

# 植被定量遥感原理与方法

刘良云 博士、研究员

中国科学院遥感与数字地球研究所

2013年7月20日

Tel: 8610-82178163; Fax: 8610-82178177

Email: [lyliu@ceode.ac.cn](mailto:lyliu@ceode.ac.cn)

<http://www.radi.cas.cn>

# 报告内容

## 一、植被定量遥感的基本原理

- 植被定量遥感的基本概念
- 光与叶片、冠层相互作用机理与模型
- 光谱反射率的基本问题

## 二、植被参数遥感反演基础问题

- 遥感反演植被参数类型
- 植被参数遥感反演机制与方法、困难与挑战有哪些
- 遥感尺度效应

## 三、植被信息高光谱获取

- 植被信息遥感获取的基本原理与解决方案
- 基于辐射传输模型的作物信息遥感反演
- 植被信息遥感反演模型与方法
- 植被荧光遥感

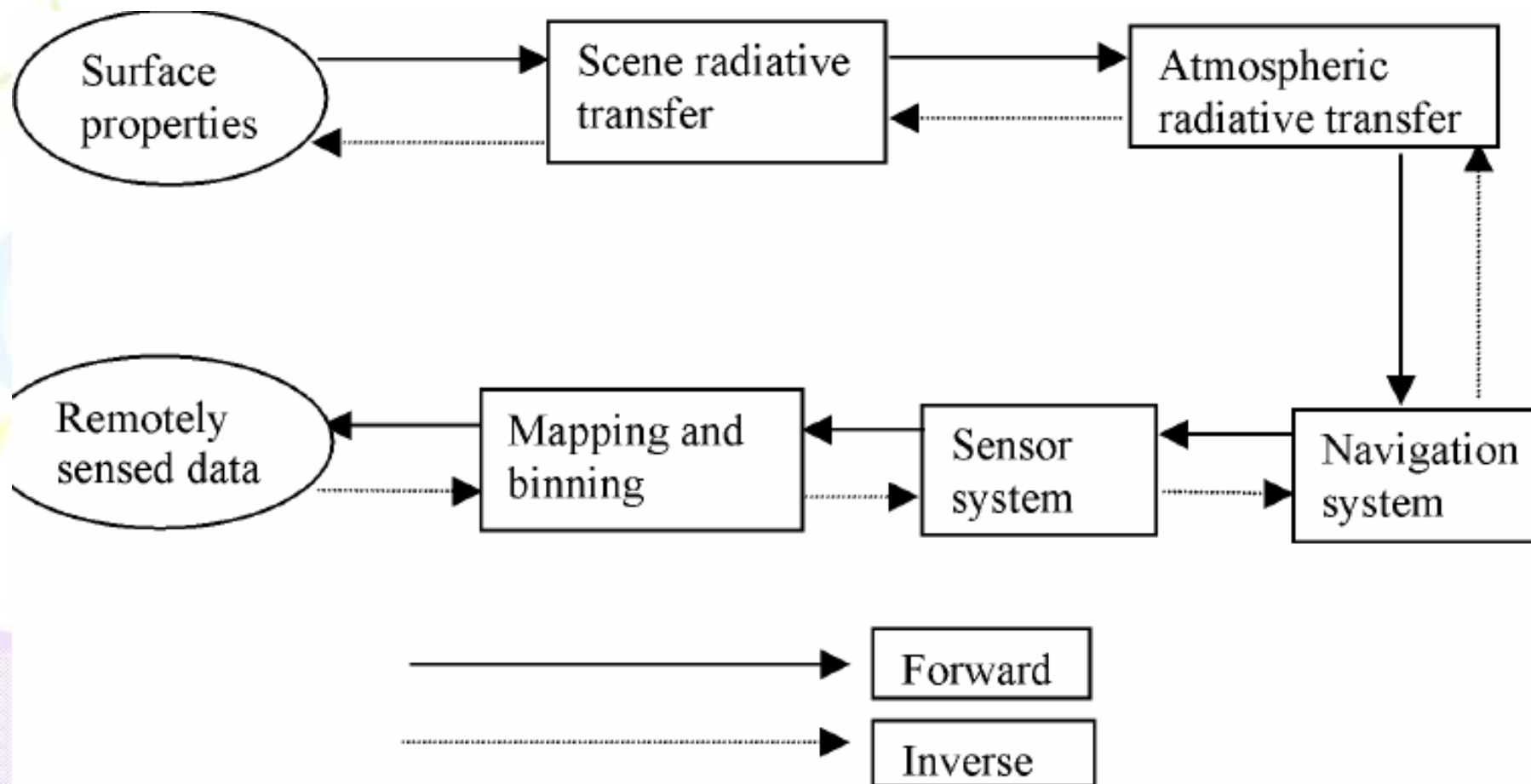
---

# 一、农业定量遥感原理

1. 植被定量遥感的基本概念
2. 光与叶片相互作用机理与模型
3. 光与冠层相互作用机理与模型

# 一、农业定量遥感原理

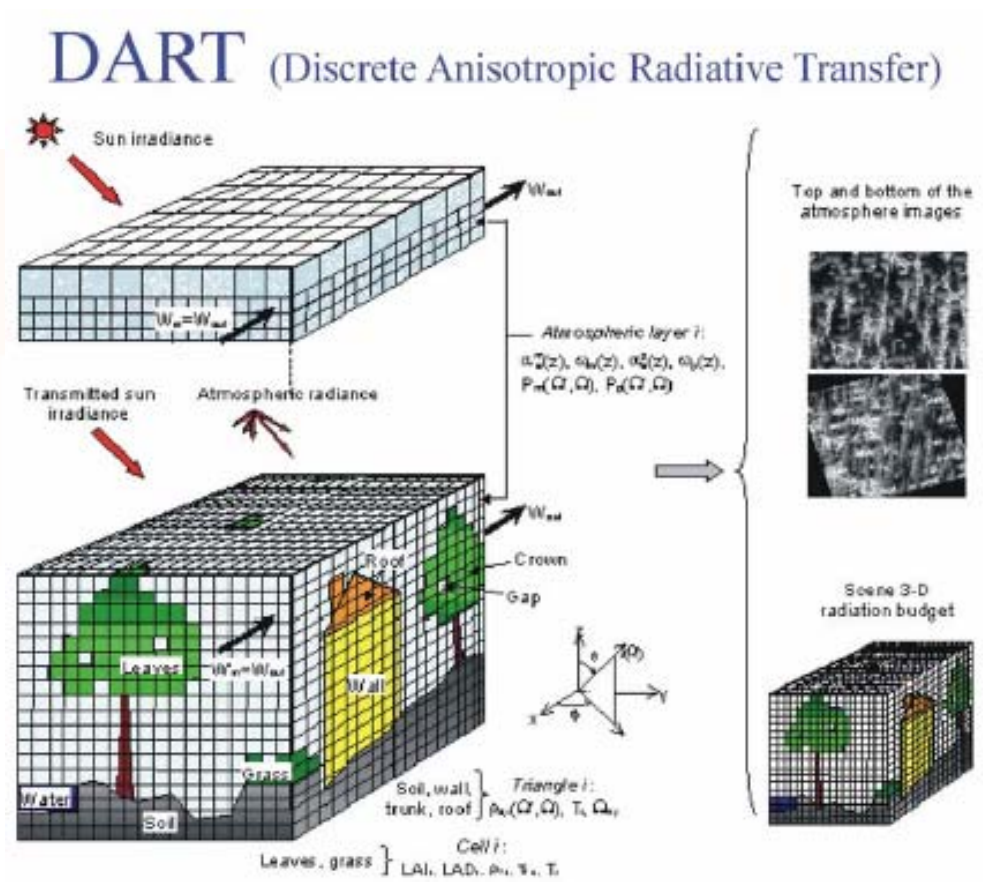
## 1.1 定量遥感的基本概念



# 1.1 定量遥感的基本概念

地物定量模型(辐射/反射信息—地物信息):

