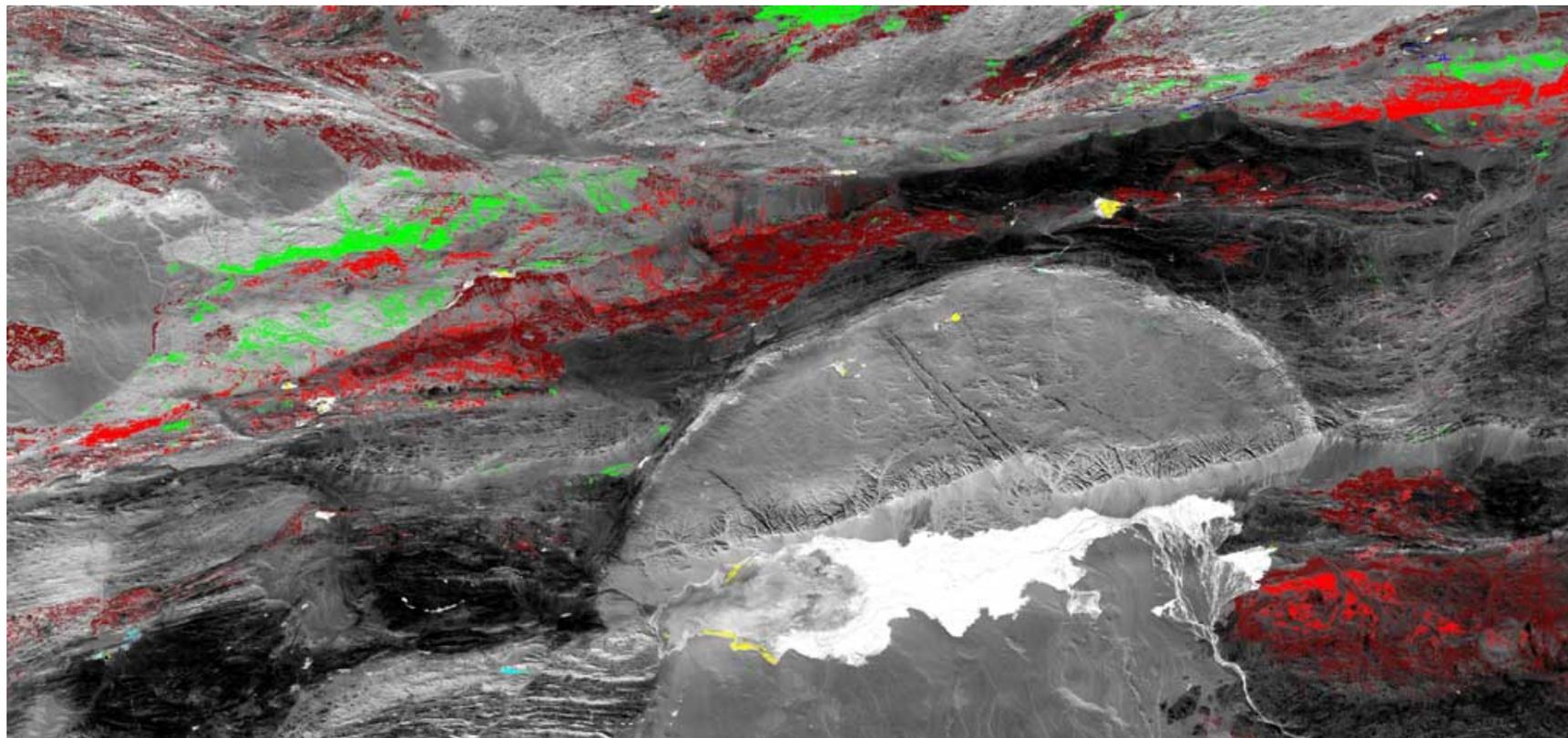
赤铁矿探测



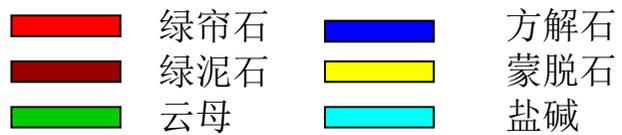
澳大利亚塔斯  
马尼亚岛



# 高光谱遥感应用—地矿调查



岩矿填图结果:



## 高光谱遥感应用—地质矿产调查

目地：

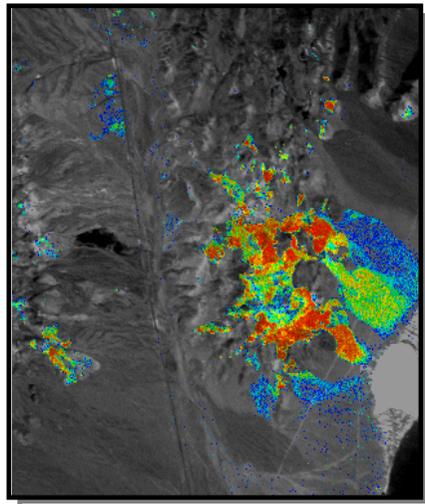
加深对地质作用过程的理解  
提供信息性更强的地质图件  
使矿产勘探更经济合理  
改善采矿中的品位控制  
直接探测矿化

要得到的数据：(空间分布)

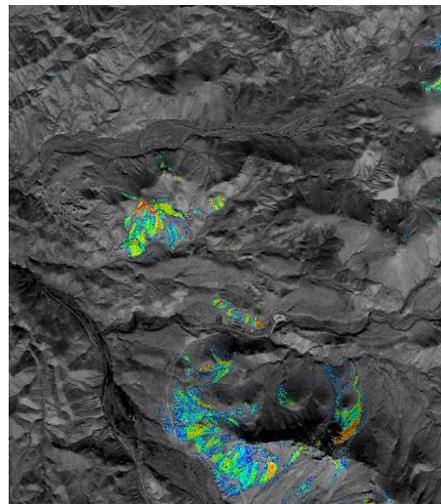
矿物种类

矿物丰度

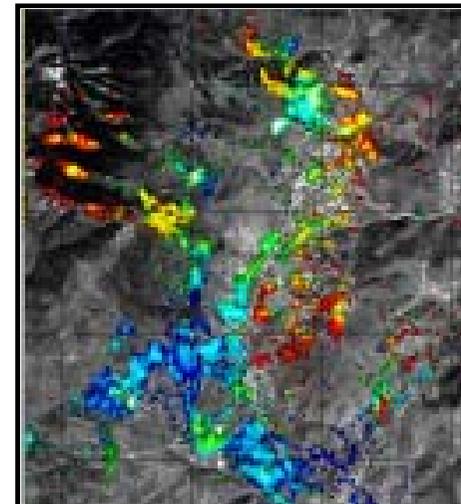
矿物化学成份



矿物种类分布

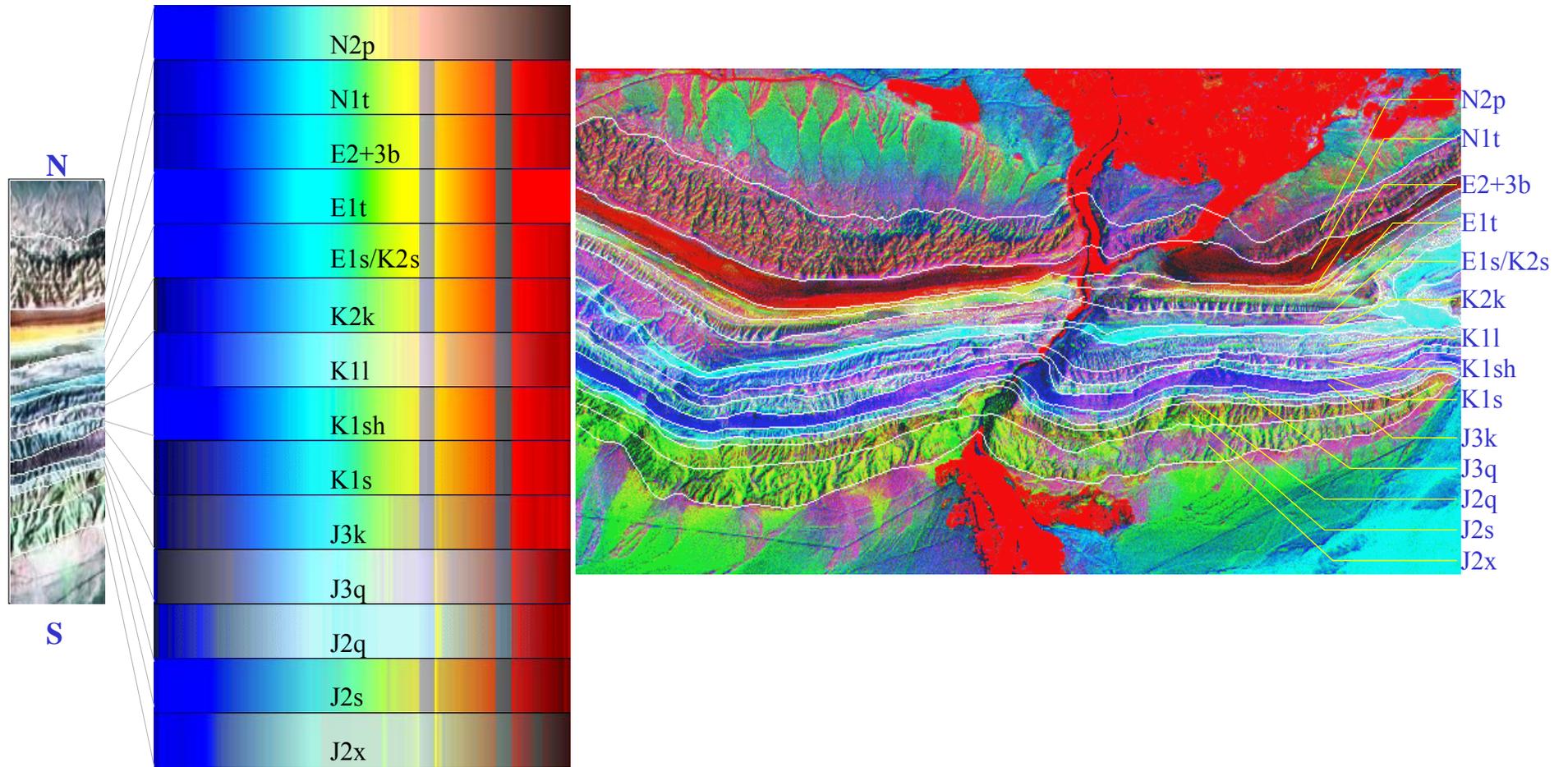


矿物相对含量变化



矿物化学成份变化

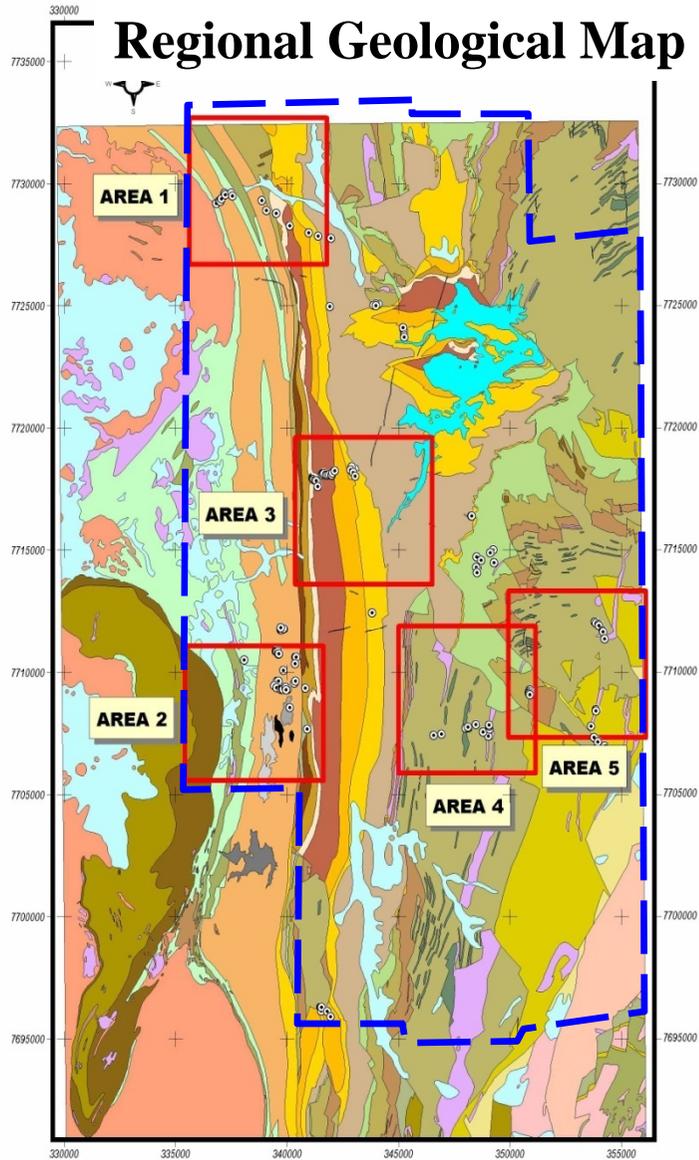
# 高光谱遥感应用—地矿调查



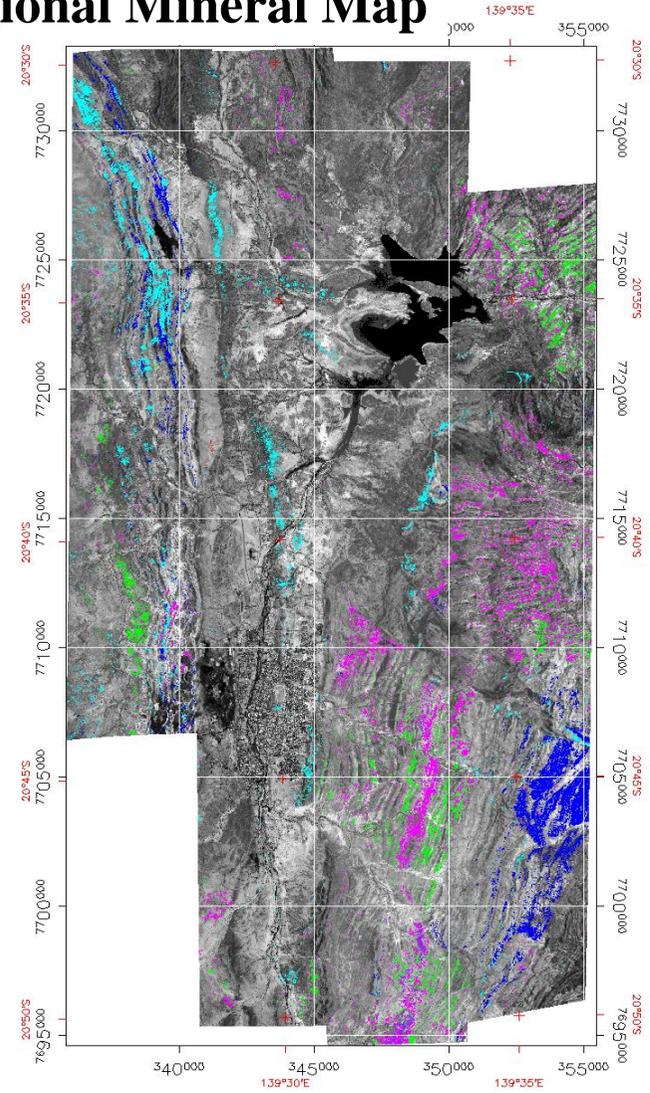
400 wavelength (nm) 2500

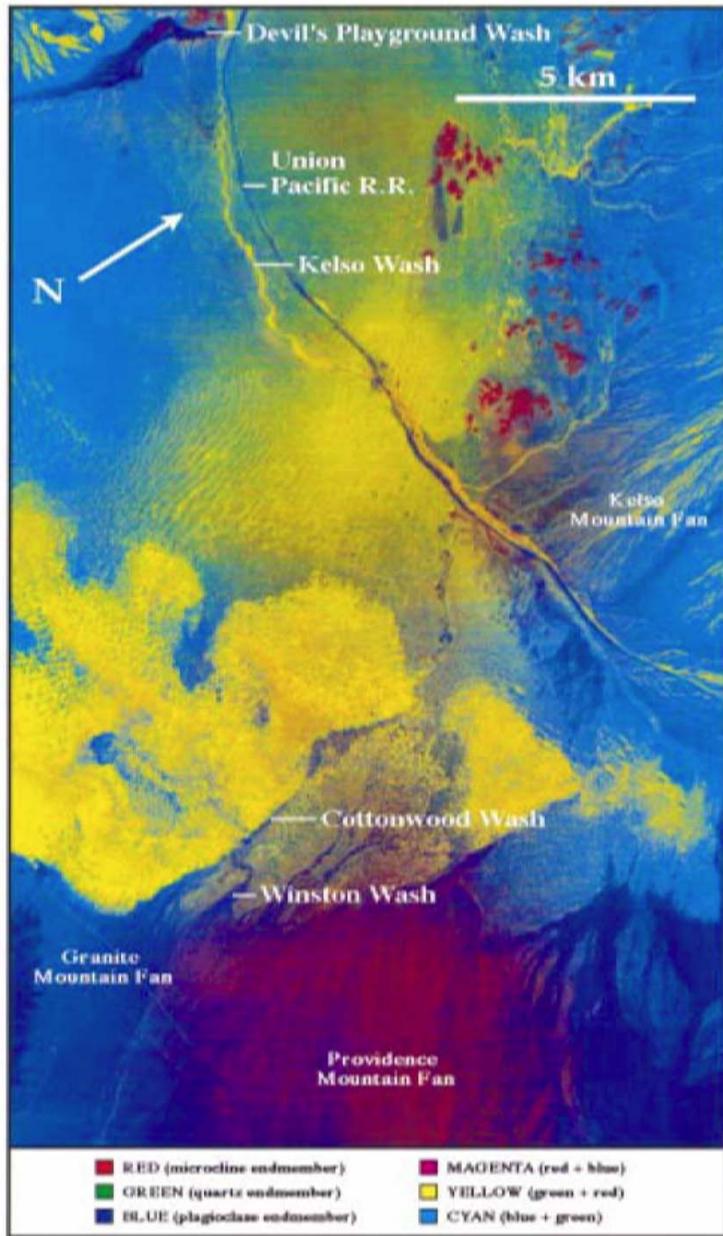
Spectral Histogram of Stratum

# 高光谱遥感应用—地质矿产调查



## Regional Mineral Map



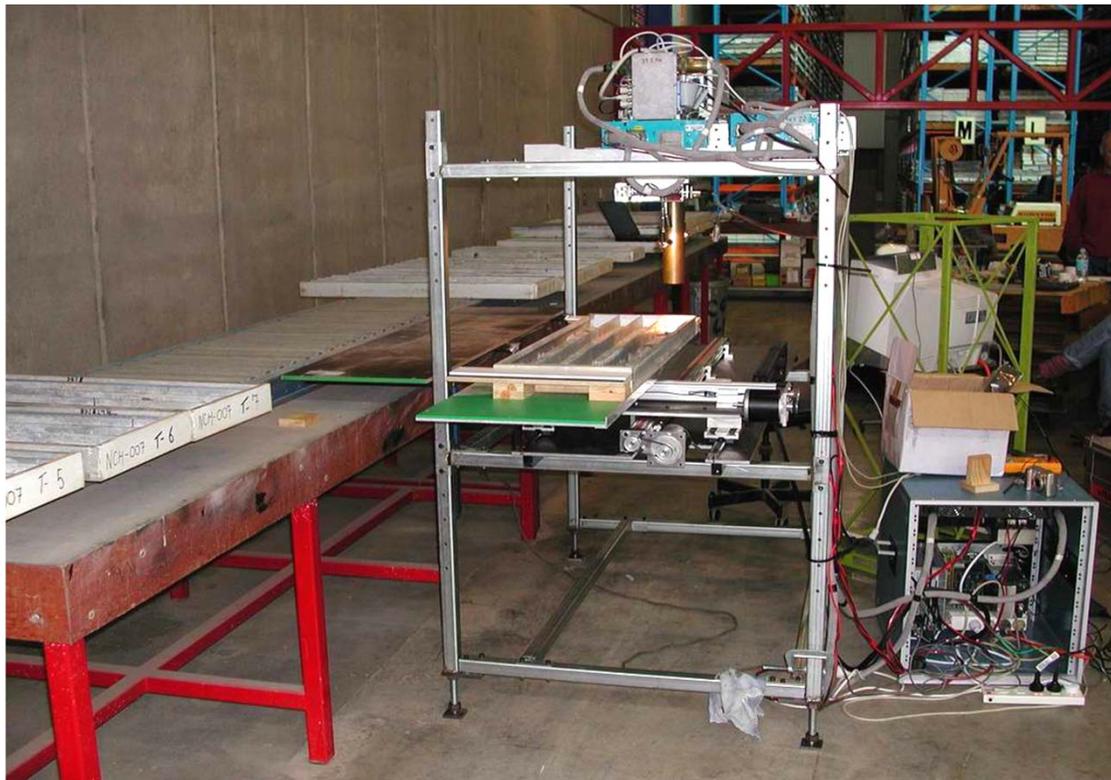


## 沙尘暴成分探测

**Kelso dune, Eastern Mojave Desert  
California  
TMS 图像**

红：微斜正长石  
绿：石英  
兰：奥长石

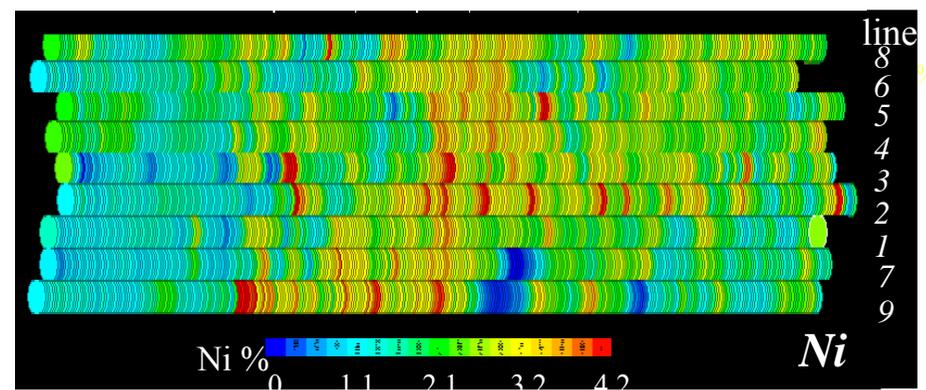
# 高光谱遥感应用—岩矿样本室内分析



Spectrometer  
subsystem

Automatic x/y  
transport subsystem

Control computer  
subsystem



## 针叶林端元光谱曲线



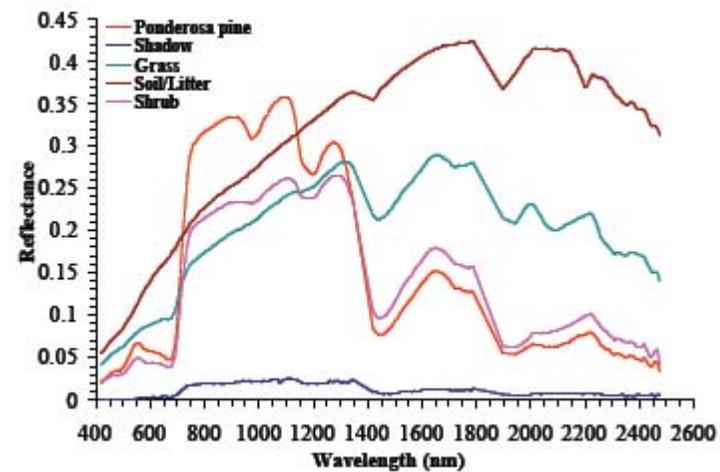
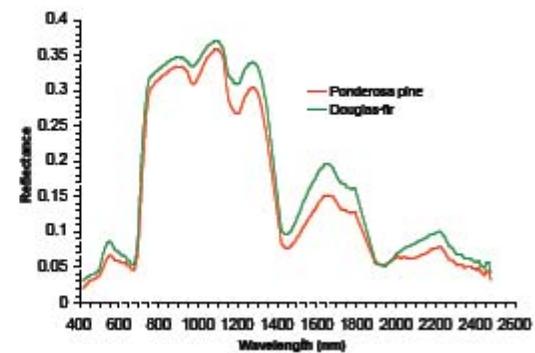
Live canopy