光学辐射传输物理模型、几何光学模型

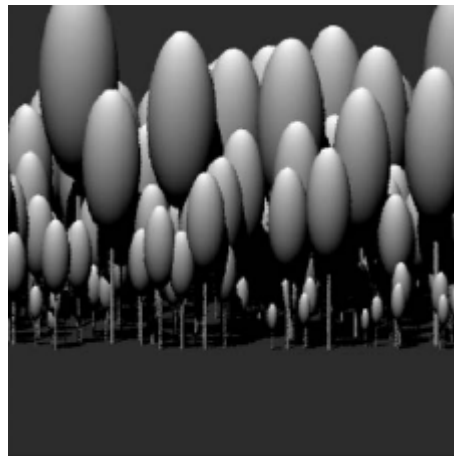


麦克斯维尔方程

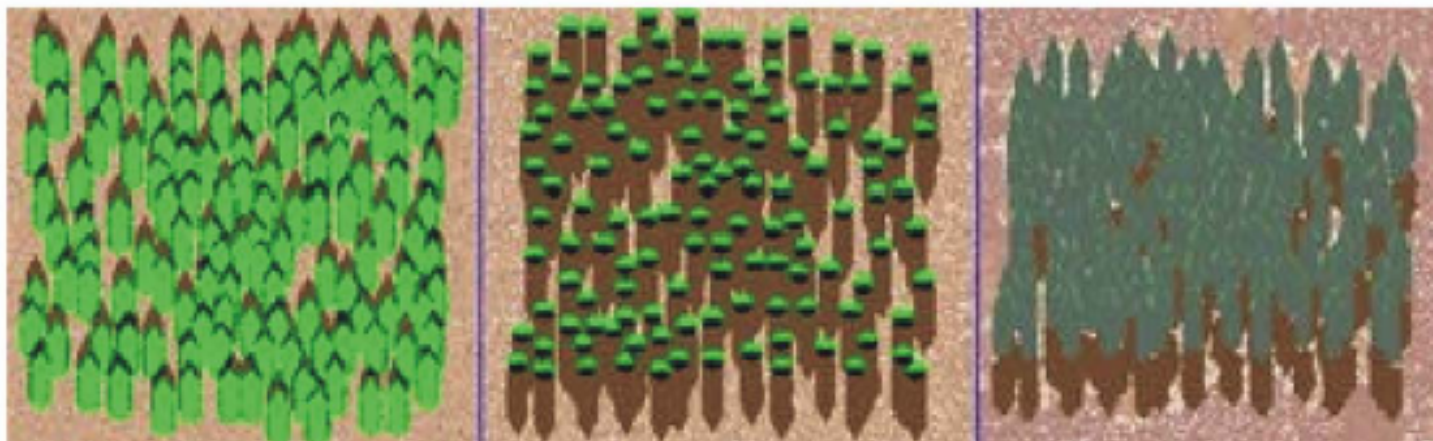
# 1.1 定量遥感的基本概念

地物定量模型(辐射/反射信息—地物信息):