Grass

Shade

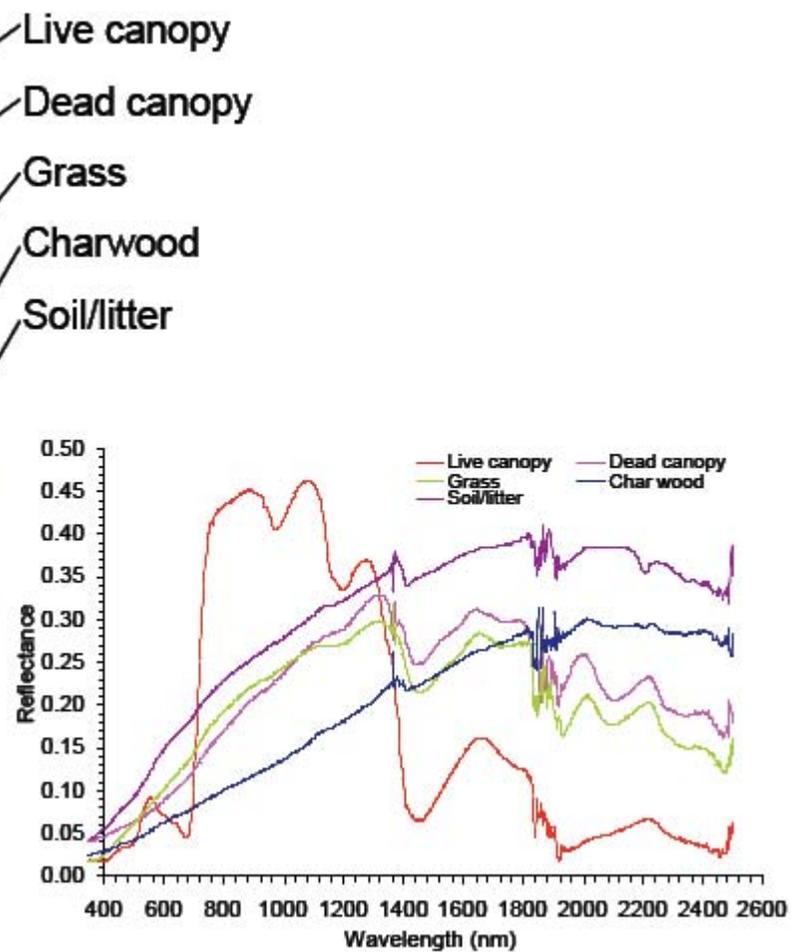
Soil/Litter

Shrub



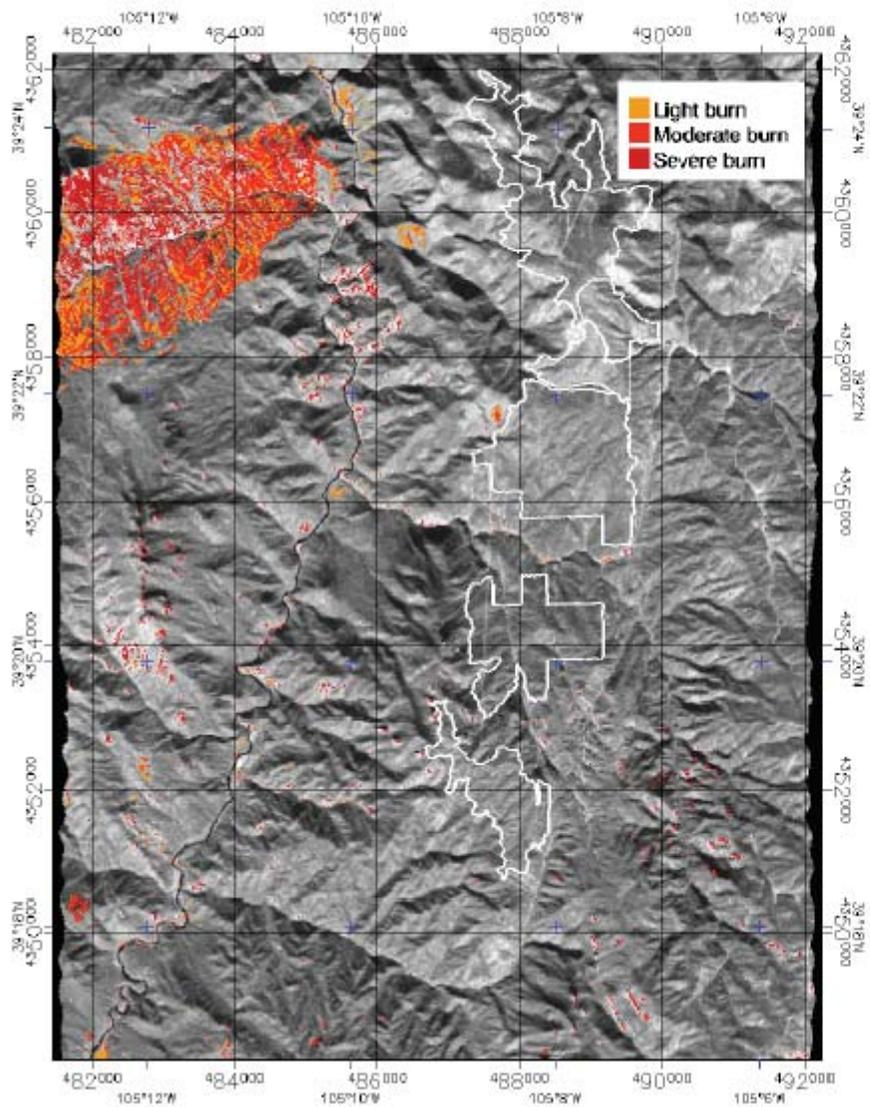
# 高光谱遥感应用—森林火灾监测与预警

## 燃烧后森林端元光谱



# 高光谱遥感应用—森林火灾监测与预警

## 燃烧严重程度

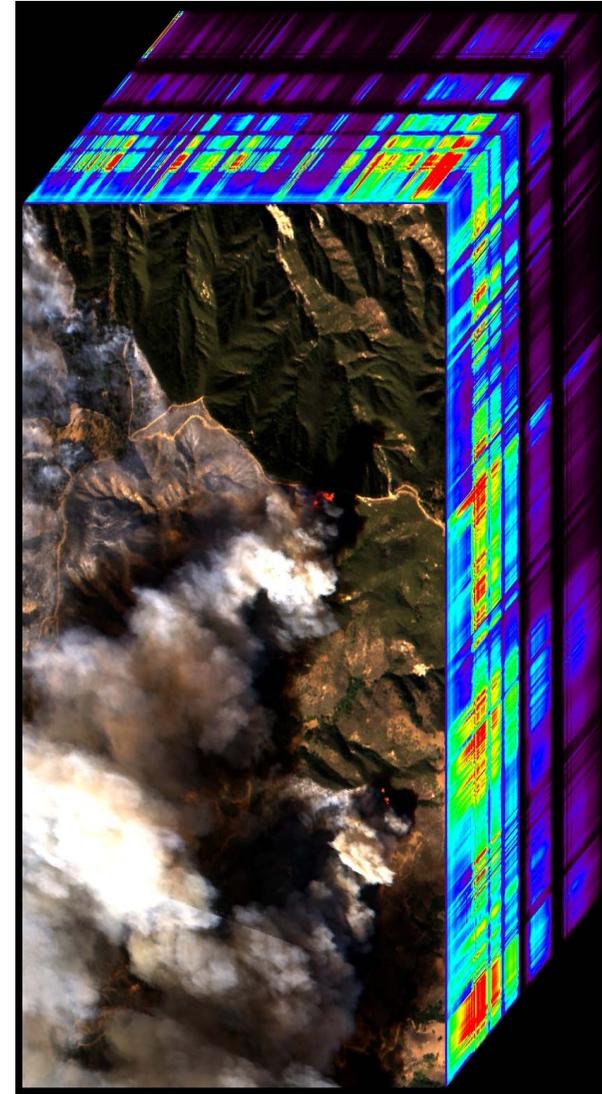
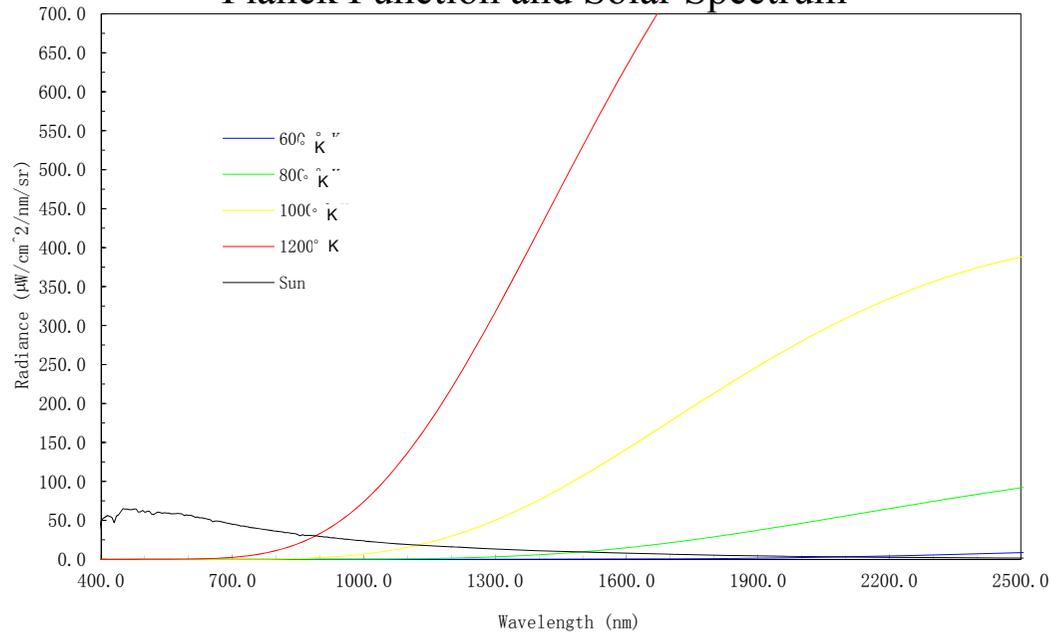


# 高光谱遥感应用—森林火灾监测与预警

## 2003年秋天美国加州火灾

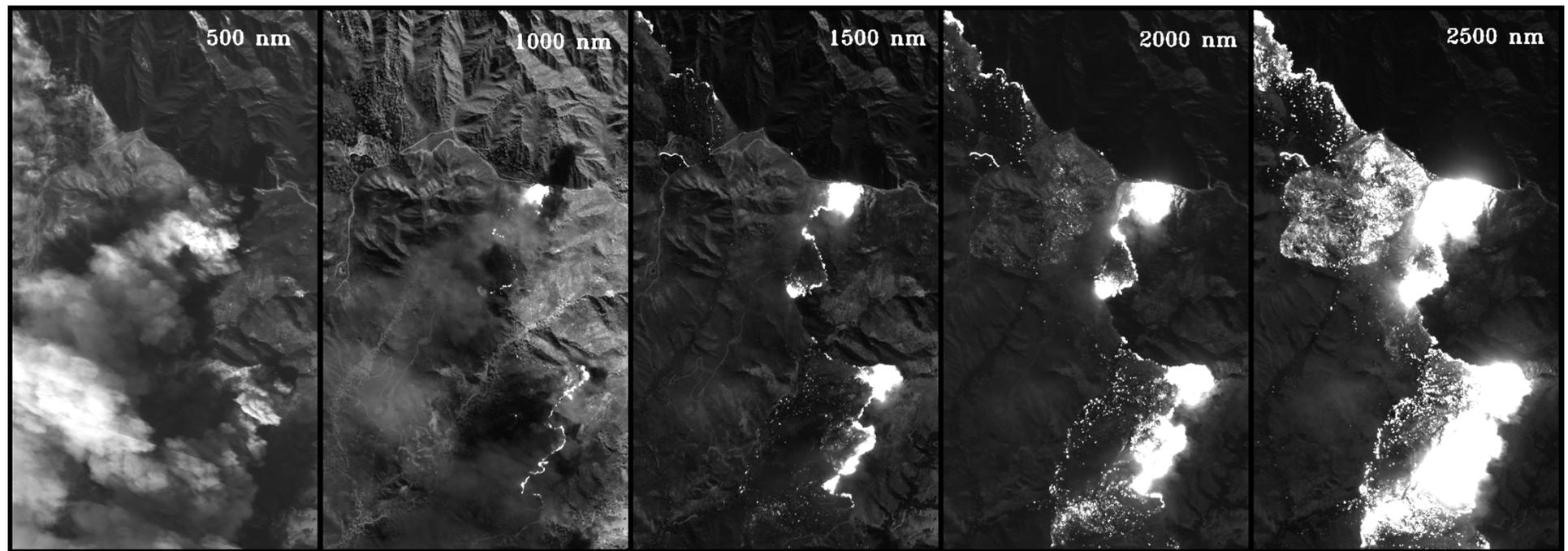


Planck Function and Solar Spectrum

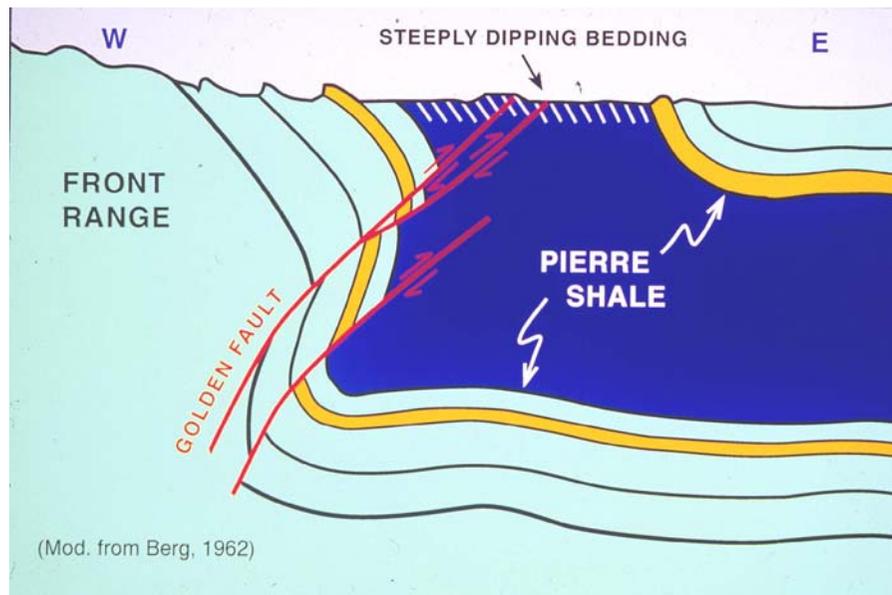


## 高光谱遥感应用—森林火灾监测与预警

美国加州Simi山谷高光谱图像——火场不同波段显示



# 高光谱遥感应用—地面沉降研究



- 地表膨胀性光谱研究



中国膨胀土面积10万平方公里

变形、不均匀沉降、滑坡等危害

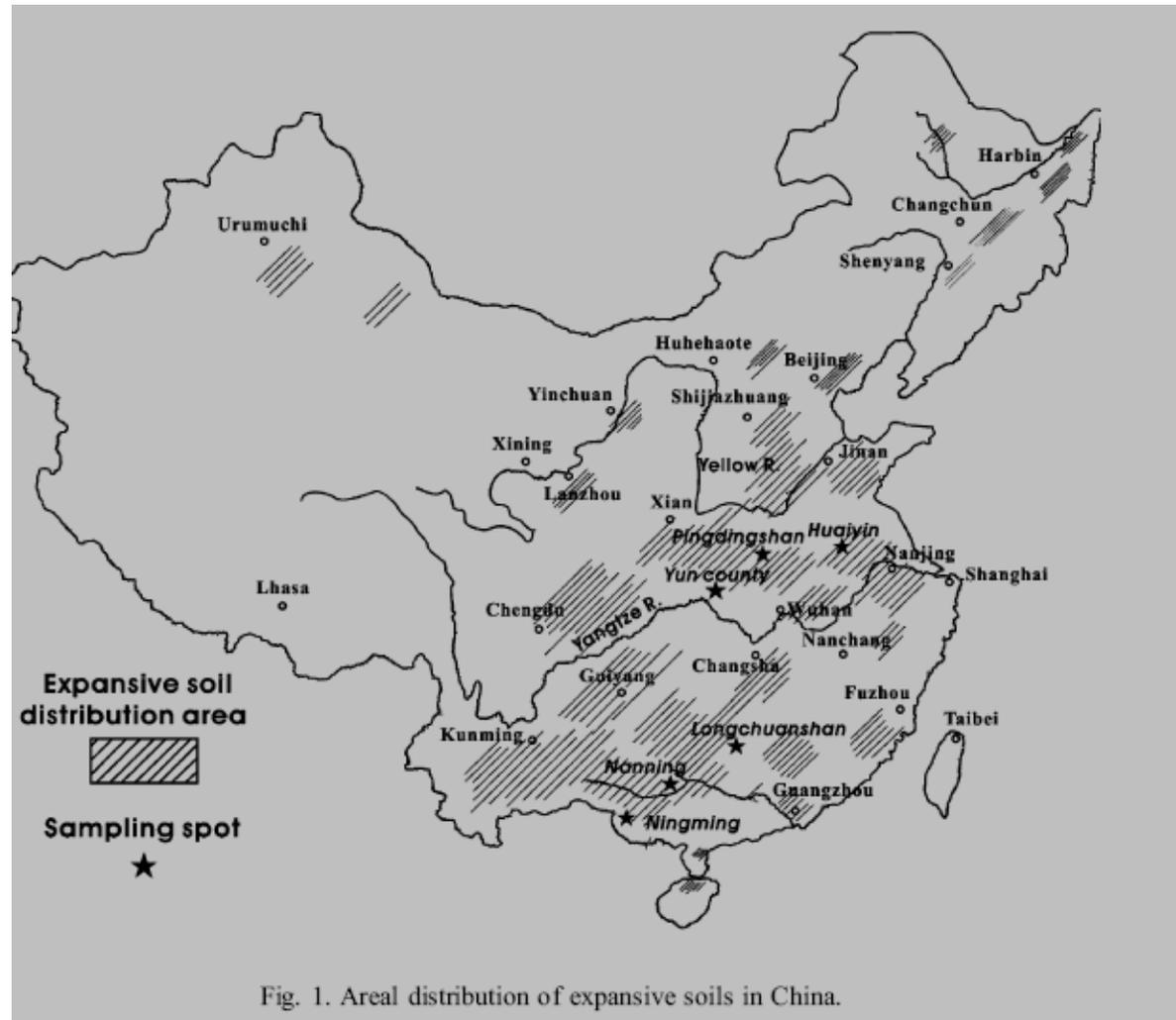
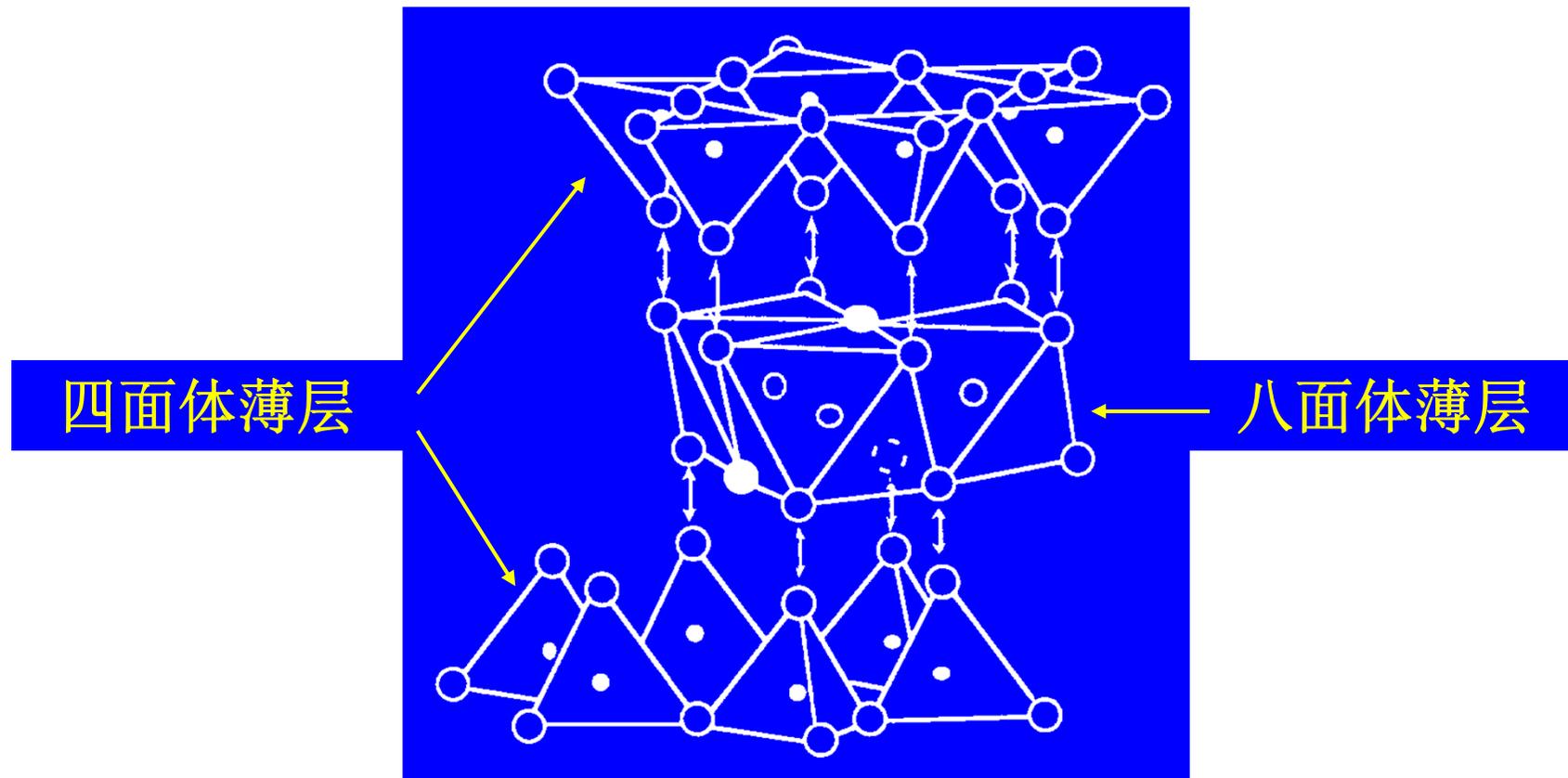


Fig. 1. Areal distribution of expansive soils in China.

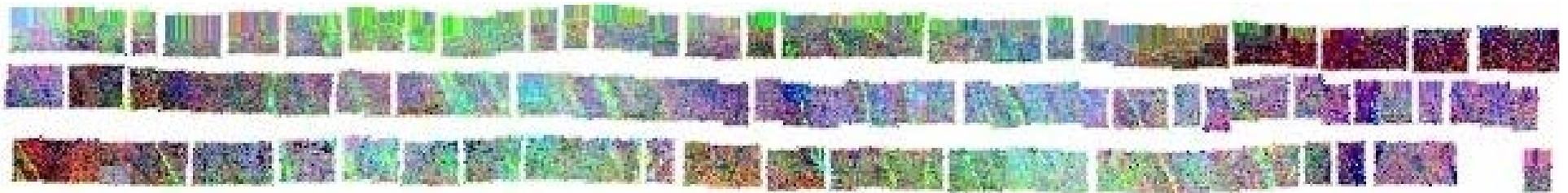
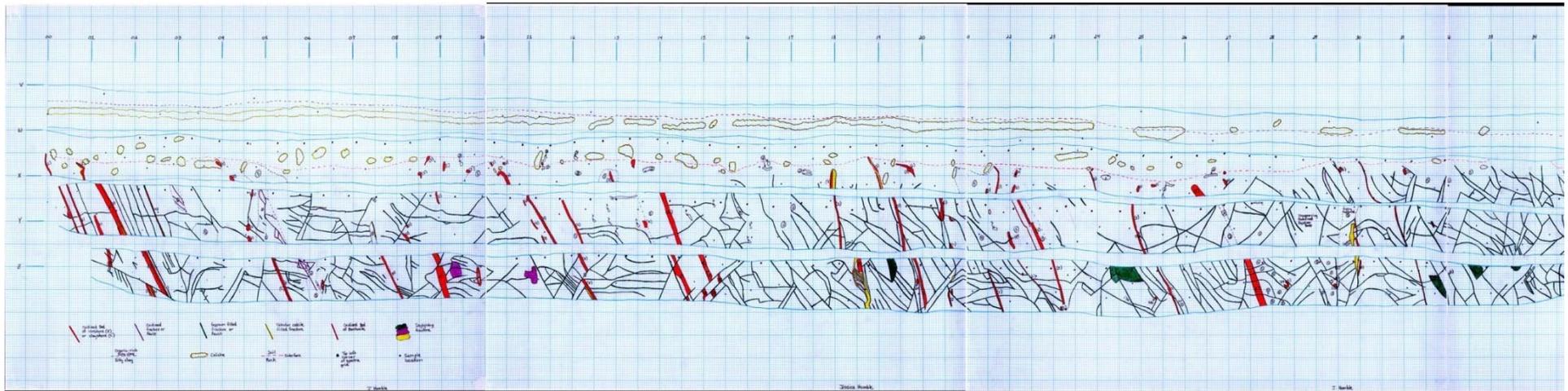
**PHYLLOSILICATES**（页硅酸盐）：

含水的铝硅酸盐八面体矿物+四面体Si-O薄片





# 沟渠断面光谱图



# 高光谱遥感应用—城市调查

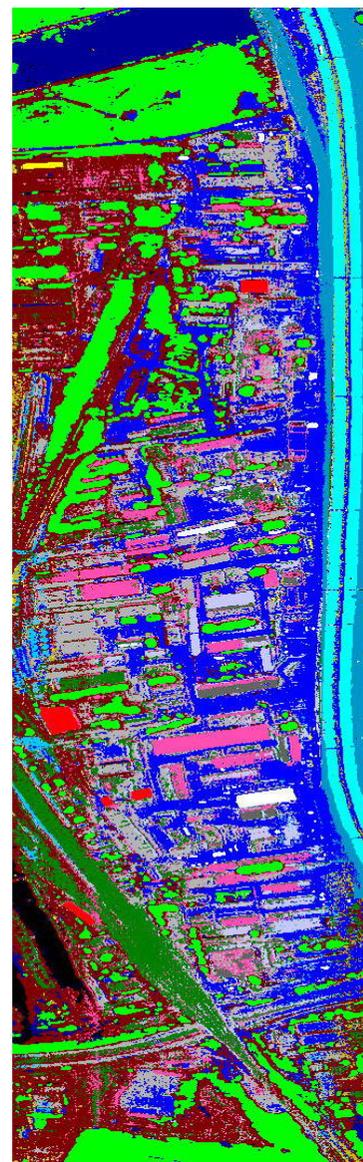


图 例

- 植被
- 水体
- 煤场
- 高速公路
- 沥青路
- 红色屋顶
- 水泥表面
- 灰红色屋顶
- 灰色石棉瓦
- 白色屋顶
- 屋顶-1
- 油毡屋顶
- 铁路
- 青瓦屋顶
- 白色石棉瓦
- 金属罐
- 屋顶-2

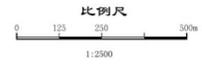
# 高光谱遥感应用—城市地面调查

## 中关村科技园区土地利用专题影像图



图例

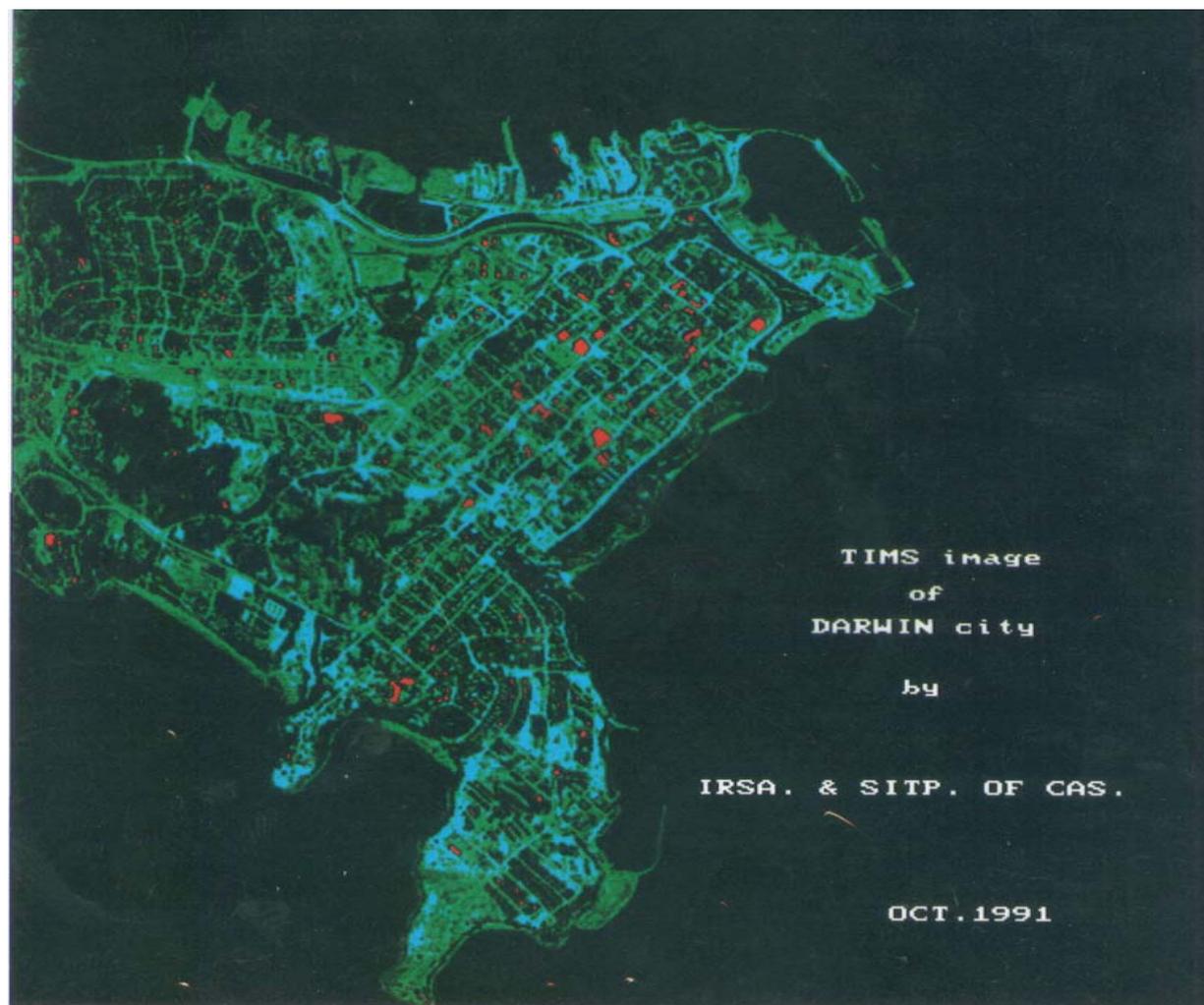
建筑	商业与住宅用地	公共与住宅用地	绿地	水域	未识别
工业用地	农林用地	农林用地	耕地	水域	未识别
工业用地	农林用地	农林用地	耕地	水域	未识别
工业用地	农林用地	农林用地	耕地	水域	未识别
工业用地	农林用地	农林用地	耕地	水域	未识别