几何光学模型

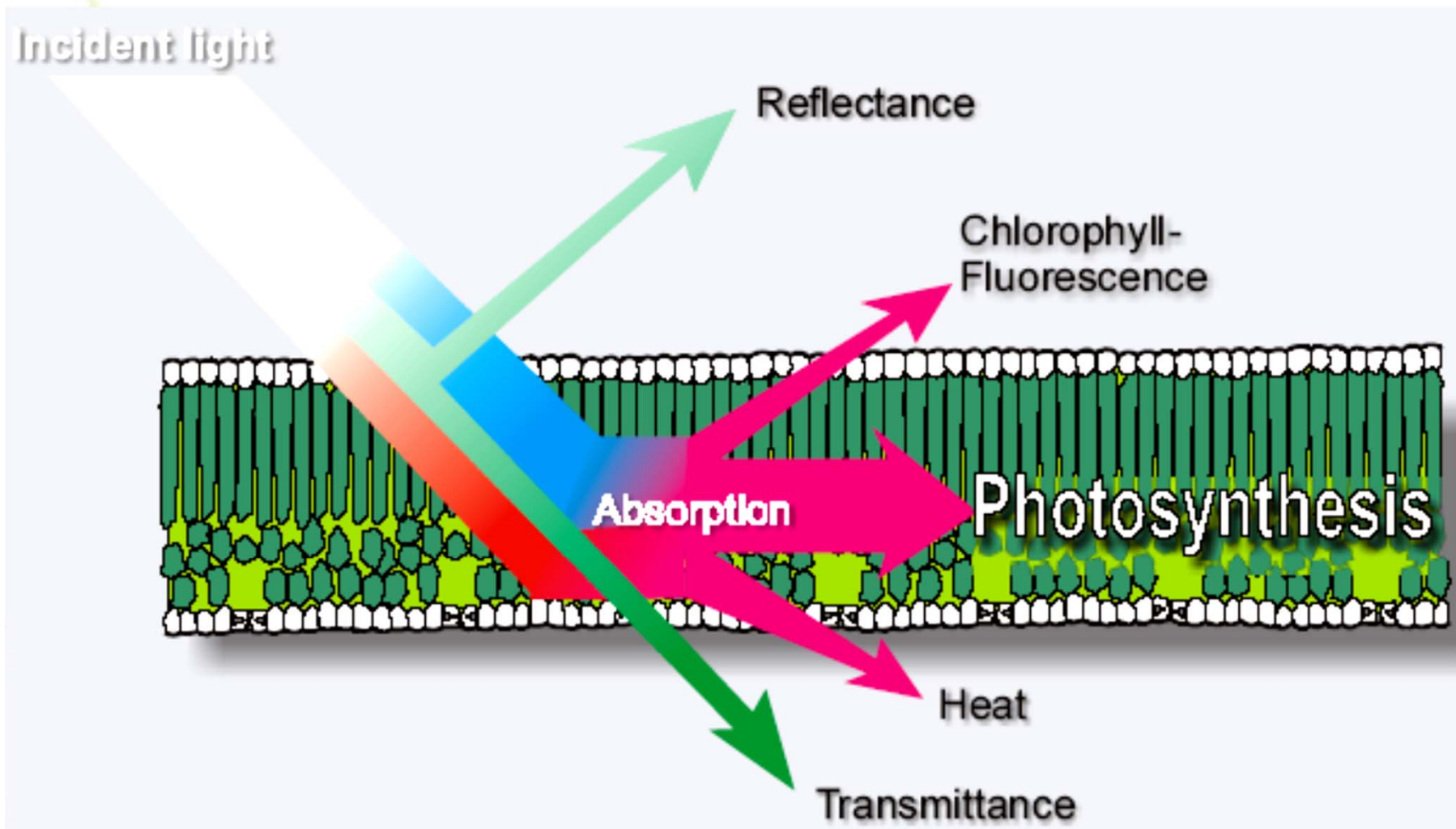


Sunlit crown, sunlit/shaded ground/crown, shaded ground/crown