国家863-308主题项目  
数据源: 64波段OMIS航空高光谱图像数据  
获取时间: 2000年11月12日

制作单位:  
中国科学院遥感应用研究所  
中国城市规划设计研究院  
中国科学院上海技术物理研究所  
2000年12月

## 高光谱遥感应用—城市调查

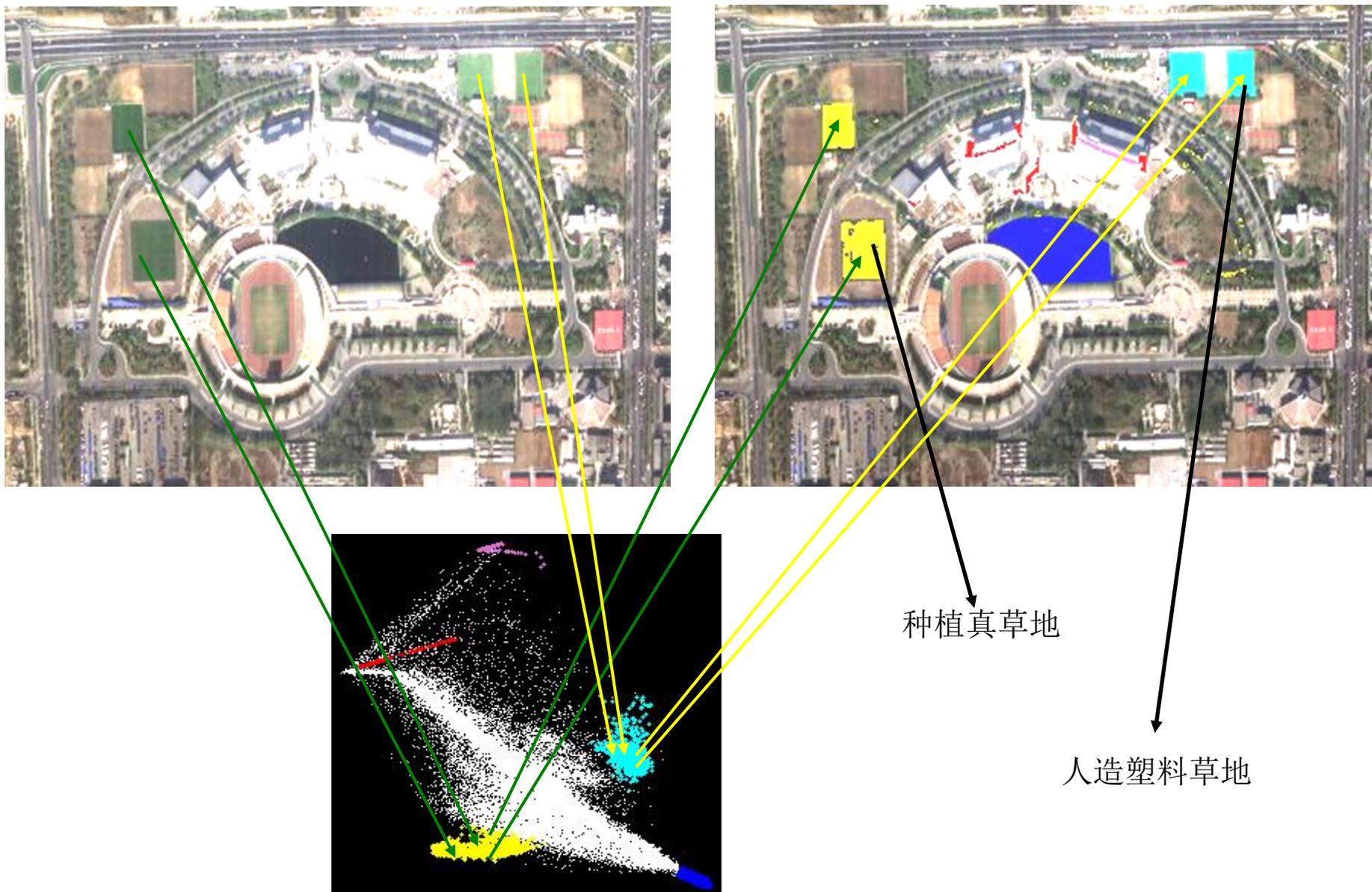


达尔文市能源利用状况探测

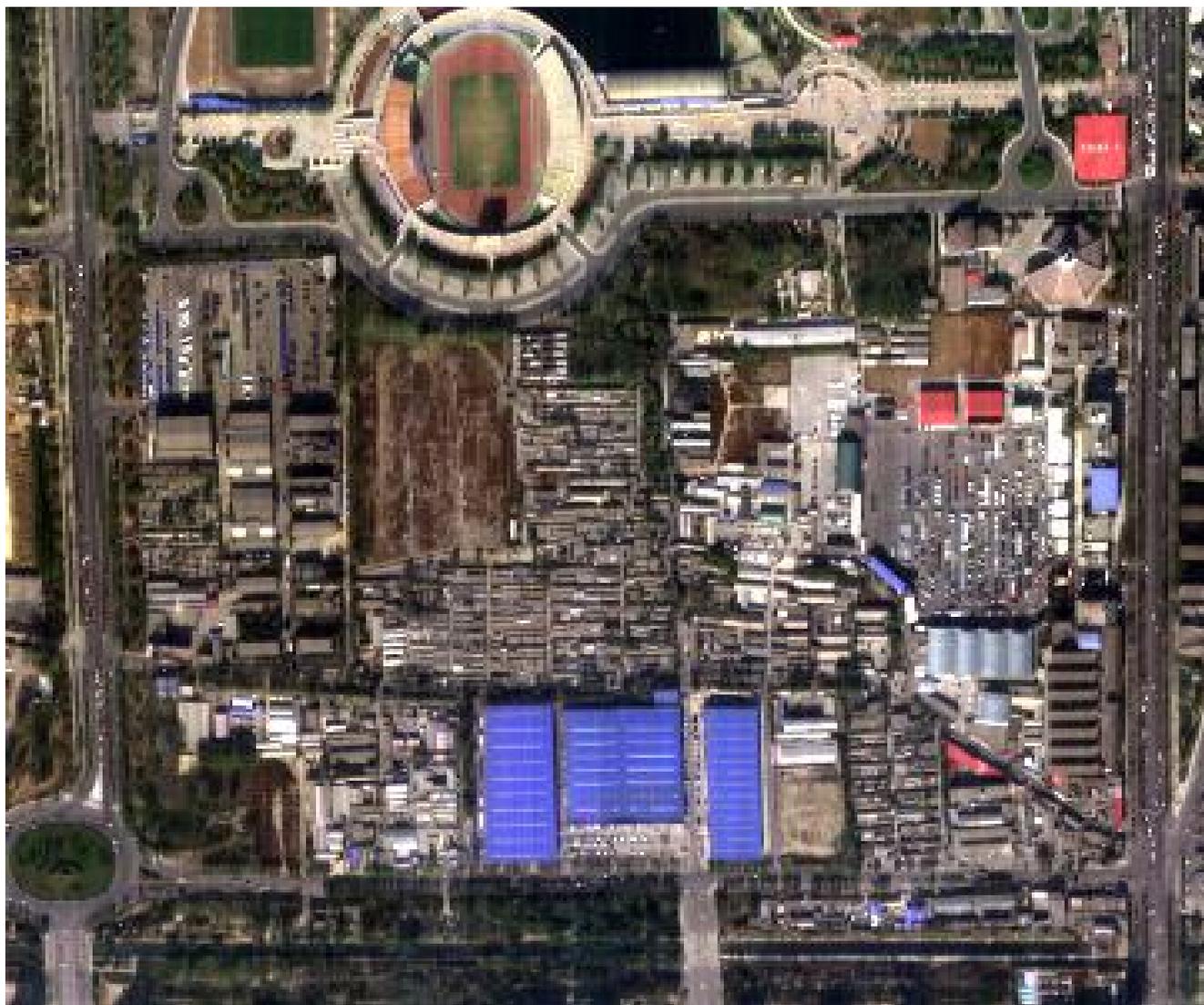
## 高光谱遥感应用—城市调查



# 高光谱遥感应用—城市调查



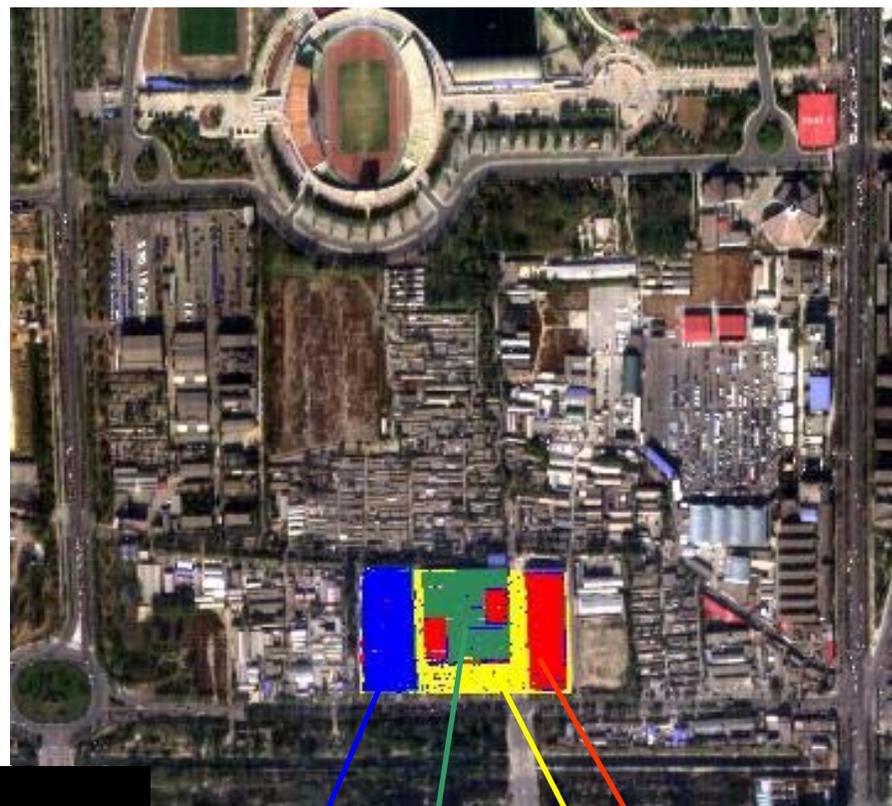
## 高光谱遥感应用—城市调查



# 高光谱遥感应用—城市调查



真彩色图像

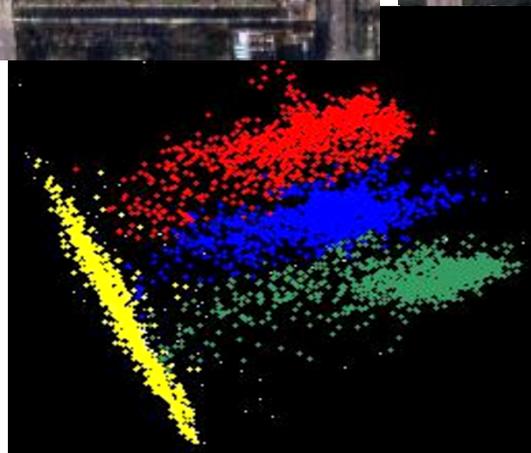


中国造

韩国浦项  
制铁

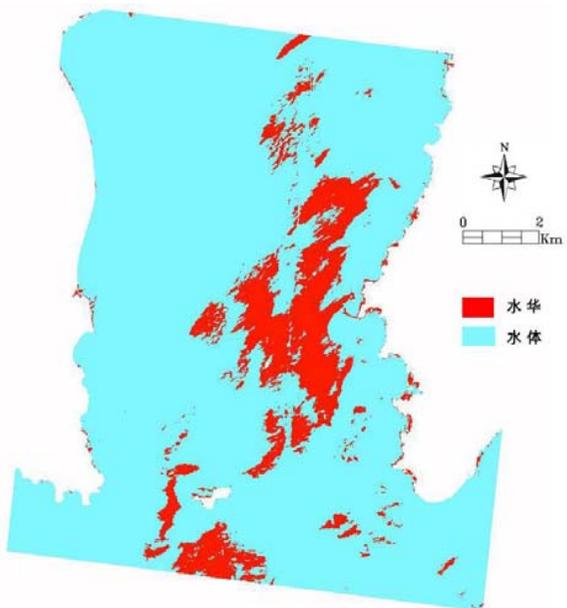
中韩合资  
大连浦项

水泥地面

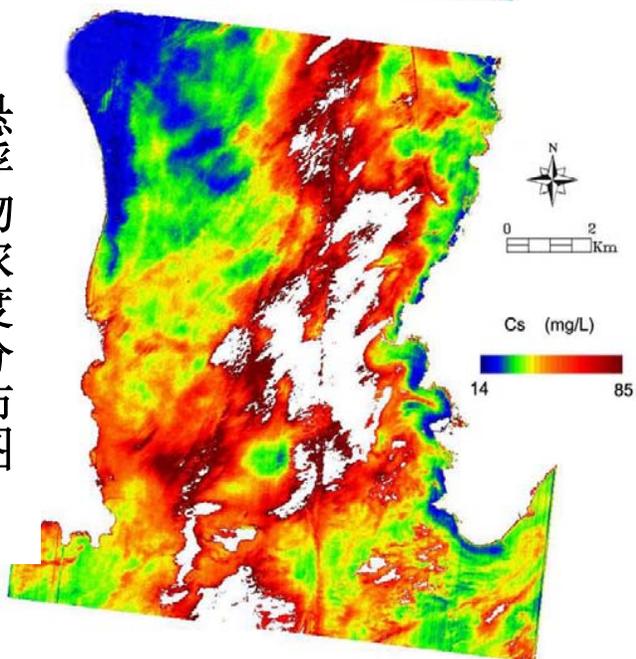


# 高光谱遥感应用—内陆湖泊水质调查

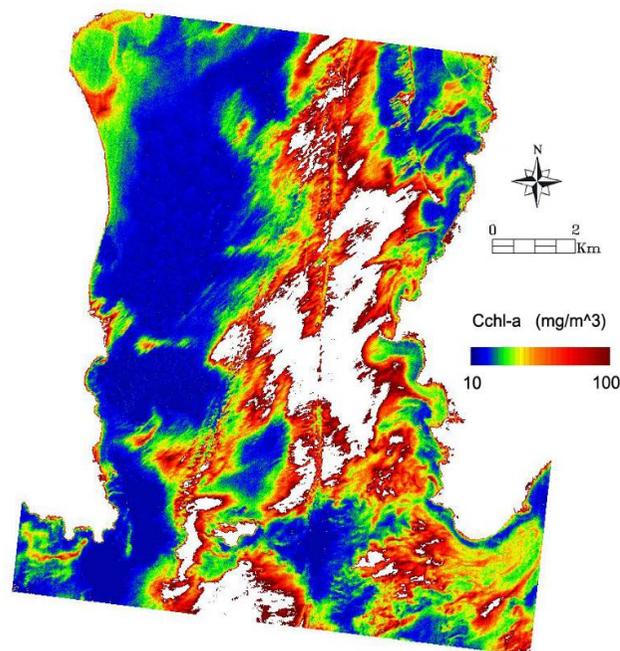
水华分布图



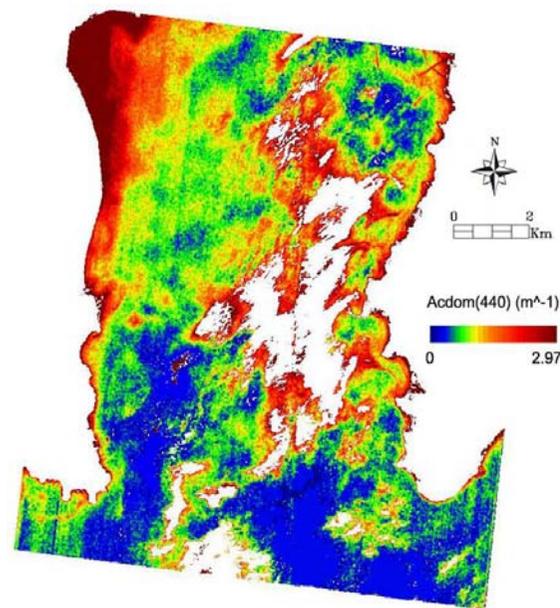
悬浮物浓度分布图



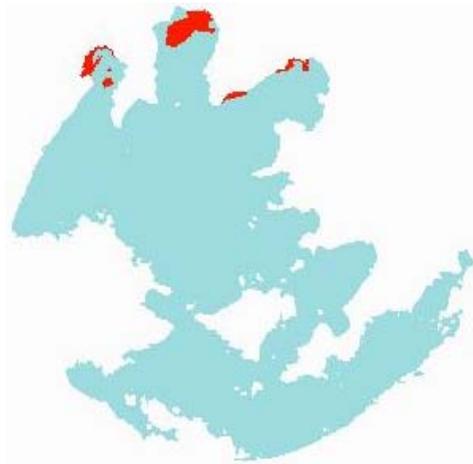
叶绿素a浓度分布图



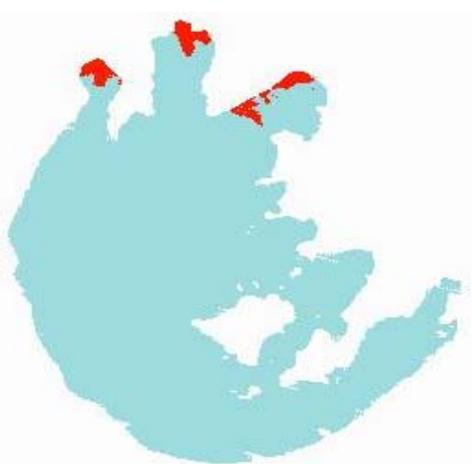
黄色物质浓度分布图



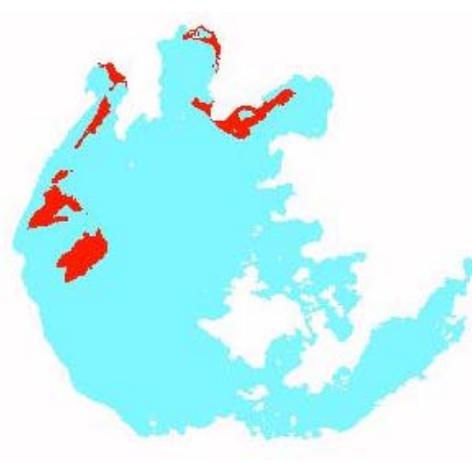
# 高光谱遥感应用—内陆水质监测（水华）



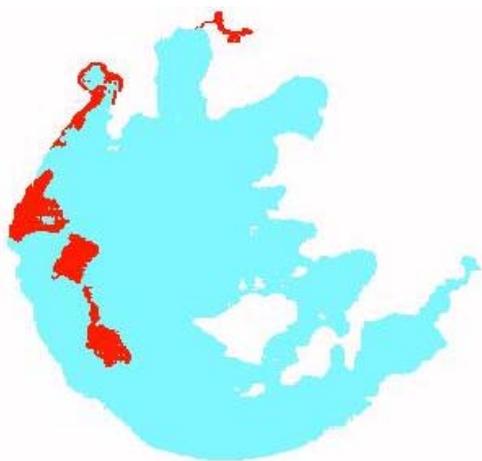
2007年5月10日



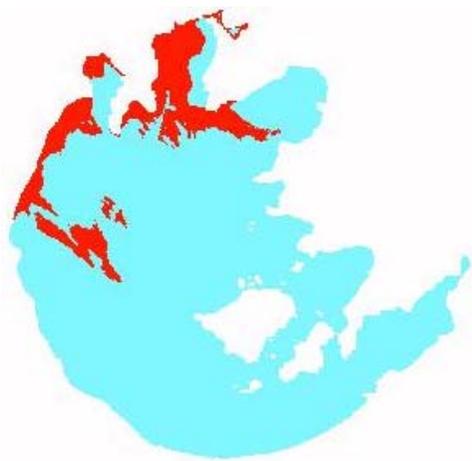
2007年5月11日



2007年5月13日



2007年5月14日

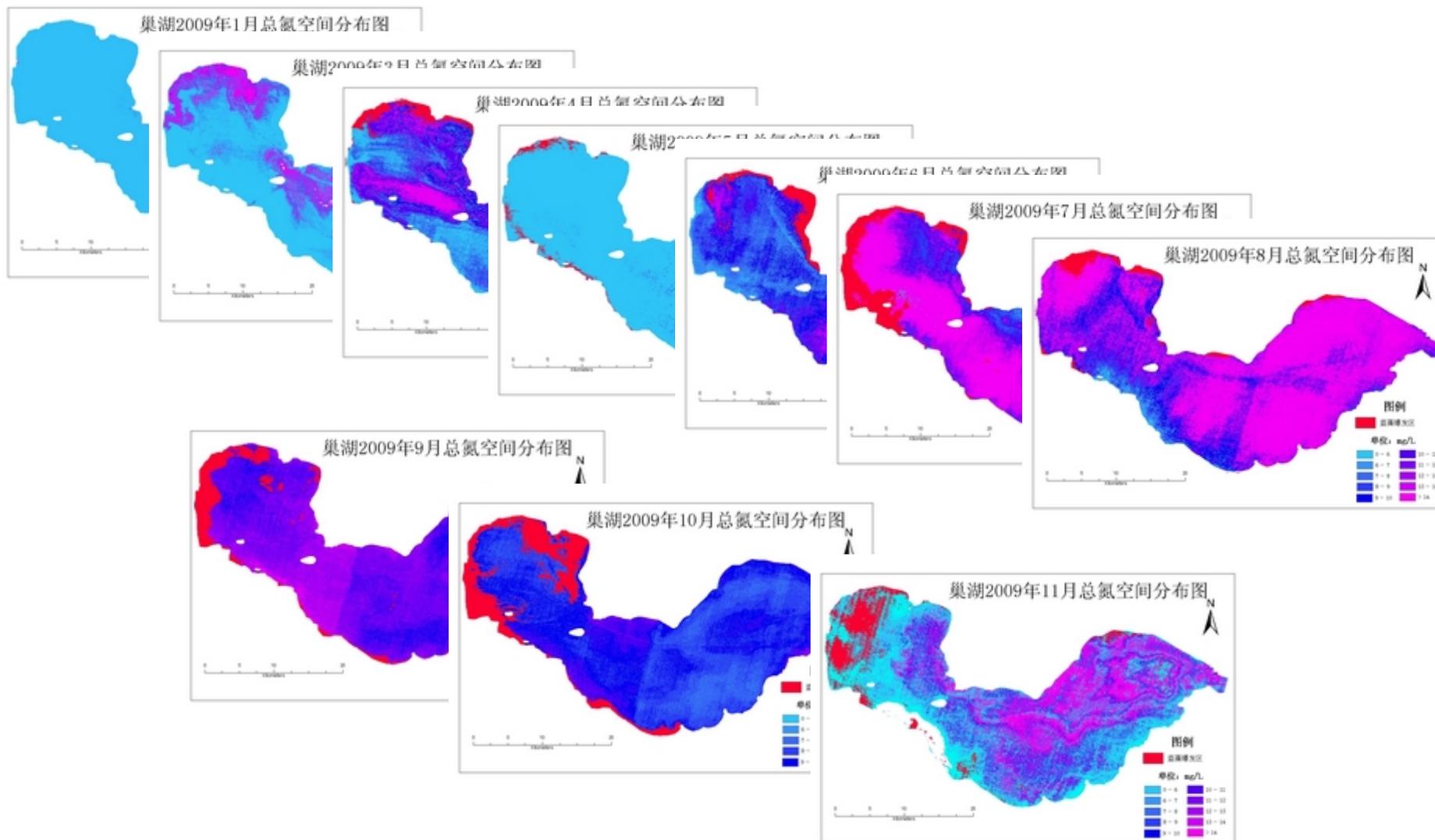


2007年5月29日



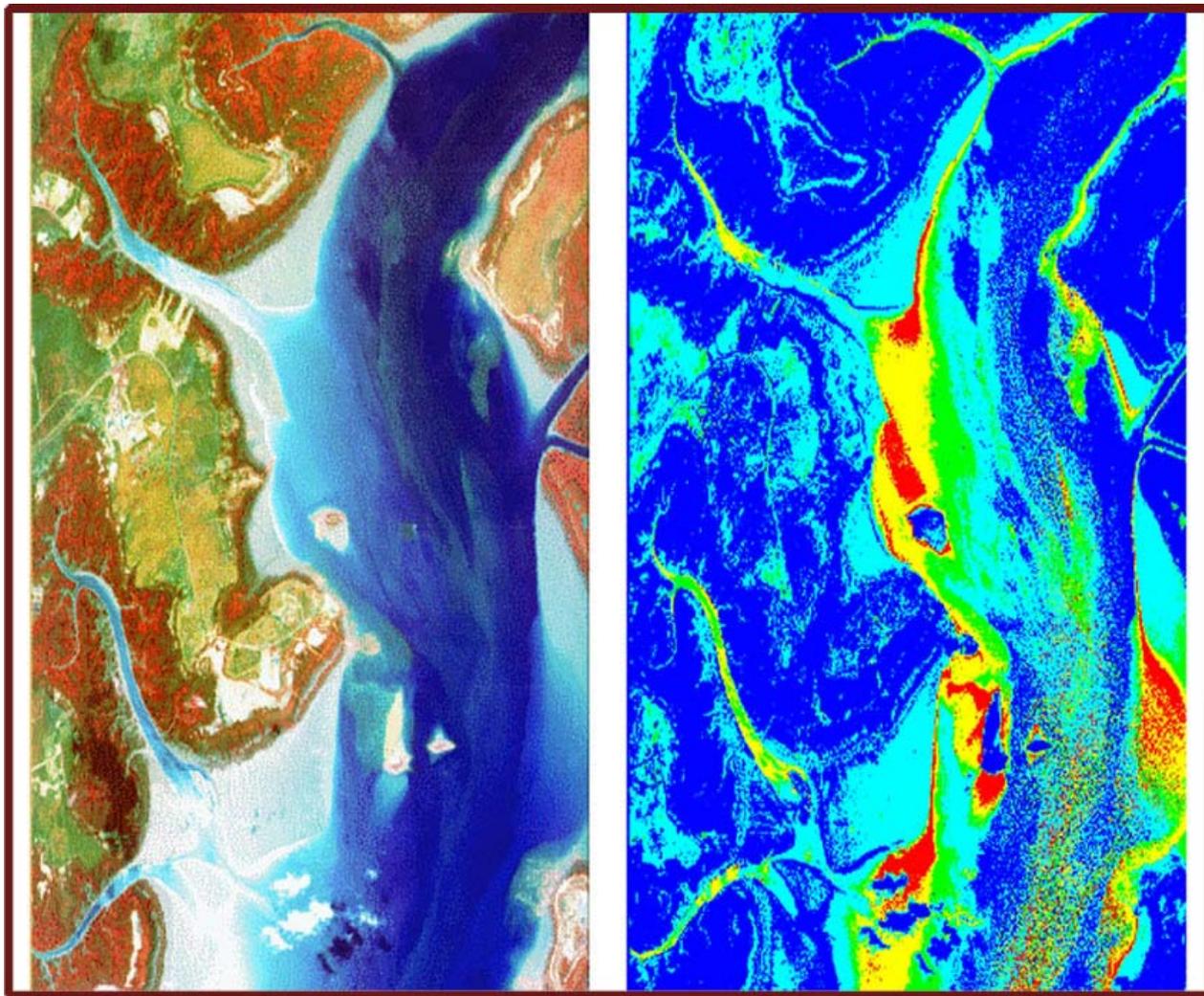


## 2009巢湖总氮高光谱遥感反演



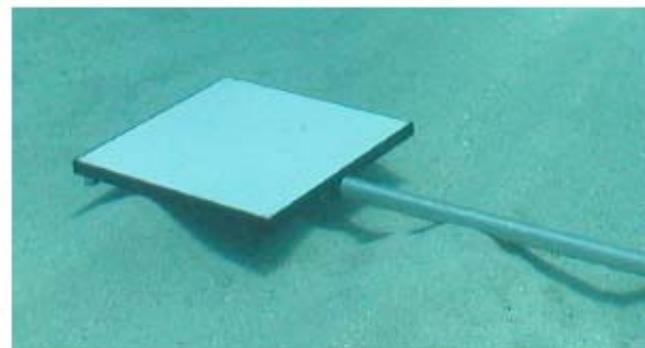
## 高光谱遥感应用—海洋环境调查

达尔文近海海洋叶绿素分布调查

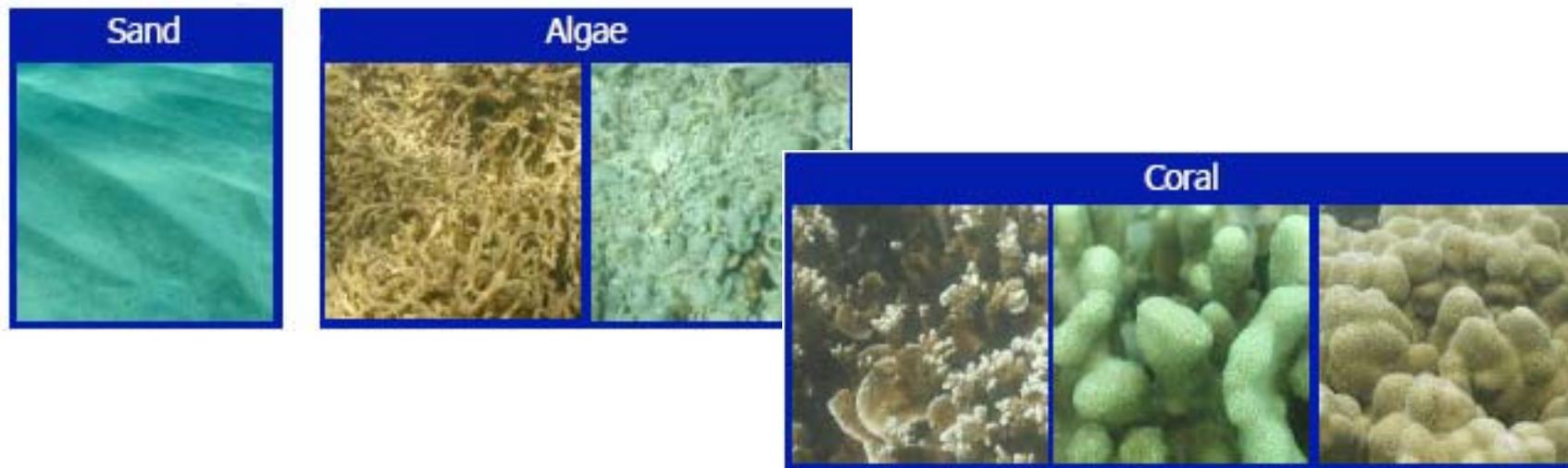


## 高光谱遥感应用—浅海生态系统调查

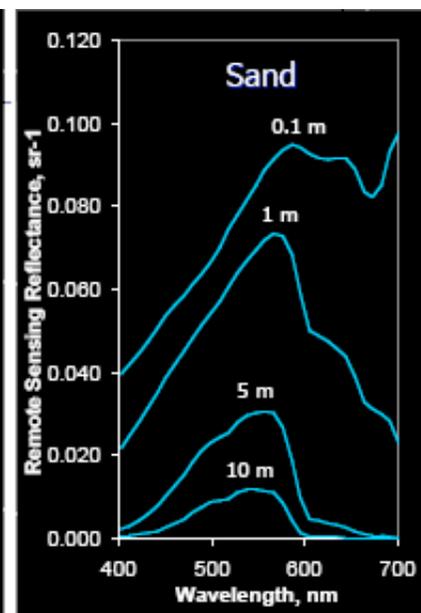
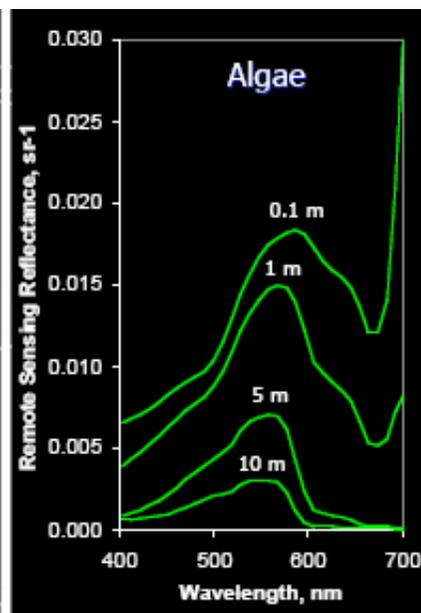
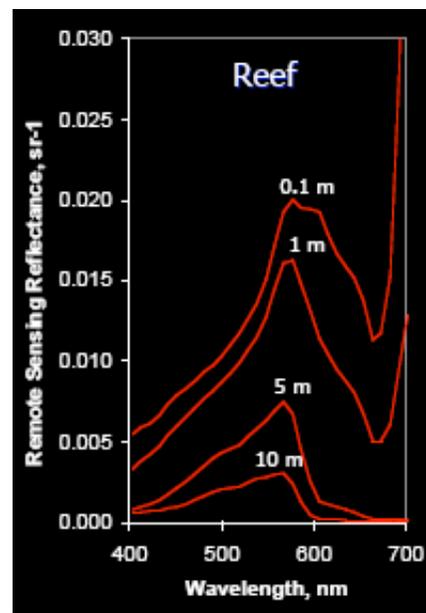
- 浅海地区珊瑚生态系统高光谱遥感探测



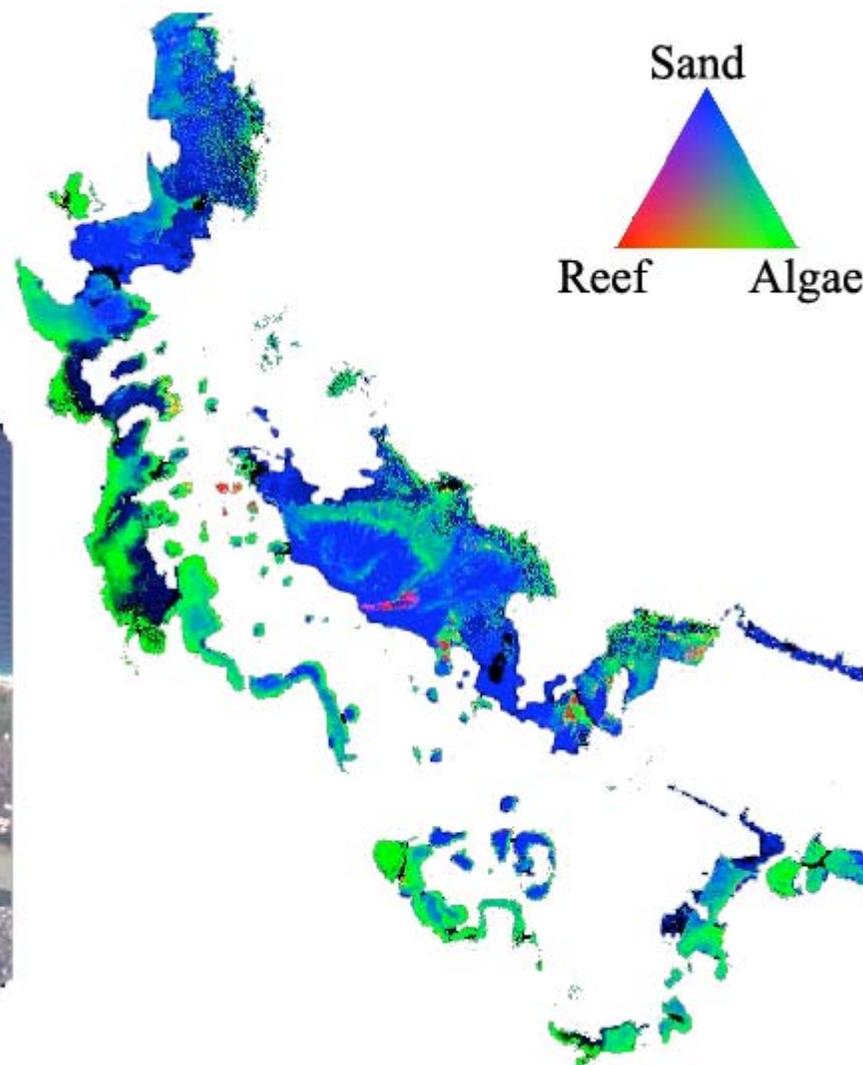
# 高光谱遥感应用—浅海生态系统调查



端元光谱提取

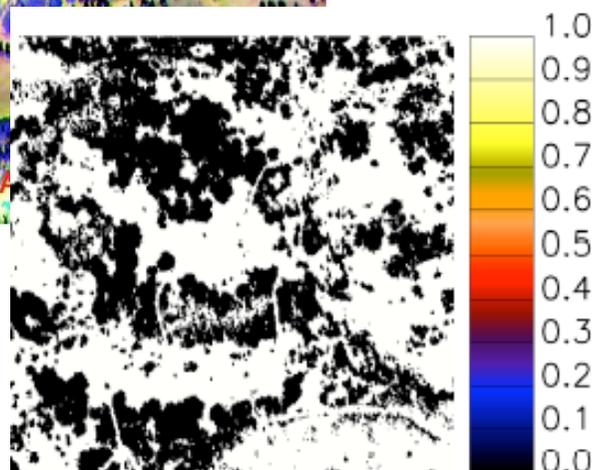
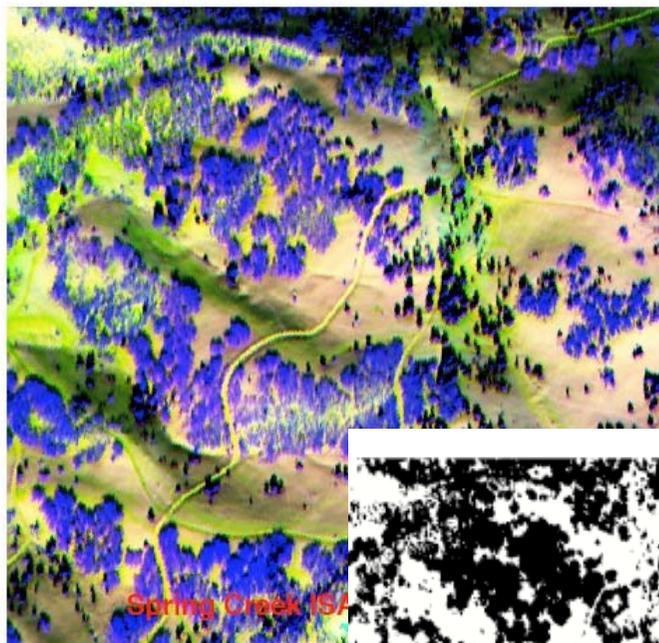


# 高光谱遥感应用—浅海生态系统调查

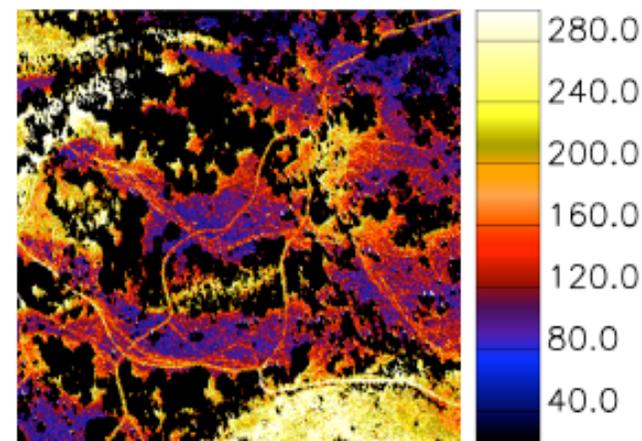


线性光谱解混

# 高光谱遥感应用—寒区植被生态调查



Fractional Snow Cover

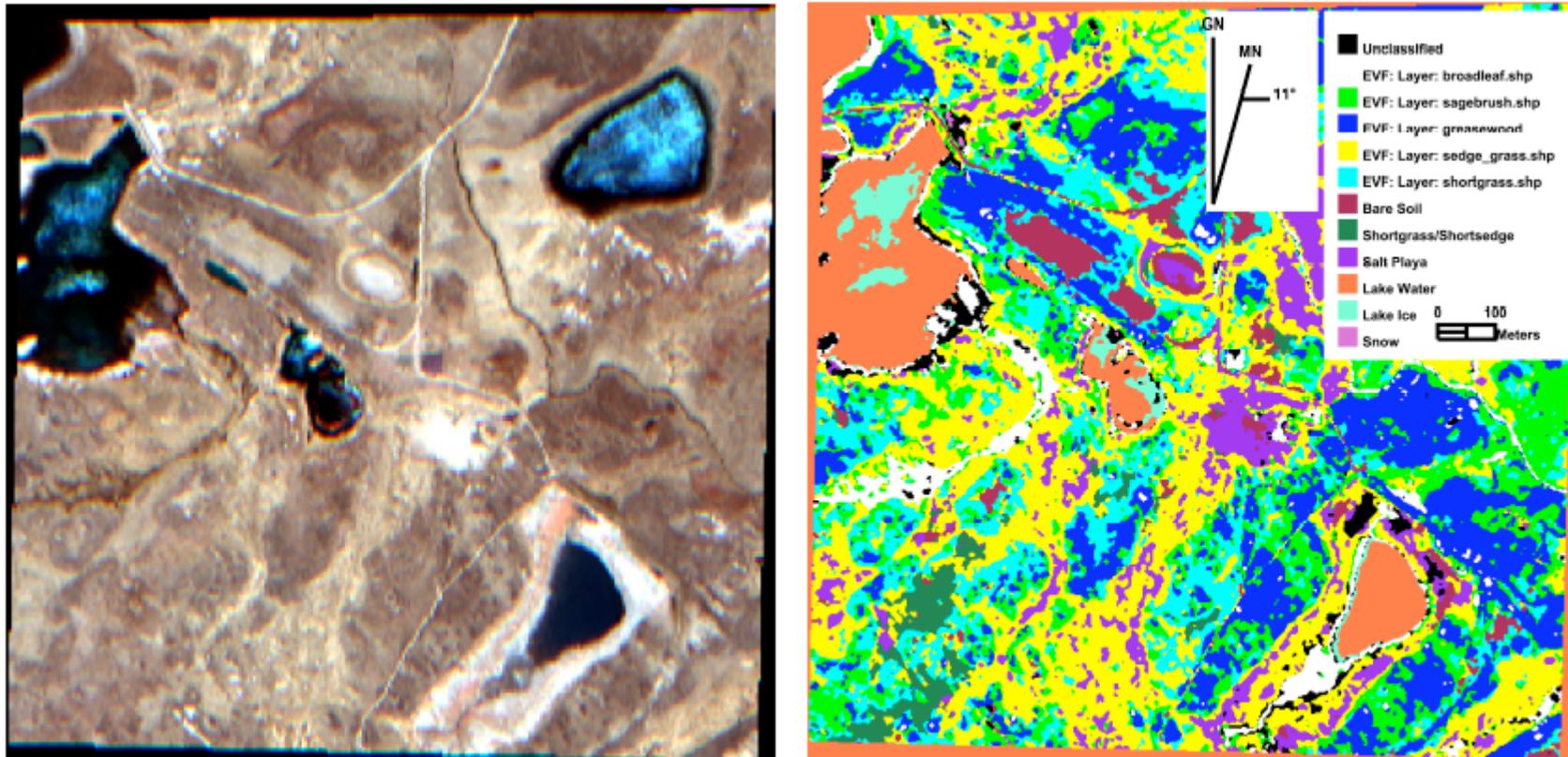


Snow Grain Radius ( $\mu\text{m}$ )

Spring Creek ISA, March 31, 2003

积雪覆盖地区光谱端元提取、识别与结晶粒度反演

寒地植被分类



Potter Creek ISA/NCAR Tower

# 高光谱遥感应用—陆地生态环境调查

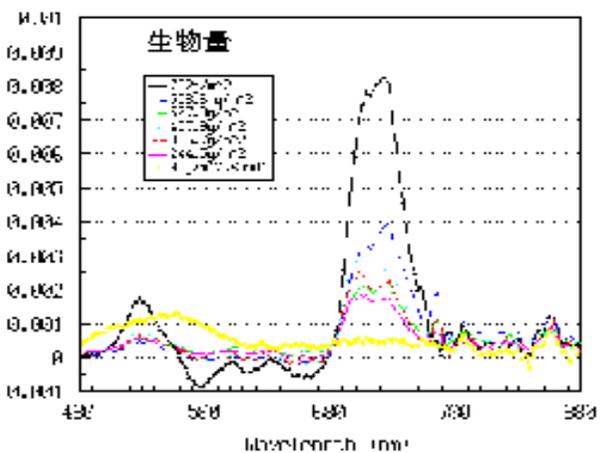
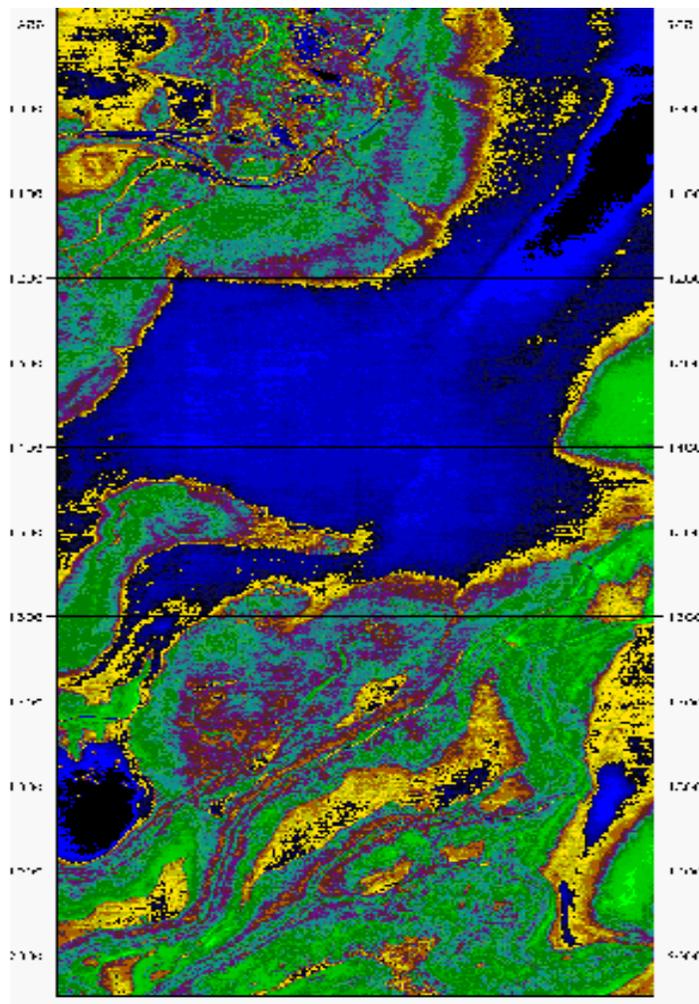
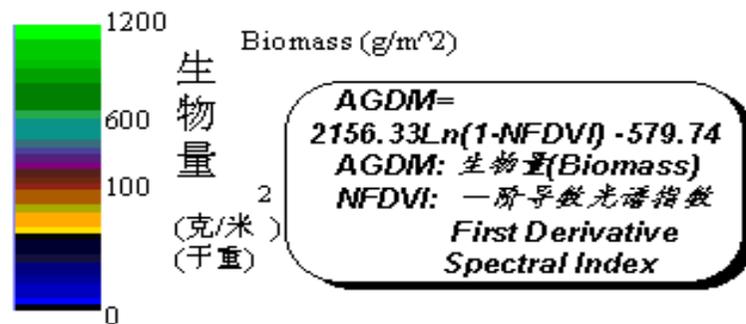
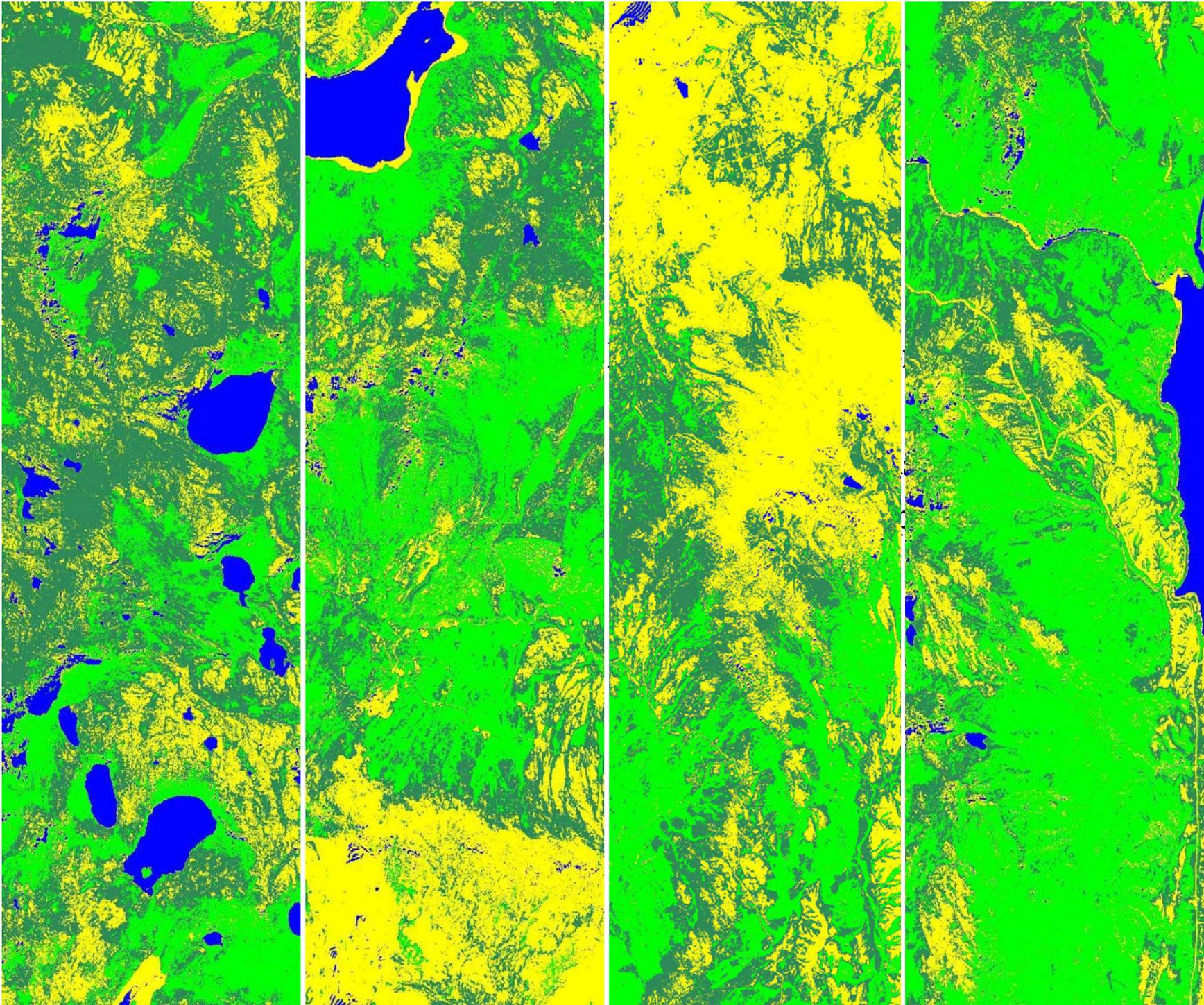


图5.10b 不同生物量的湿地植被一阶导数光谱  
The first derivative spectra and biomass





LEGEND



grass



tree



rock &  
soil

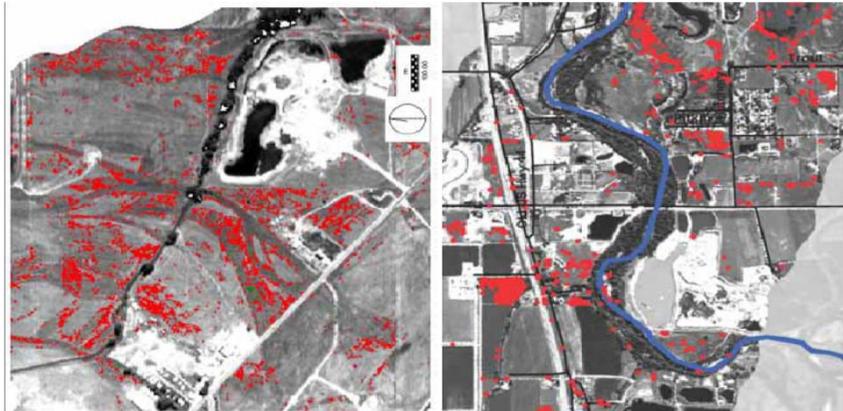
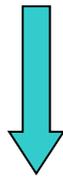


water &  
shadow

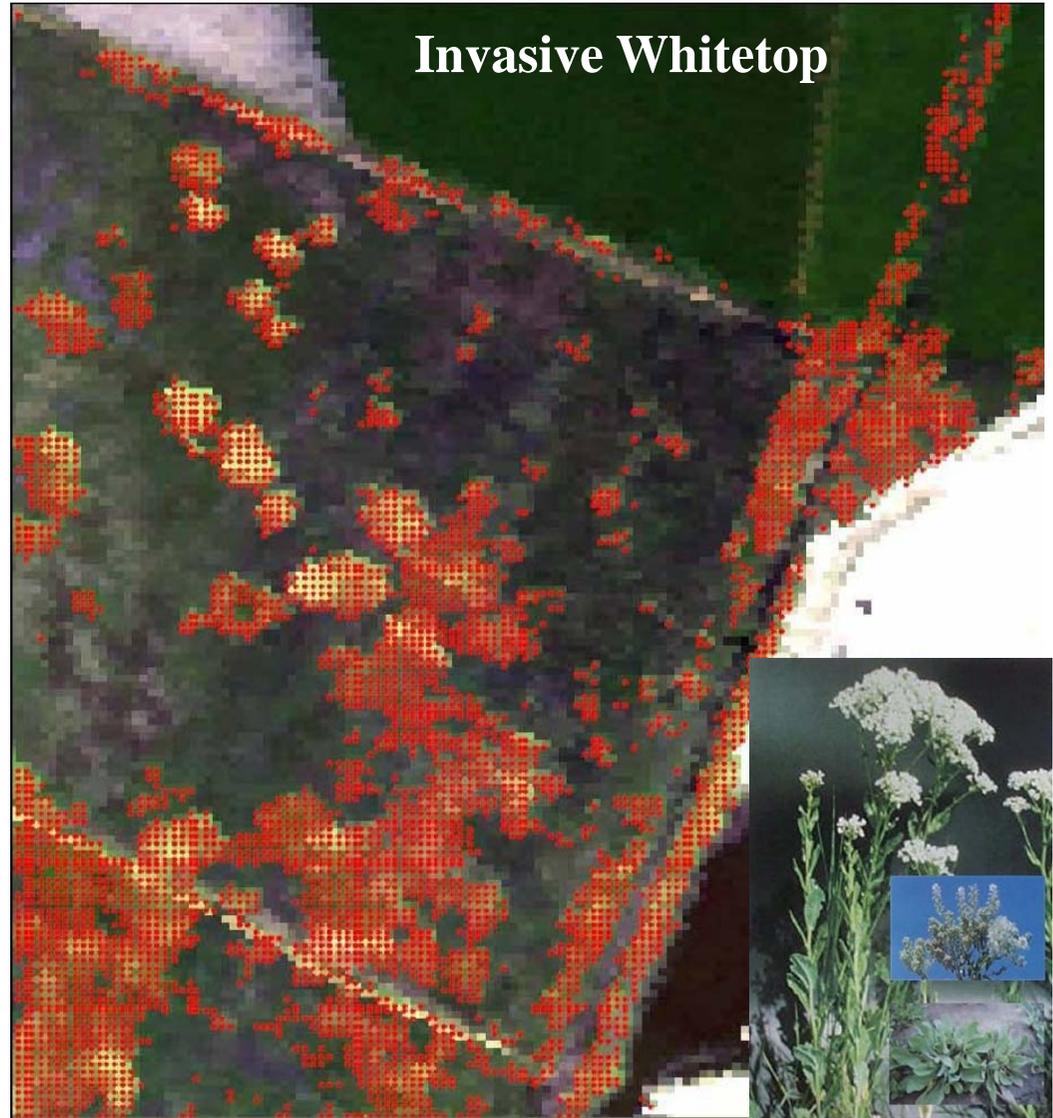
# 高光谱遥感应用—陆地生态环境调查

- 生物入侵高光谱遥感监测

## Invasive Knapweed

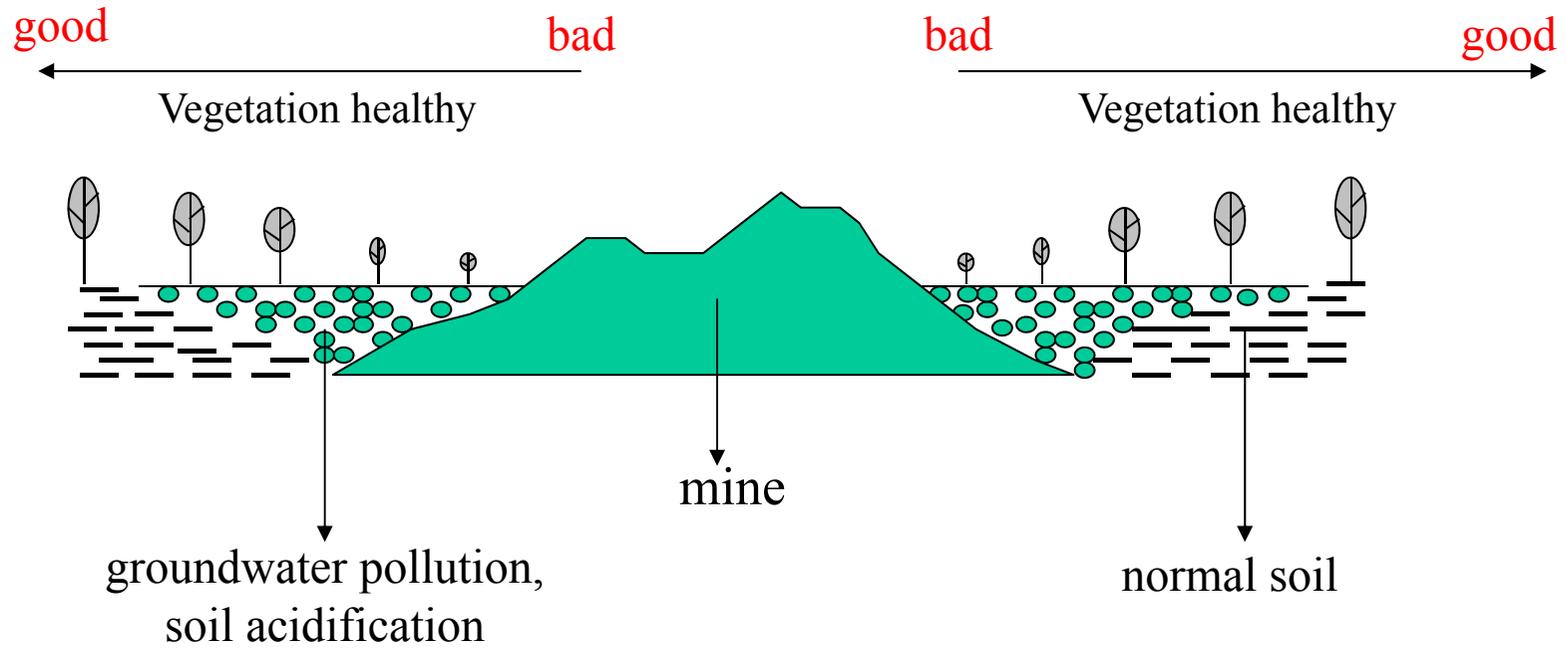


## Invasive Whitetop

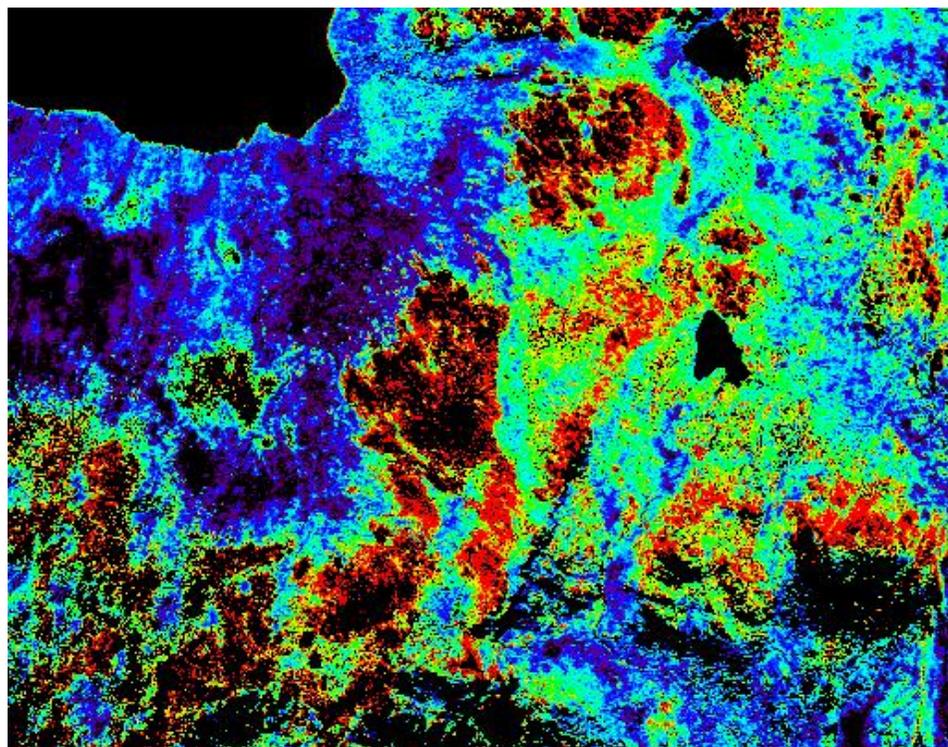


## 高光谱遥感应用—环境污染调查

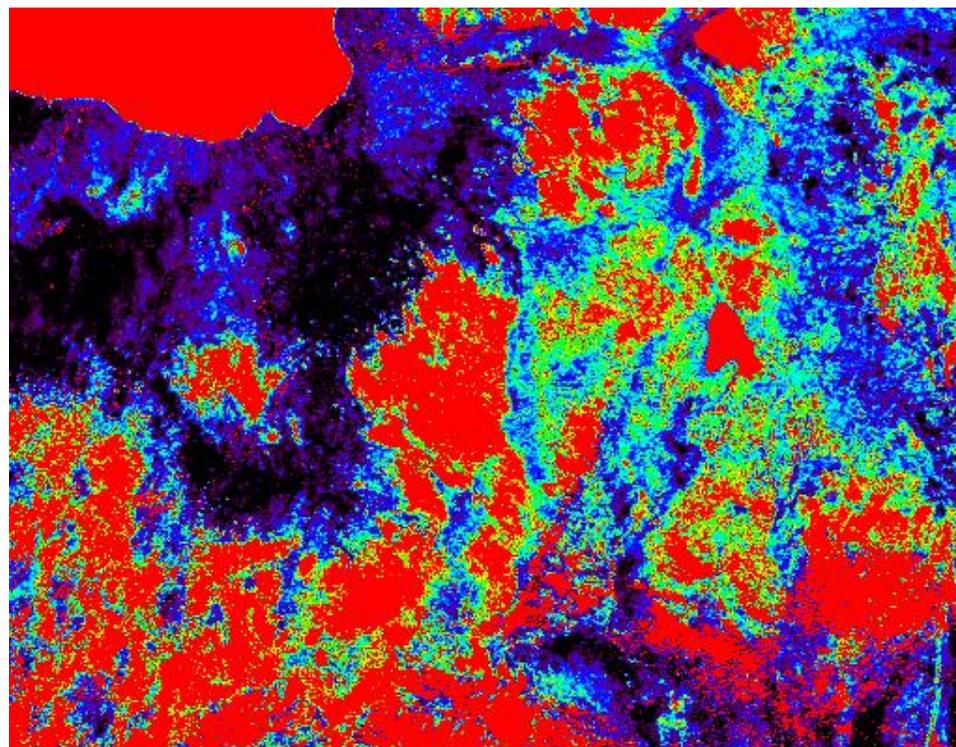
- 矿山开发环境污染高光谱遥感



植被生长状态指示环境指标—澳洲Tasmania



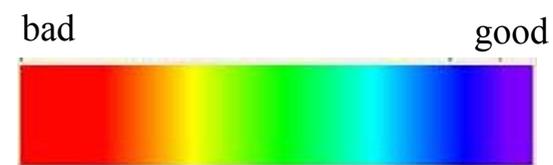
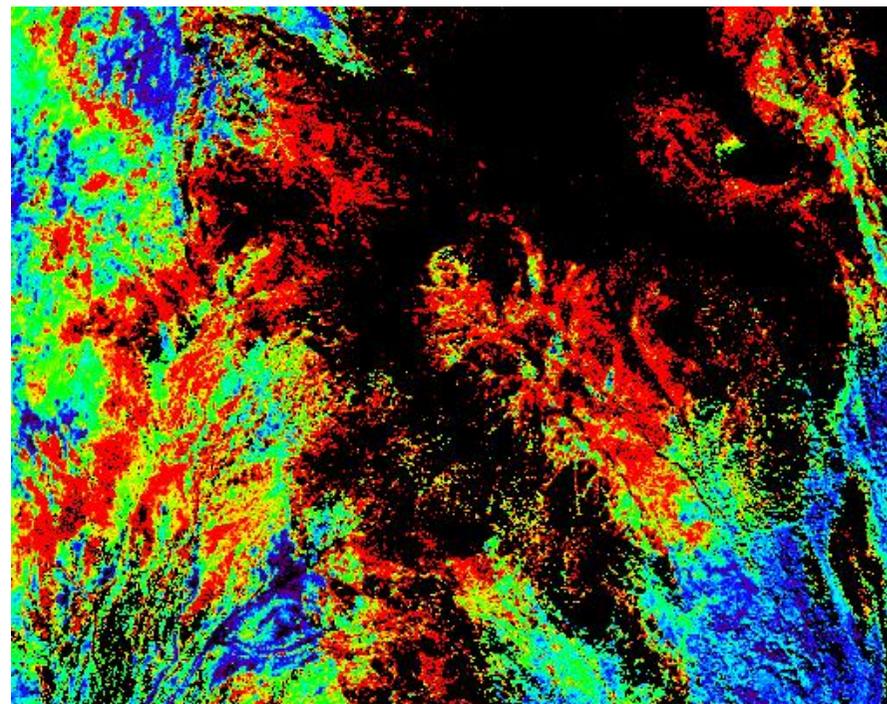
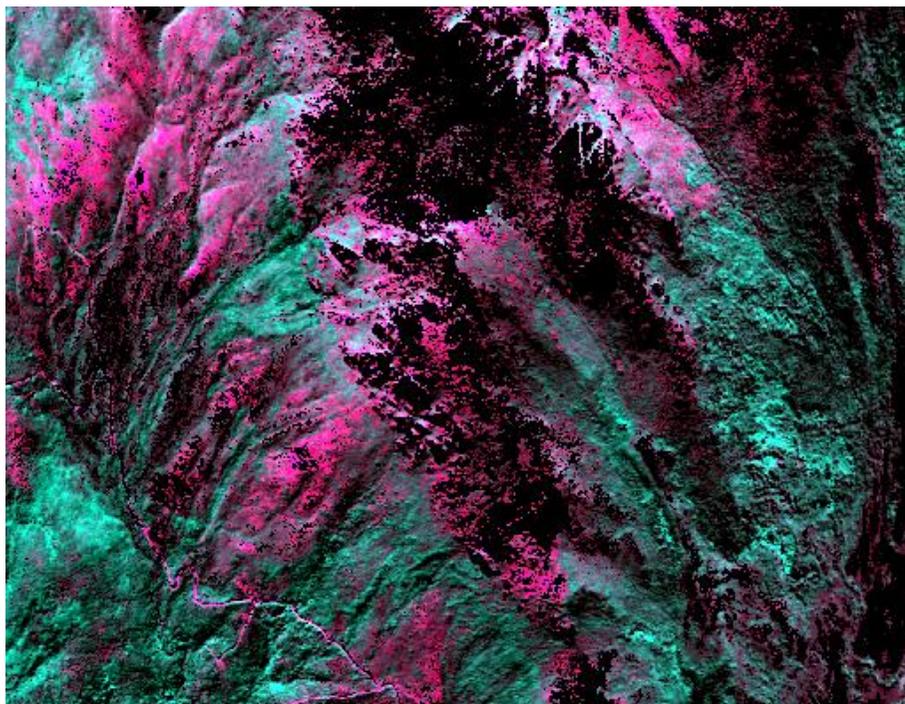
VII image