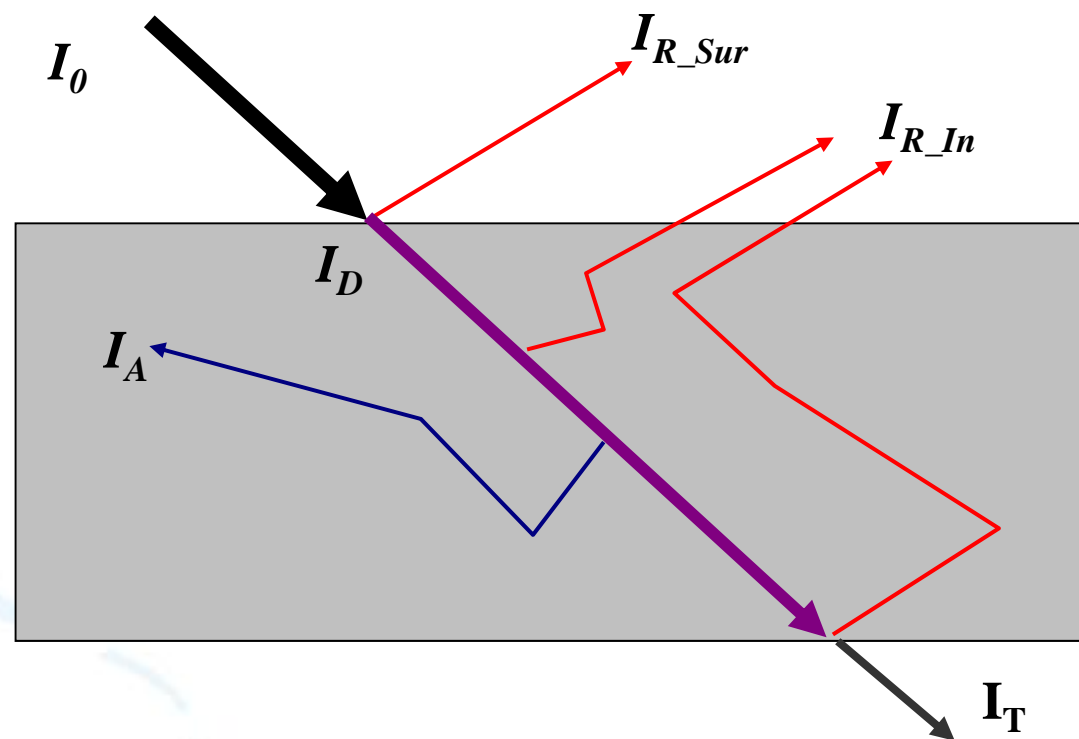
## 1.2 光与叶片相互作用机理与模型

光与叶片相互作用



## 1.2 光与叶片相互作用机理与模型

光与叶片相互作用