NDVI image

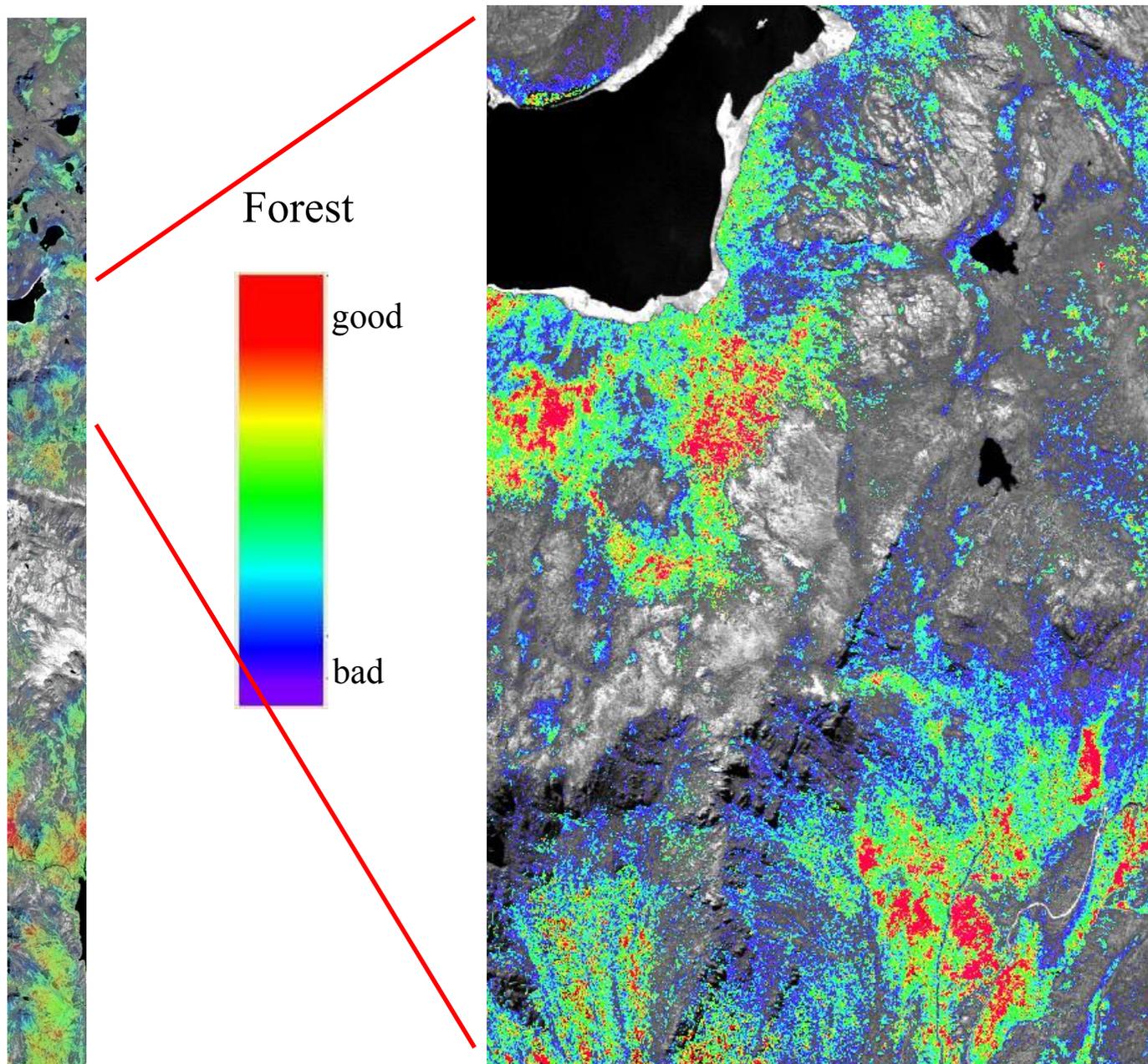
## 高光谱遥感应用—环境污染调查

根据植被生长的压抑程度反映区域环境状况

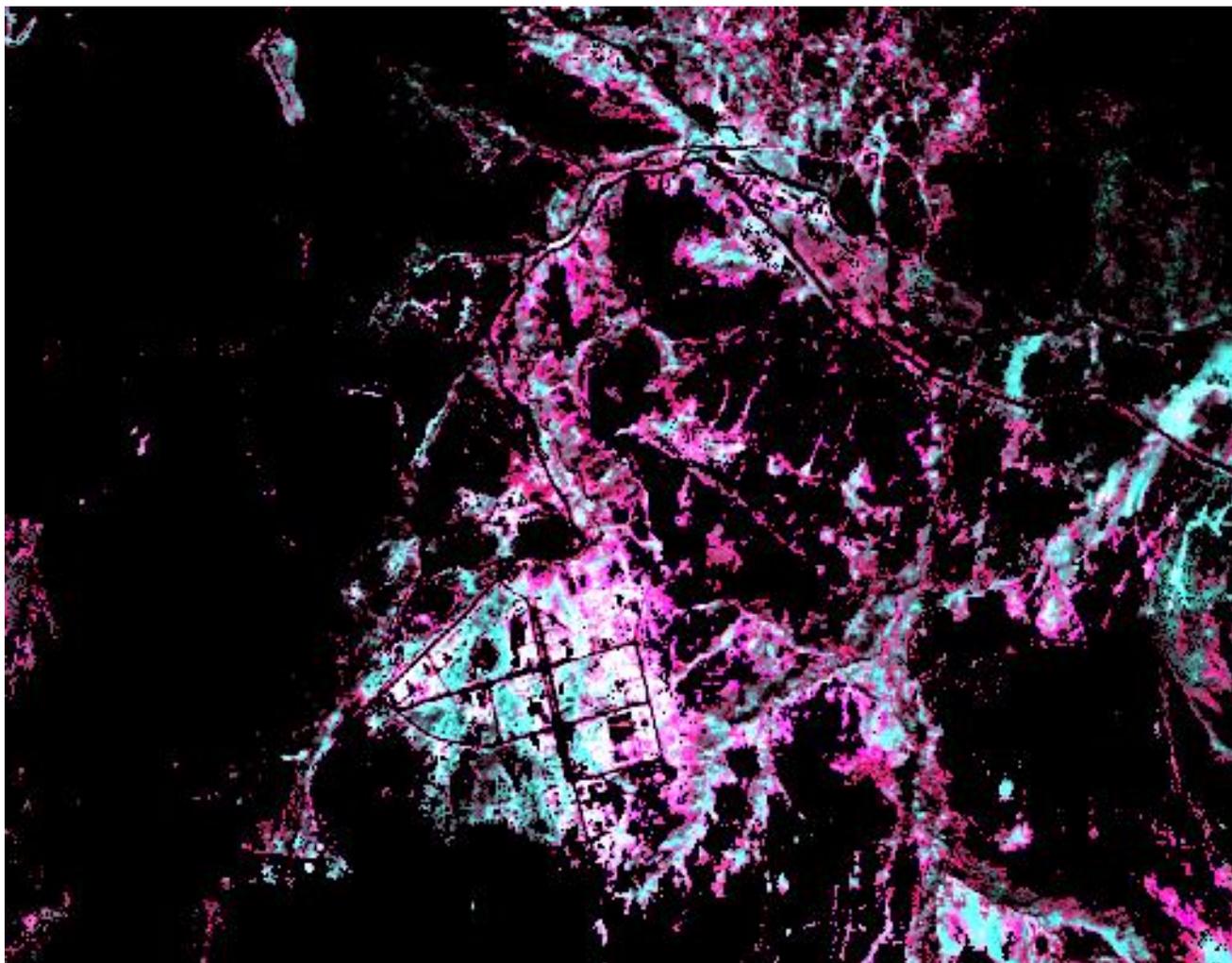


# 高光谱遥感应用—生态环境调查

植被生长状态指示环境指标

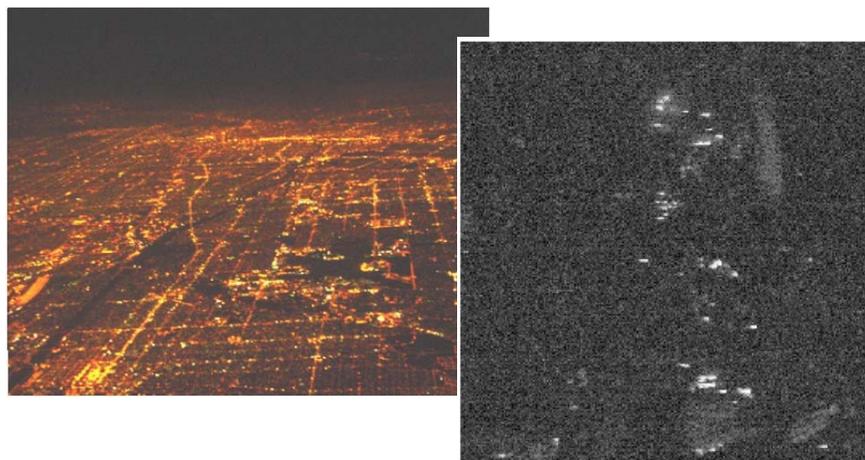
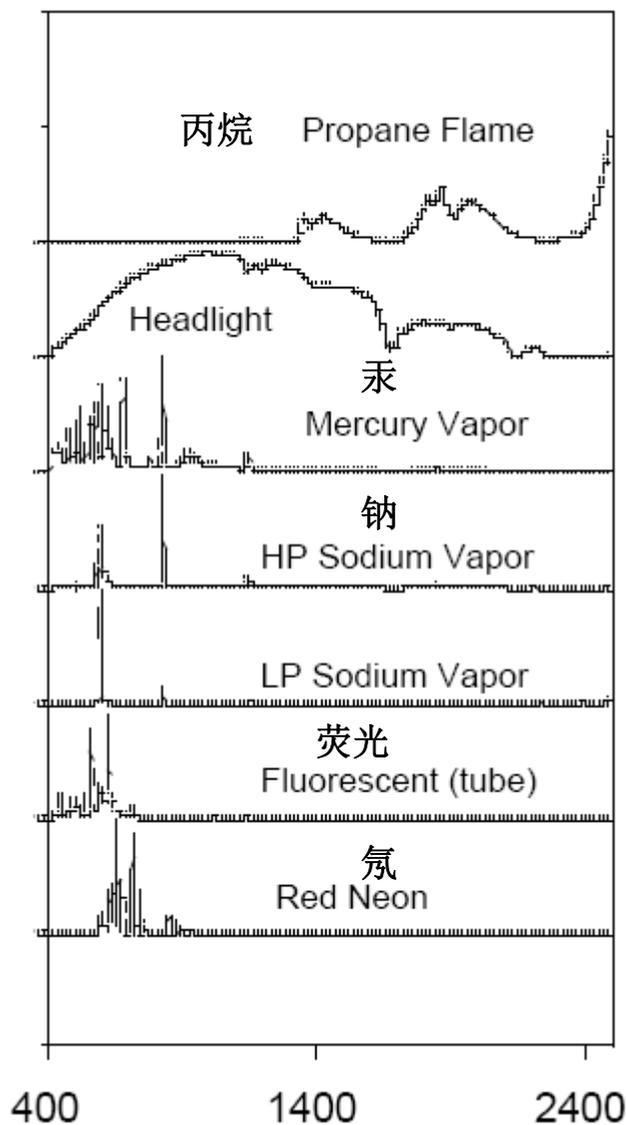


## 高光谱遥感应用—环境污染调查

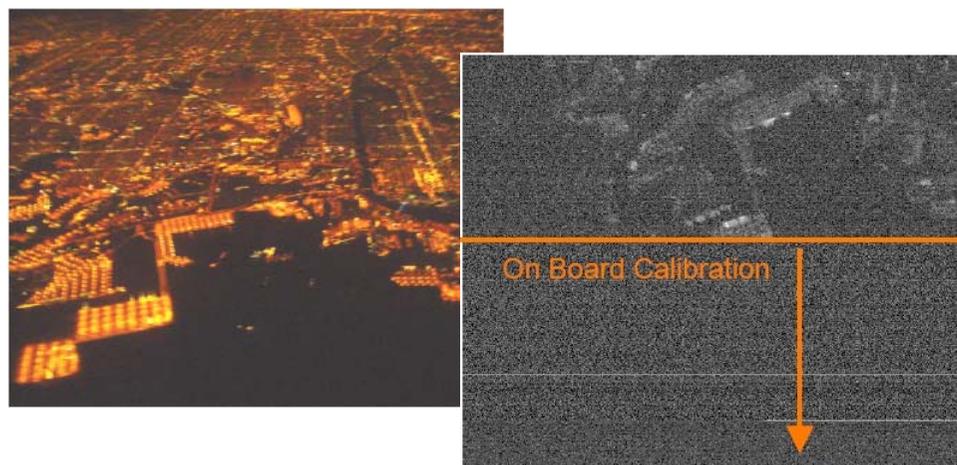


矿区周边环境压抑下的植被生长

# 高光谱遥感应用—城市光源探测与分析



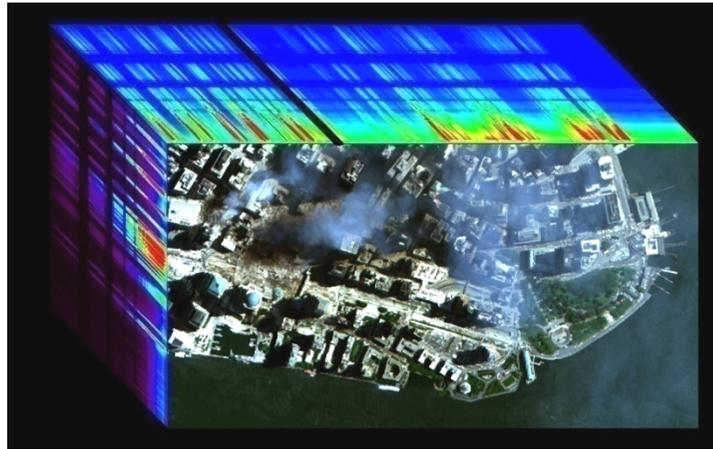
利用AVIRIS 2.2 $\mu\text{m}$ 波段探测到了洛杉矶南部的一个炼油厂



Long Beach Harbor的AVIRIS 2.2 $\mu\text{m}$ 波段特征分析

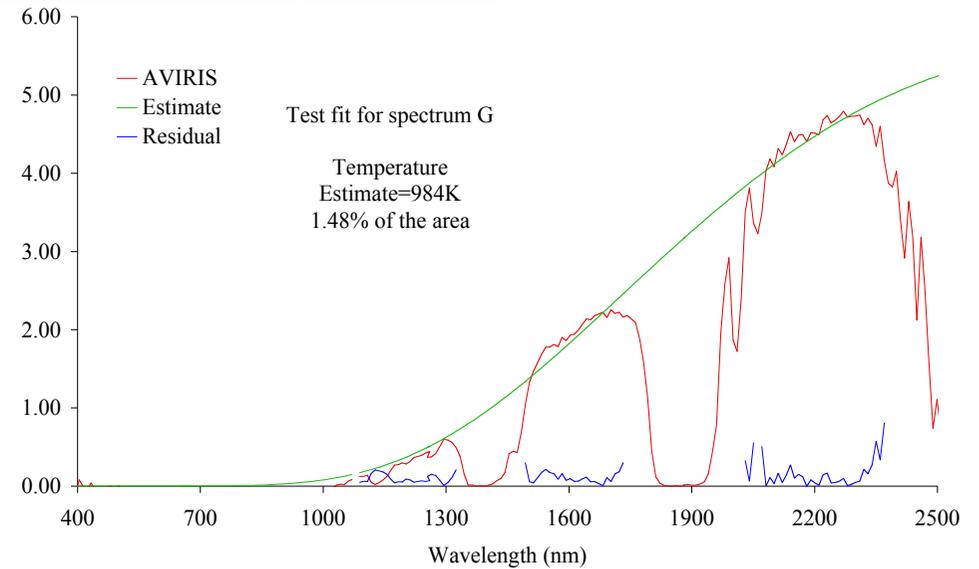
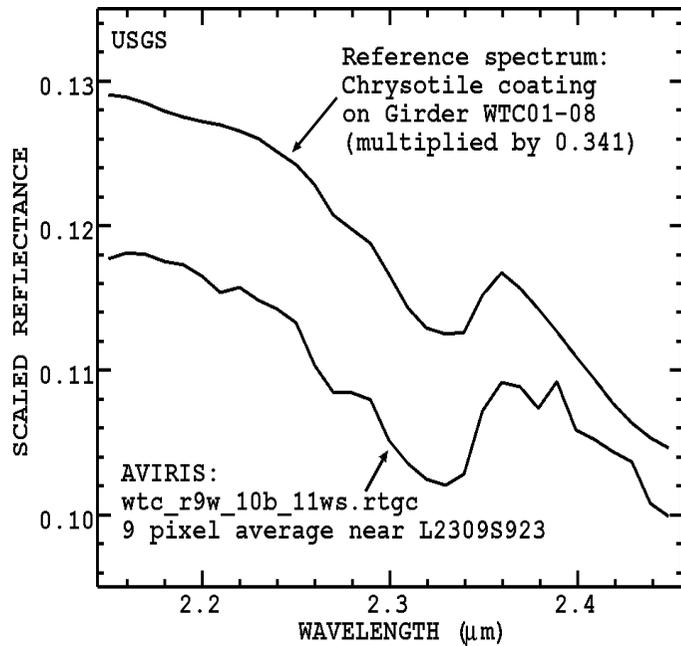
# 高光谱遥感应用—城市火源探测

## ● 城市恐怖袭击（灾难）高光谱遥感监测

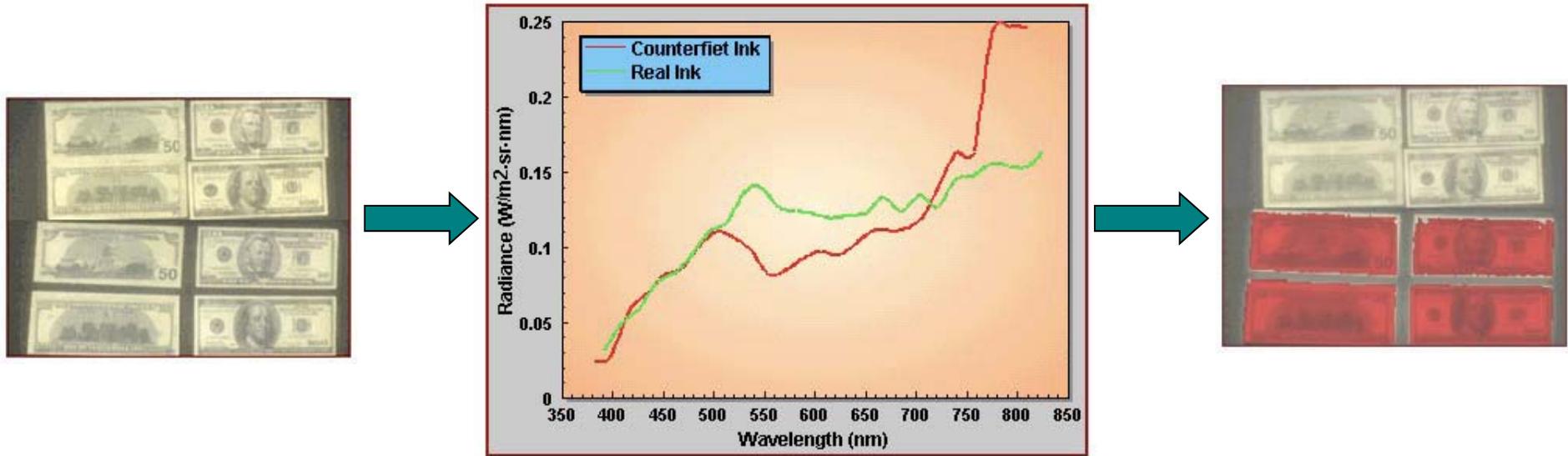


### AVIRIS

- 石棉填图
- 火点温度
- 碎片组成



# 地面成像光谱仪—纸币与食品质量探测



真假钞辨别



食品质量检验

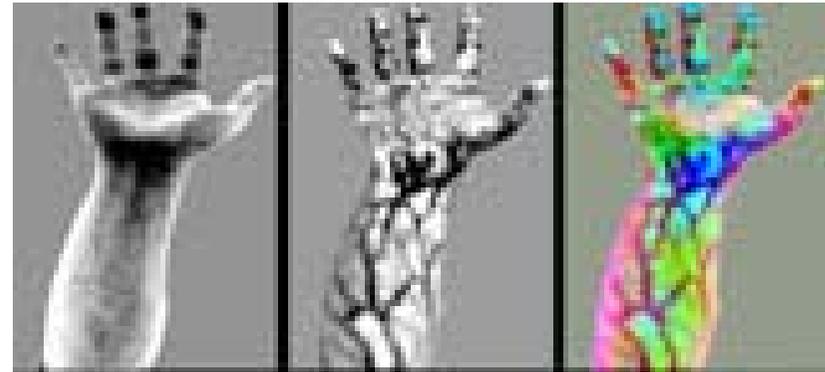
# 地面成像光谱仪—疾病诊断



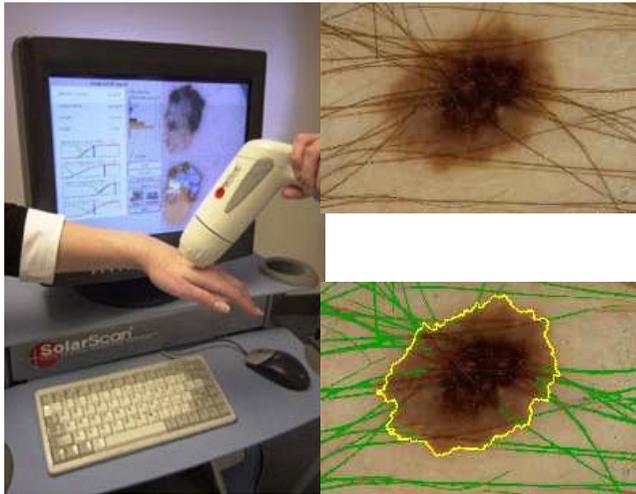
鼻子的恶性肿瘤



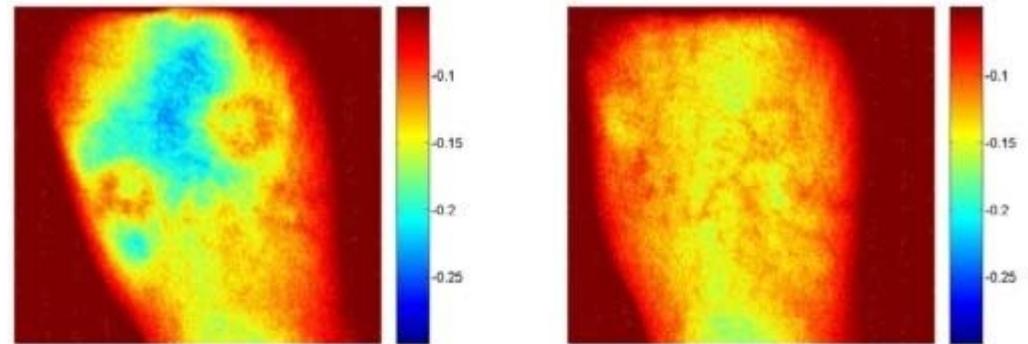
药品质量检验



皮肤表面纹理



皮肤病诊断



图像显示皮肤在擦伤66小时（左）和180小时（右）之后胆红素水平

# 地面成像光谱仪—植被识别

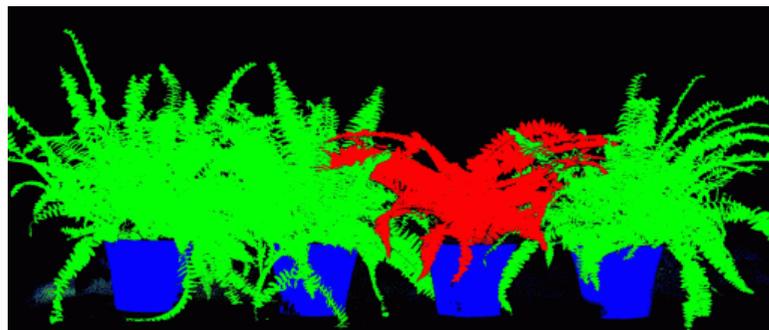
真彩色



标准假彩色



分类结果图



# 地面成像光谱仪—植被识别

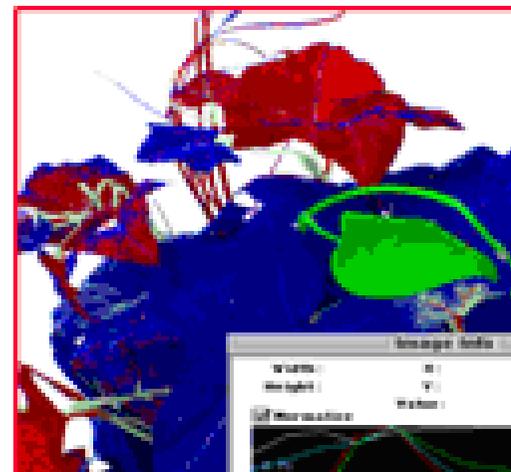
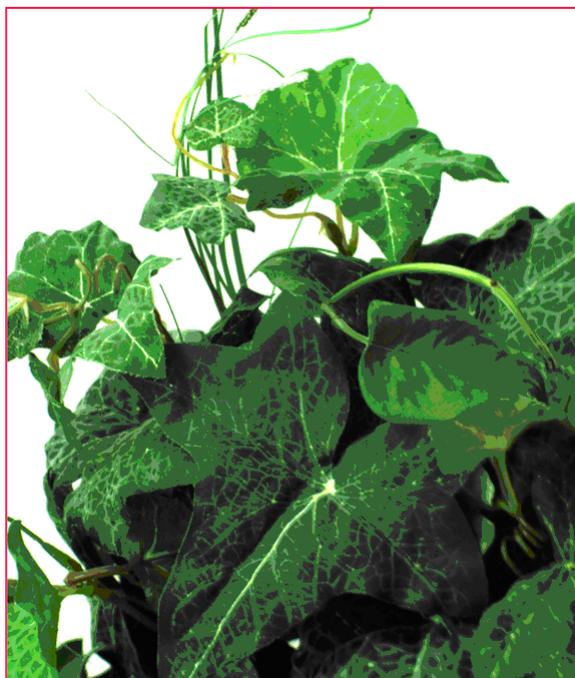
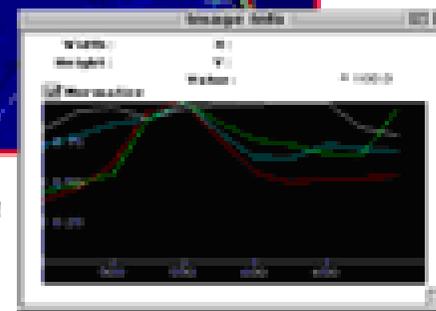


Image generated using the software interface with the camera.



## 大麻检测



**RGB Image**

真彩色图像



**RGB Image Processed With Spectral Filter**

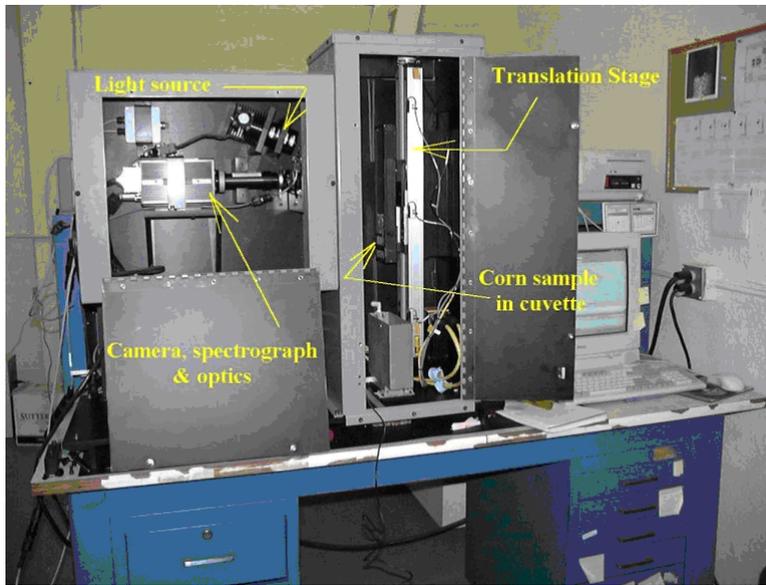
大麻检测结果

## 地面成像光谱仪—植被识别

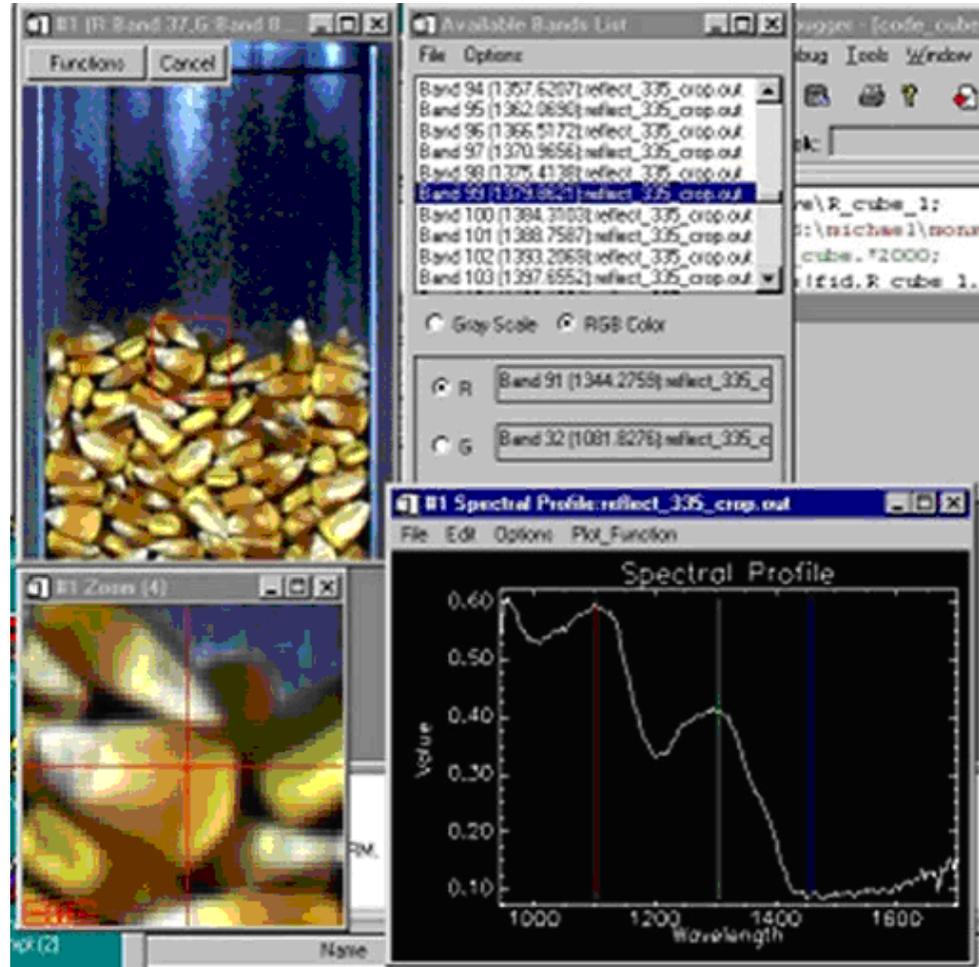
**HySpex**置于三角架上，用于探测悬崖岩石及其上附植物。



# 地面成像光谱仪—作物检测



检测系统



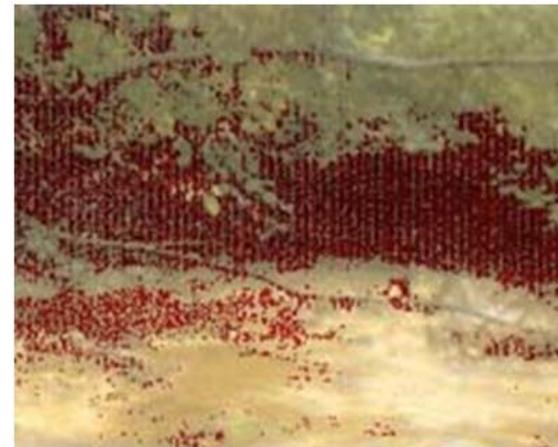
检测软件

## 排水系统污染监测

地面  
测量

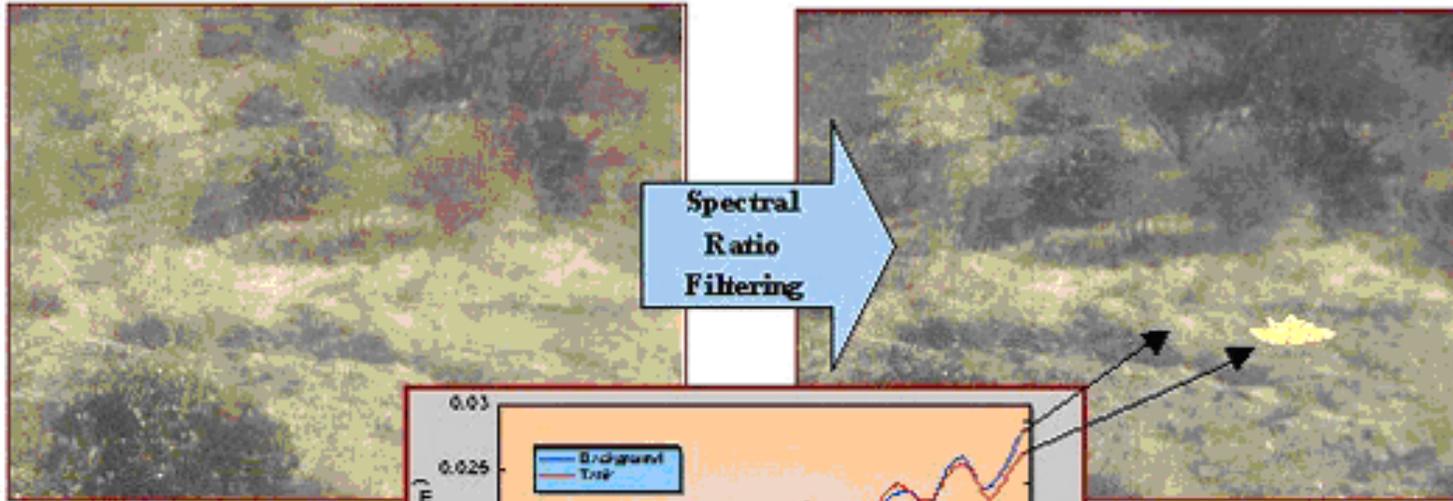


RGB图像



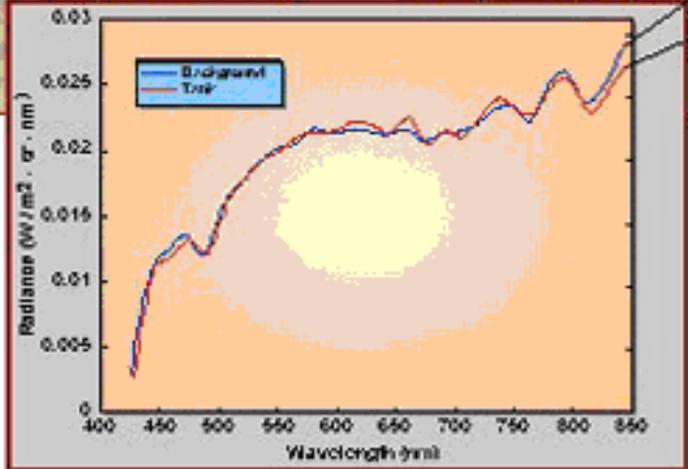
光谱滤波结果

## 伪装目标检测



Spectral  
Ratio  
Filtering

Color image generated  
from HS imagery shows  
no tank



Overlaying results of  
spectral filtering  
reveals its location

# 报告提纲

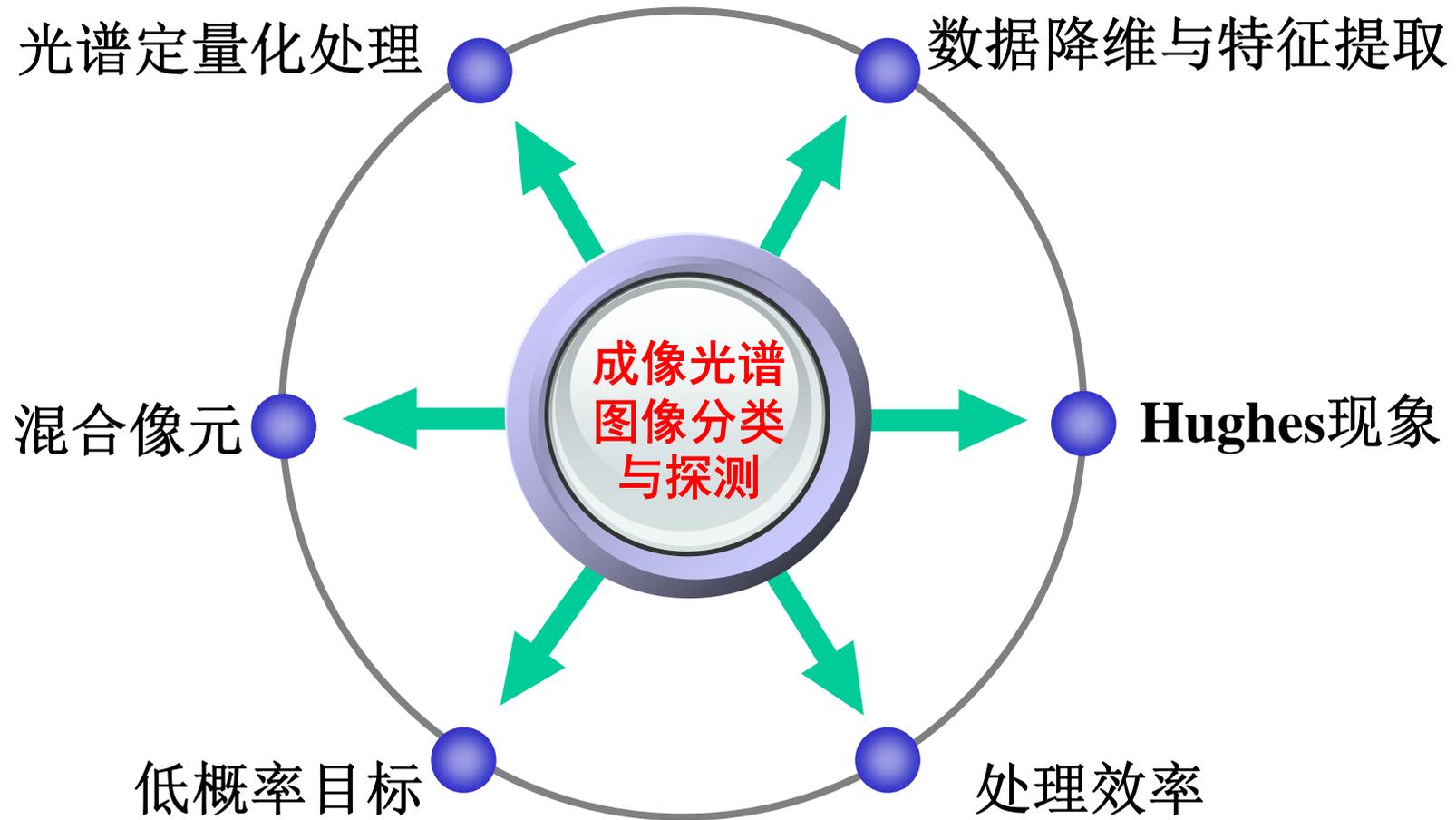
一、遥感科技的历史与现状

二、高光谱遥感技术与应用

三、高光谱图像分析的几个核心问题

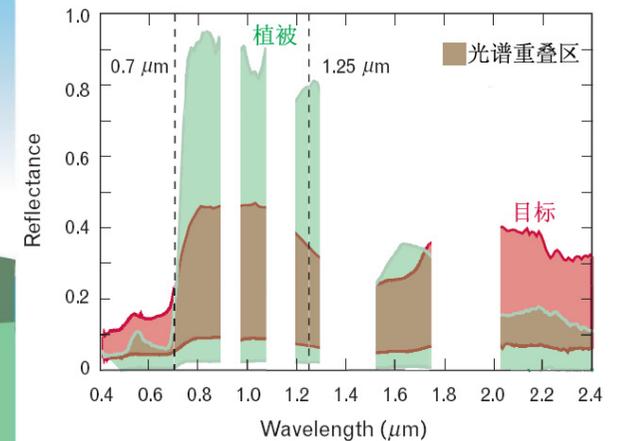
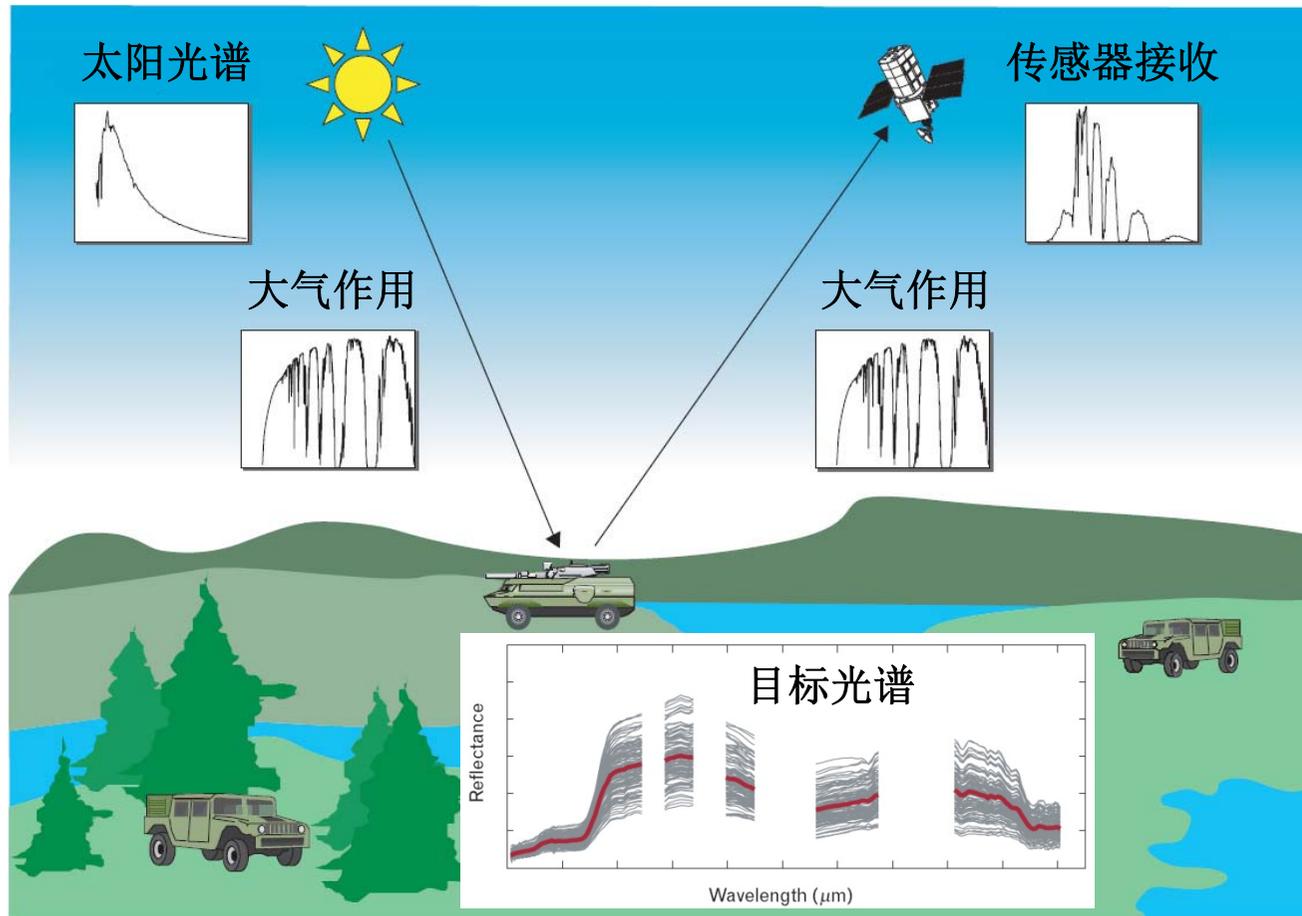
四、智能高光谱遥感系统

## 高光谱图像分析的几个核心问题



# 1. 光谱图像定量化处理问题

成像光谱图像定量化分析的基础是地物光谱特征与地物物化特性、成分组成间存在的定量关系，而成像光谱数据获取过程受到大气辐射传输、地表环境、地形起伏及遥感器成像过程等一系列因素的影响，如何剔除这些干扰因素，将成像光谱仪获取到的原始DN值数据转换为地物标准反射率图像数据非常重要。