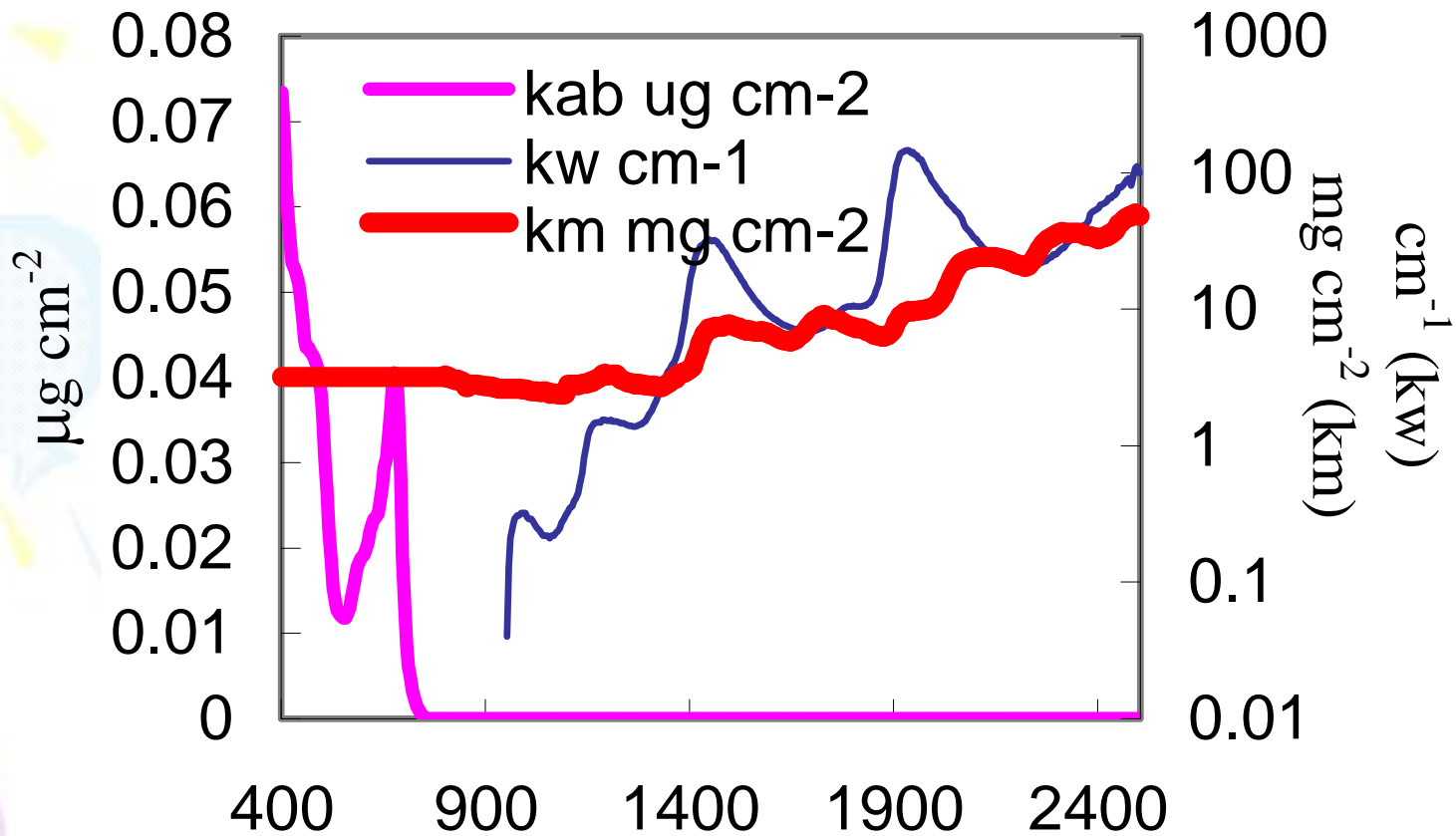


Interaction between light and leaf



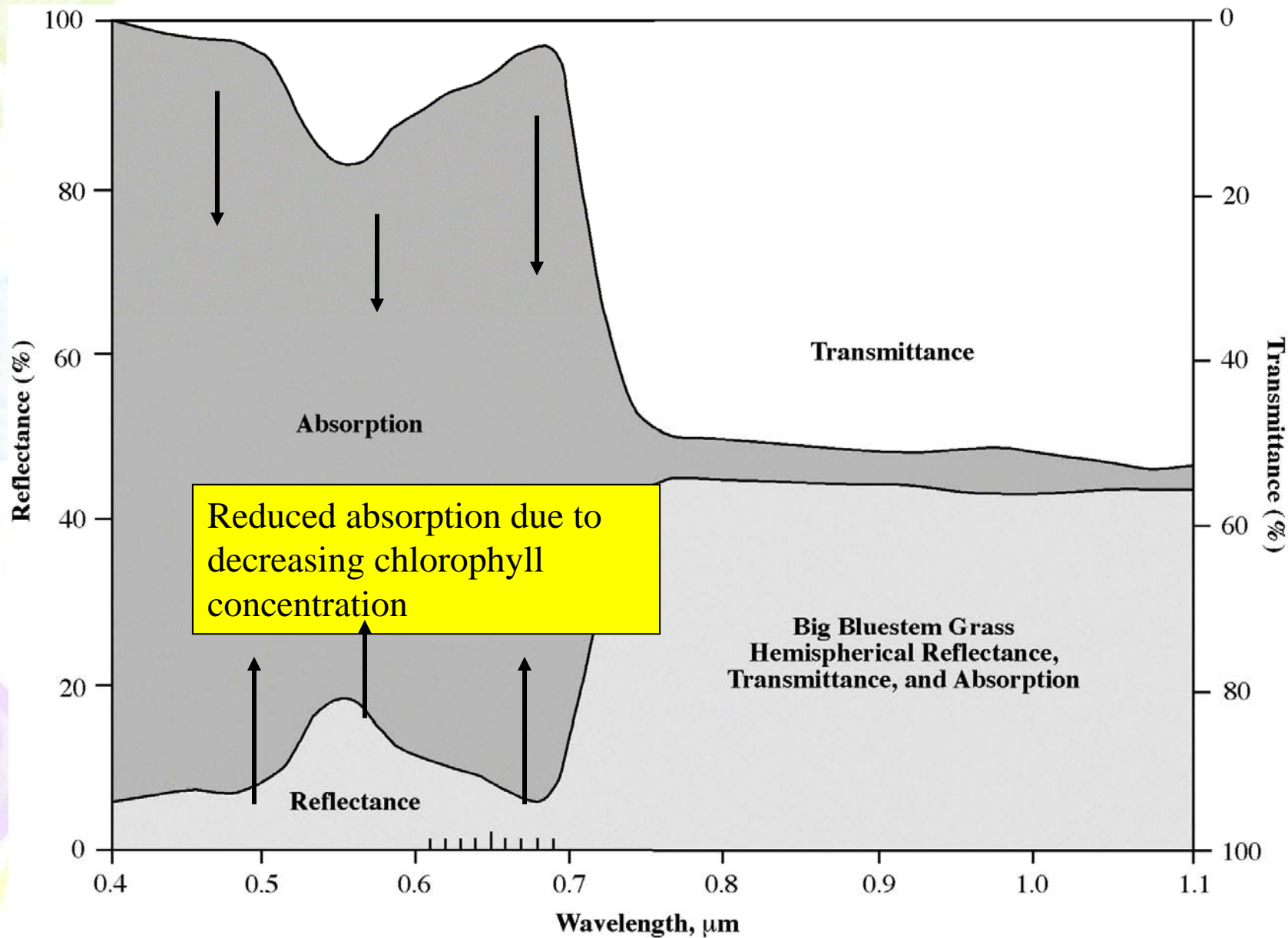
## 1.2 光与叶片相互作用机理与模型

光与叶片相互作用

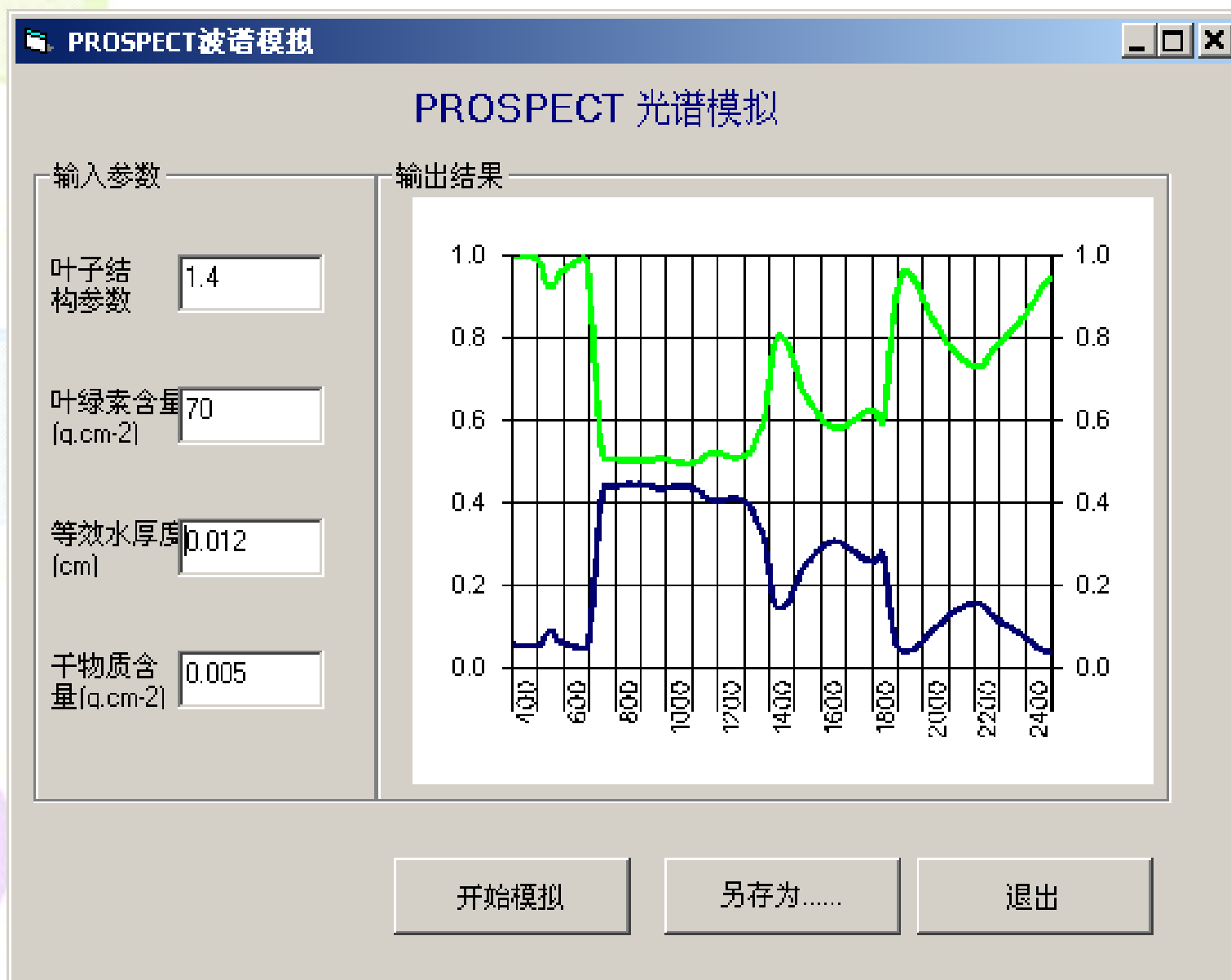


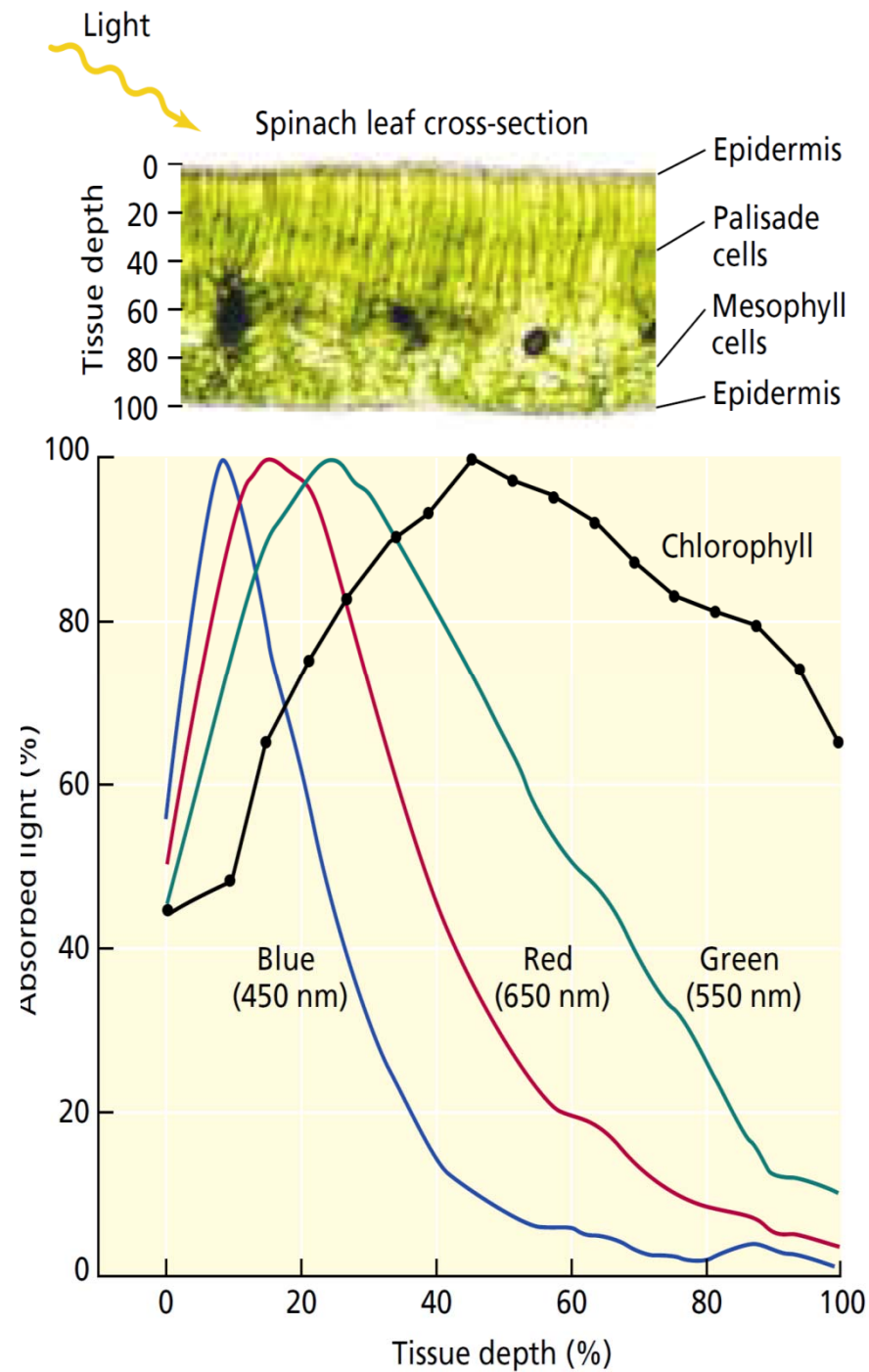