## 2. 混合像元与端元提取问题

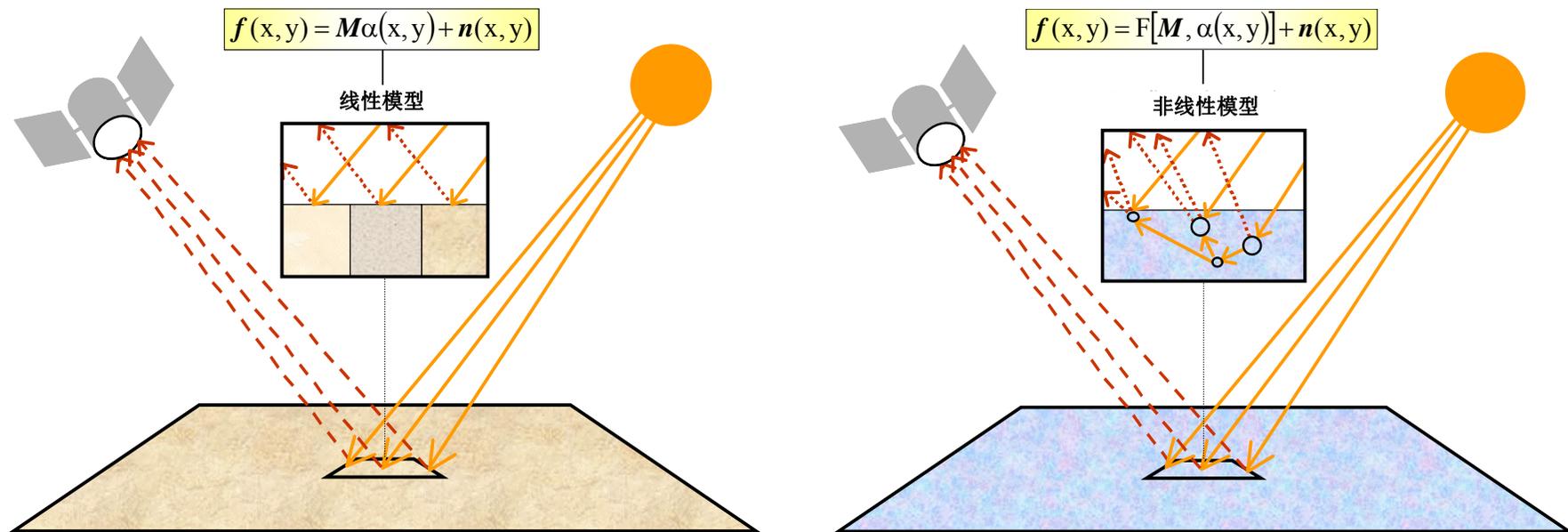
- **线性光谱混合模型**

- ✓ 假设视场中的端元地物以一定面积大小水平分布，彼此不交叉。

- **非线性光谱混合模型**

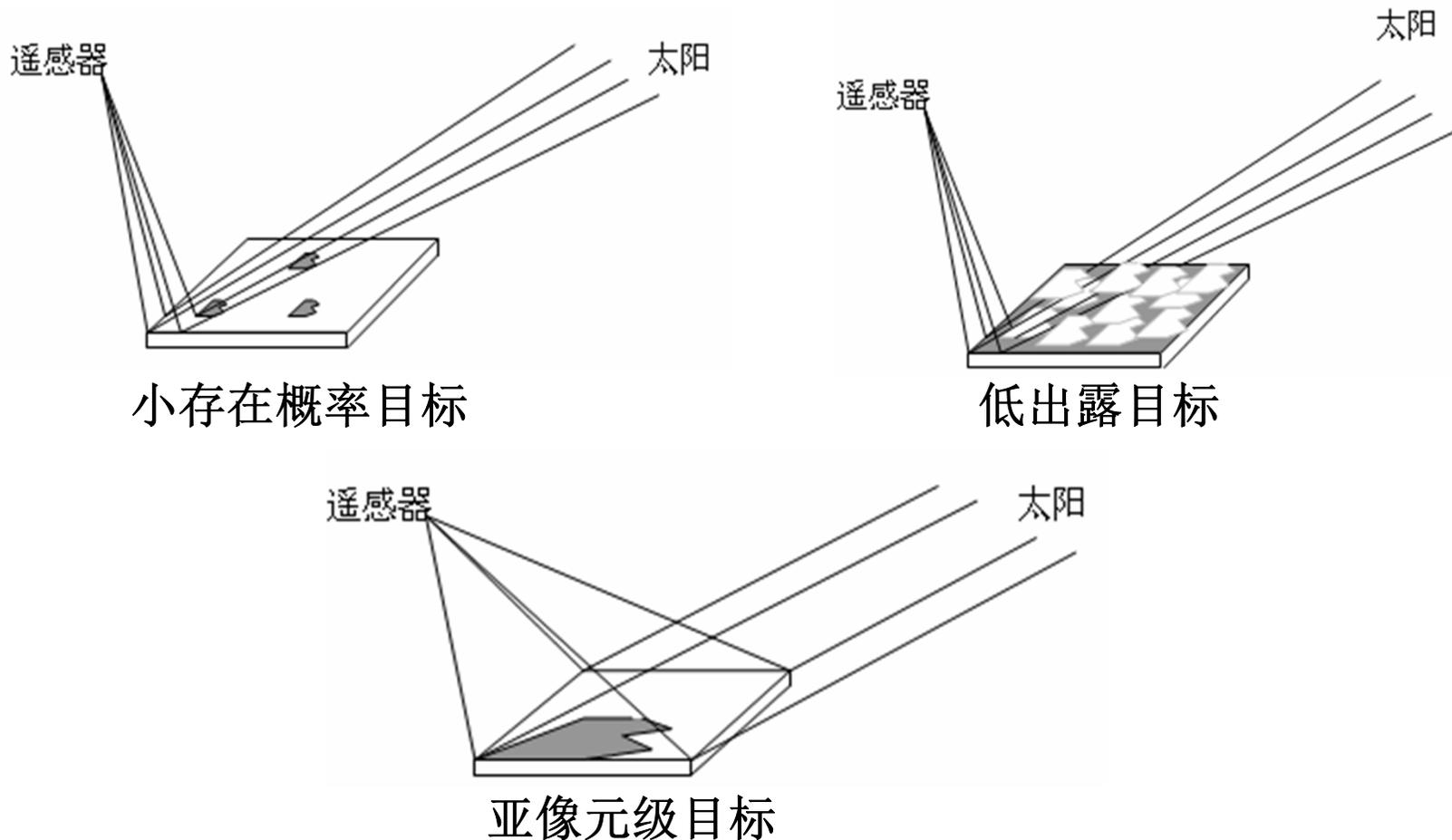
- ✓ 假设视场中的端元地物彼此交叉分布在一起。

- ✓ 端元地物间发生多次散射。



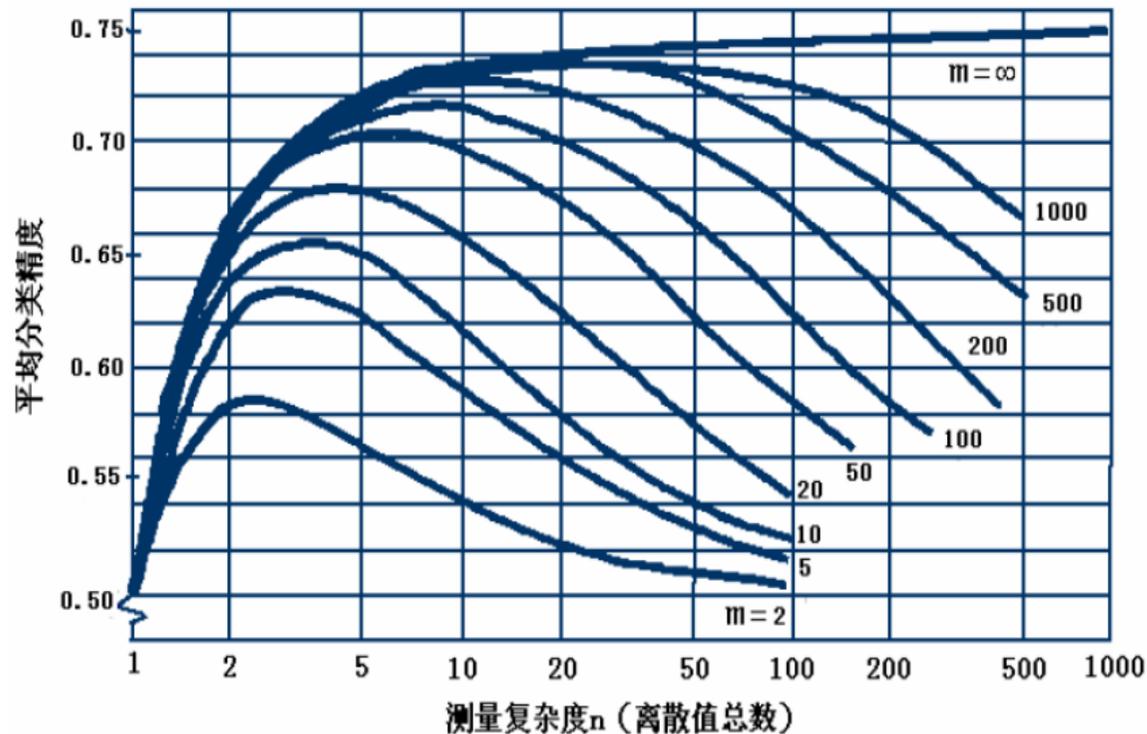
### 3. 低概率出露目标问题

目标在成像光谱图像中以多种形式存在，如小概率、低出露，甚至有可能是亚像元，这些目标称为低概率目标。低概率目标是成像光谱图像中感兴趣目标存在的主要形式，同时也是目标探测的难点。



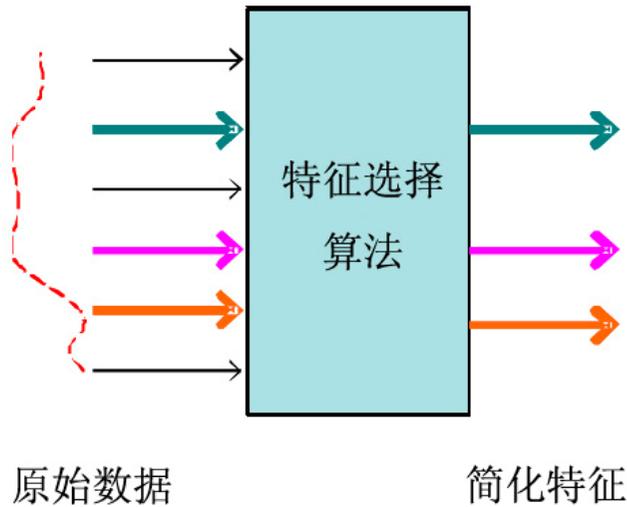
## 4. 高光谱图像精细分类中的Hughes问题

- ◆ 成像光谱图像数据波段多，特征提取不当将影响分类精度；
- ◆ **Hughes现象**：成像光谱图像波段多，导致训练样本数目相对不足，即训练样本固定时，分类精度随波段（特征维数）的增加而先增后降。

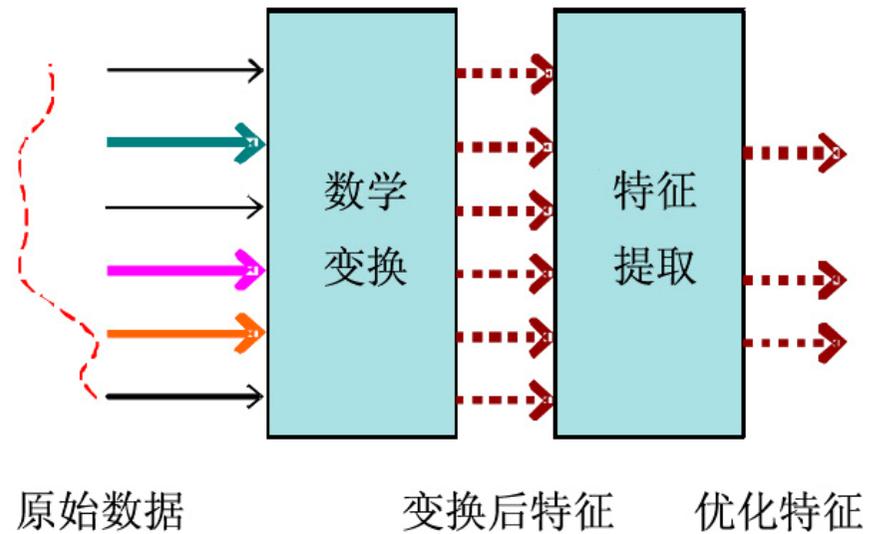


## 5. 数据降维与特征提取问题

成像光谱图像所具有的大量光谱波段为地物信息提取提供了极其丰富的信息，然而波段的增多也必然导致信息的冗余和数据处理复杂性的增加。为此，光谱数据降维和优化在成像光谱图像处理中具有十分重要的作用，对于成像光谱图像分类、混合像元分解和目标探测来说，也有其特殊的意义。



光谱特征选择



光谱特征提取

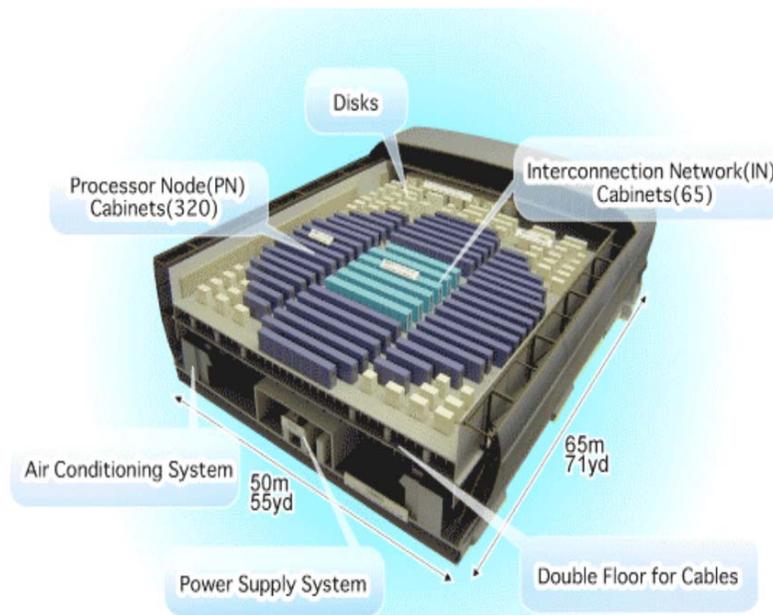
## 6. 成像光谱图像处理效率问题

- ◆ 并行计算：利用处理单元的集成来解决数据快速处理的难题
- ◆ 海量的成像光谱图像数据量决定了需要利用并行计算提高应用效率

$$\text{加速比 ( p个处理器 )} = \frac{\text{计算性能 ( p个处理器 )}}{\text{计算性能 ( 1个处理器 )}}$$



NASA的便携式迷你集群（16个处理器）



美国地球模拟器（5120个处理器）

# 报告提纲

一、遥感科技的历史与现状

二、高光谱遥感技术与应用

三、高光谱图像分析的几个核心问题

四、智能高光谱遥感系统

# 现有高光谱遥感系统面临的三方面问题

高光谱海量数据特点和用户多样性需求和便捷化处理之间的矛盾

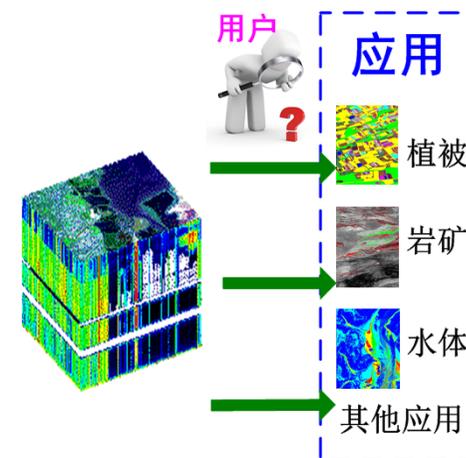
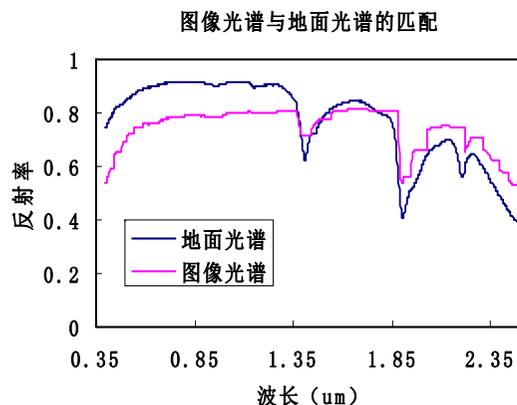
高光谱数据成像和观测条件的不确定性与量化产品生产之间的矛盾

光谱成像模式的不变性与地表观测对象的复杂多样性之间的矛盾

面临  
问题

面临  
问题

面临  
问题



在发挥原有高光谱分辨率遥感优势的基础上，需要新的遥感理念和技术创新！

百种中国杰出学术期刊

## 遥感学报

Yaogan Xuebao

第 15 卷 第 3 期 2011 年 5 月

目次

## 流域遥感专辑

智能遥感卫星系统.....	张兵 (423)
评估MODIS的BRDF角度指数产品.....	焦子强, 李小文, 王锦地, 张迪 (444)
时空一体化框架下时空异常探测.....	刘启亮, 冯敏, 王佳珍, 彭恩岭, 梅小明, 赵玲 (465)
基于数据同化的元胞自动机.....	张亦汉, 黎夏, 刘小平, 乔纪刚 (483)
纹理频谱分析的高分辨率遥感影像最佳尺度选择方法.....	陈杰, 邓敏, 肖鹏峰, 杨敏华, 梅小明, 刘慧敏 (502)
元胞空间分区及其对GeoCA模型模拟精度的影响.....	柯新利, 邓祥征, 陈勇 (518)
城镇绿地树种识别的数学描述符.....	周坚华, 周一凡, 穆望舒 (531)
基于LiDAR高度纹理和神经网络的物类分类.....	乔纪刚, 刘小平, 张亦汉 (546)
一种机载LiDAR条带窄带最小二乘匹配算法.....	王丽美, 刘正平, 宋伟东 (560)
太阳光度计反演大气水汽总量的方法与结果对比分析.....	周宁, 刘敏 (573)
基于典型物候特征的MODIS-EVI时间序列数据农作物种植面积提取方法——小区域冬小麦实验研究.....	潘耀忠, 李乐, 张锦水, 梁顺林, 侯东 (586)
渤海海岸带地区土地利用时空演变及景观格局响应.....	左丽君, 徐进勇, 张增祥, 温庆可, 刘斌, 赵晓丽, 葛玲 (612)
CBERS-02B多光谱数据在城市不透水面估算中的可用性研究.....	陈峰, 邱全毅, 郭青海, 唐立娜 (630)

## 智能遥感卫星系统

张兵

中国科学院 对地观测与数字地球科学中心, 北京 100190

**摘 要:** 分析了当前遥感卫星系统存在的一些不足, 论述了新一代“智能遥感卫星系统”的概念及其主要特点, 对其自适应遥感成像和星上数据实时处理两个核心部分进行重点介绍, 并对其涉及的关键科学问题和关键技术进行阐述, 设计了一套具有自适应成像和应用模式化能力的智能高光谱卫星有效载荷系统, 该系统由用于区域背景信息获取的前视阵列传感器、用于地表详细观测的主传感器以及星上数据实时处理和分析3部分组成。对智能高光谱卫星的工作原理和流程进行介绍, 并呼吁中国尽快围绕智能遥感卫星系统开展一些前沿性的科学理论和关键技术研究, 以实现中国在卫星遥感领域的跨越式发展。

**关键词:** 智能遥感卫星, 高光谱遥感自适应观测, 实时处理, 现场可编程门阵列

**中图分类号:** TP701 **文献标志码:** A

**引用格式:** 张兵. 2011. 智能遥感卫星系统. 遥感学报, 15(3): 415-431

Zhang B. 2011. Intelligent remote sensing satellite system. Journal of Remote Sensing, 15(3): 415-431

## 1 引言

进入21世纪, 航天遥感技术在国民经济建设、人类社会可持续发展和国防建设中的作用越来越重要, 卫星遥感及其应用技术的发展日新月异, 国际上一些新型对地观测卫星不断涌现, 以应用为导向、天地一体化的理念在遥感卫星系统的设计和制造中得到越来越充分的体现。卫星遥感在努力追求更高空间分辨率、光谱分辨率和时间分辨率的同时, 一些数据获取能力很强、应用更具针对性的遥感小卫星也迅猛发展, 这些都标志着人类即将迎来遥感数据“爆炸”的时代。在这种形势下, 确实需要认真思索卫星遥感未来的发展方向, 以解决目前已经开始逐渐显现出的一些紧迫问题, 主要体现在以下3个方面:

第一, 遥感卫星数据获取能力越来越强、数据量越来越大, 给卫星下行数传和后处理带来巨大压力。遥感卫星空间分辨率、光谱分辨率和扫描幅宽等成像性能的不断提高, 也使得卫星数据量以几何级数递增。例如, 美国NASA每天要接收超过3.5 Tb的观测数

据(Ramapriyan 等, 2004), 而真正最终使用的仅是其中很小的一部分。再以中国的情况为例, 中国科学院对地观测中心的密云遥感卫星接收站2008年共接收各类遥感卫星数据36.91万景, 但只有1.36万景被用户订购, 订购量仅占接收量的3.7%。数据获取量和实际使用量之间存在巨大反差, 数据使用效率比较低。而且, 这些庞大的原始数据也给卫星数据的下传和地面处理设备带来巨大负荷。但没有对应时非常缺乏精度更高、更符合定量化专业应用要求的数据。

第二, 地面环境背景与观测目标复杂多样, 即使同类型地物的遥感特性也随季节不同而变换。但卫星载荷研制发射后其指标就基本一成不变, 如Landsat/TM、SPOT、MODIS、EO-1等卫星, 以及中国的CBERS、HJ-1A、HJ-1B等卫星在轨运行期间具有固定的观测与成像模式, 传感器成像波段、空间分辨率、光谱分辨率、辐射分辨率和光谱响应等设置都是预先设计并固定不变的。国土资源调查、自然灾害监测、环境保护和军事侦察等对卫星数据需求各不相同, 现有主要遥感卫星无法根据观

收稿日期: 2010-09-27; 修订日期: 2010-11-22

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)“空间智能观测理论与地面敏感因子参数反演”(编号: 2009CB923902)。

第一作者简介: 张兵, (1969—), 男, 理学博士, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向是高光谱遥感、遥感数据处理与应用, 已发表论文120多篇, SCI和EI收录80余篇, E-mail: zhangbing@gsdi.ac.cn。

张兵, 2011, 智能遥感卫星系统, 遥感学报, 5(3):415-431。

# 智能高光谱遥感卫星系统

旨在解决以下三方面问题：

1. 从数据获取源头**解决**高光谱遥感系统对地物的**高效能观测问题**
2. 以观测对象和应用目标为导向综合**解决**高光谱**遥感定量化处理问题**
3. 数据获取与处理系统一体化来**解决**高光谱信息**快速生产与服务问题**

# 智能高光谱遥感卫星系统



智能高光谱遥感卫星系统运行演示

CEODE



中国科学院研究生院教材  
Textbooks of Graduate University of Chinese Academy of Sciences

# 高光谱遥感

——原理、技术与应用

童庆禧 张兵 郑兰芬 编著

Hyperspectral Remote Sensing

高等教育出版社  
Higher Education Press



<http://www.phei.com.cn>

# 高光谱遥感的 多学科应用

Hyperspectral Remote Sensing  
and It's Multidisciplinary Applications

童庆禧 张兵 郑兰芬 主编

0110110111000100101001011001

0110110111000100101001011001

0110110111000100101001011001

0110110111000100101001011001

0110110111000100101001011001

0110110111000100101001011001

0110110111000100101001011001

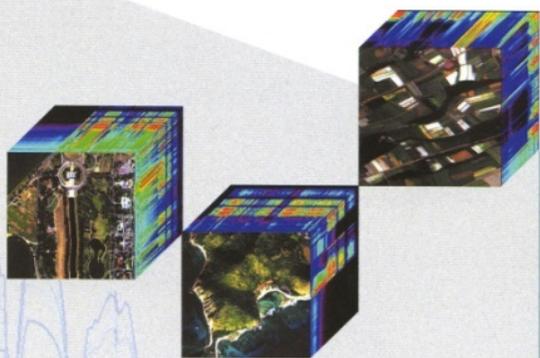
0110110111000100101001011001

电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

# 高光谱图像分类 与目标探测

Hyperspectral Image Classification  
And Target Detection

● 张 兵 高连如 著



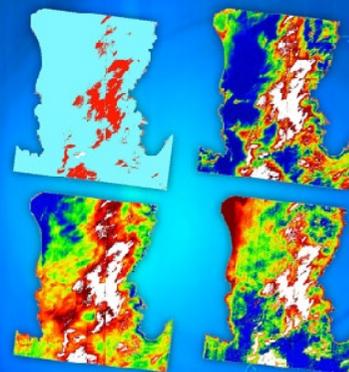
科学出版社



地球观测与导航技术丛书

# 内陆水体高光谱遥感

张 兵 李俊生 王 桥 申茜 编著



科学出版社

# 谢谢