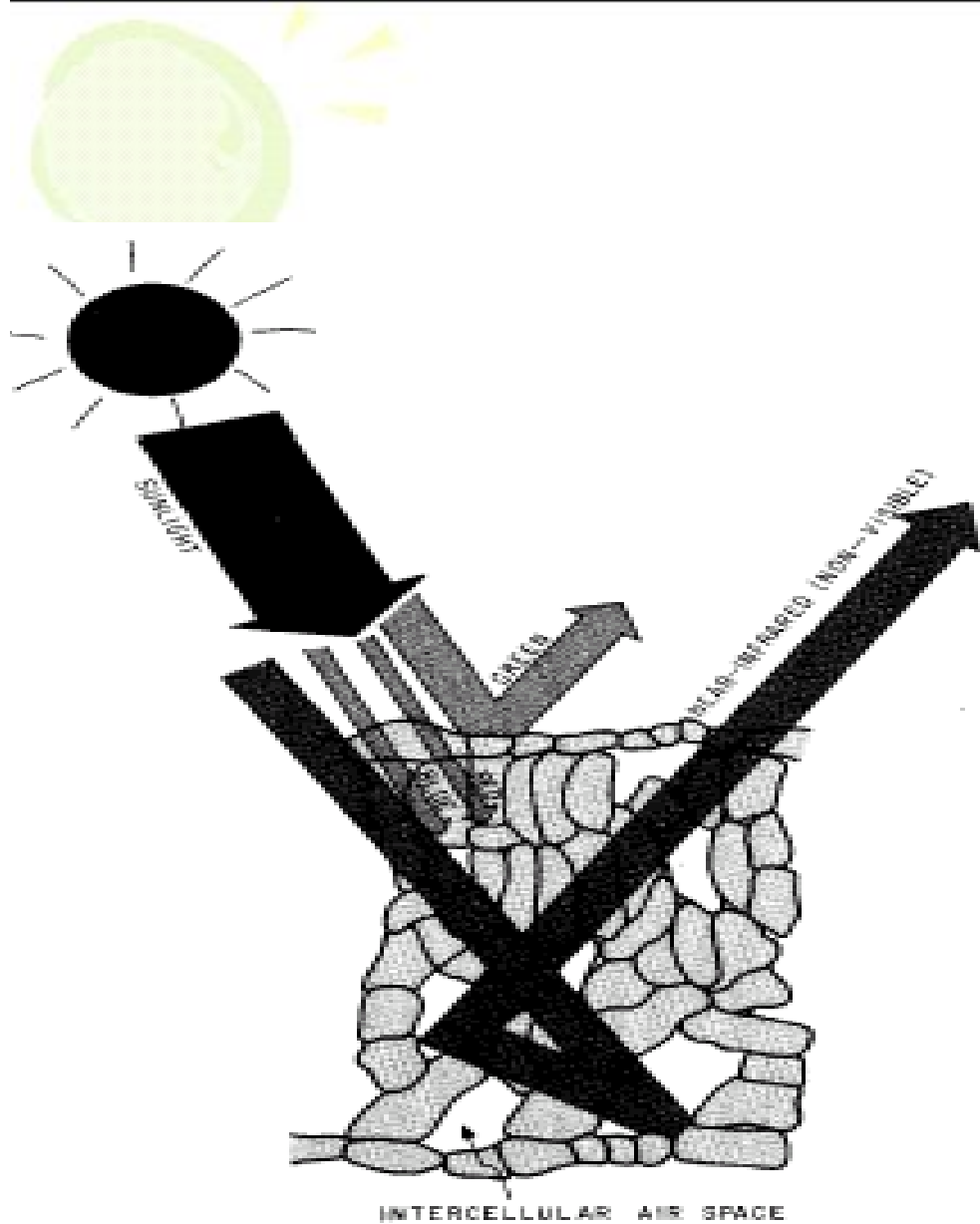
Absorption coefficients of foliar biochemical contents

**Q1: 植被反射率光谱与透射光谱的相似原理是什么？**



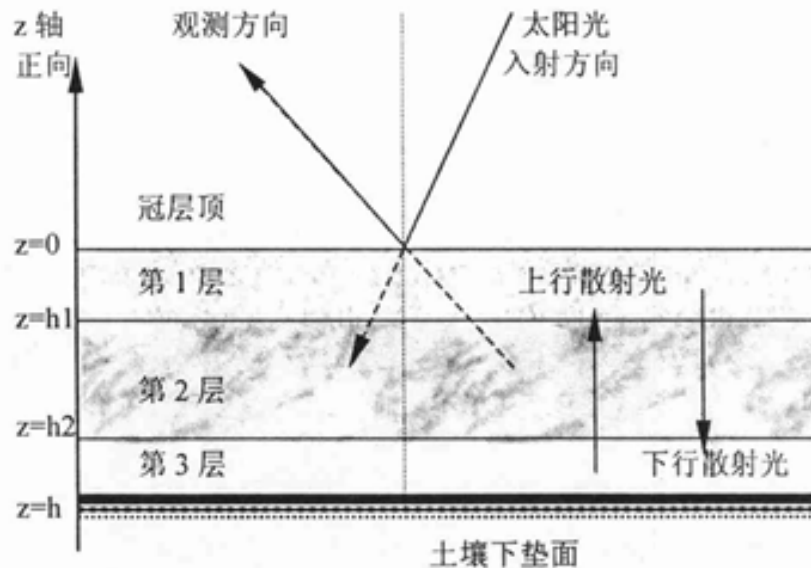
## 1.2 光与叶片相互作用机理与模型





**Q1: 什么波长的光对叶片内部结构更有探测优势?**

## 1.3 光与冠层相互作用机理与模型



1. 作物群体LAI
2. 冠层结构参数
3. 叶片生化特性
4. 下垫面背景
5. 成像条件，观测角、入射角
6. 气象条件：直射、散射光比例

# 1.3 光与冠层相互作用机理与模型

PROSAIL 模拟

### PROSAIL 光谱模拟

输入参数集

计算太阳角参数

年	2003	分	30
月	5	秒	0
日	1	经度	116.698
时	10	纬度	40.17

SAIL参数

叶面积指数	2
天空散射光	0.2
土壤反射率	0.2

PROSPECT参数

叶子结构参数	1.4
叶绿素含量(ug.cm <sup>-2</sup> )	70
等效水厚度	0.012
干物质含量	0.005

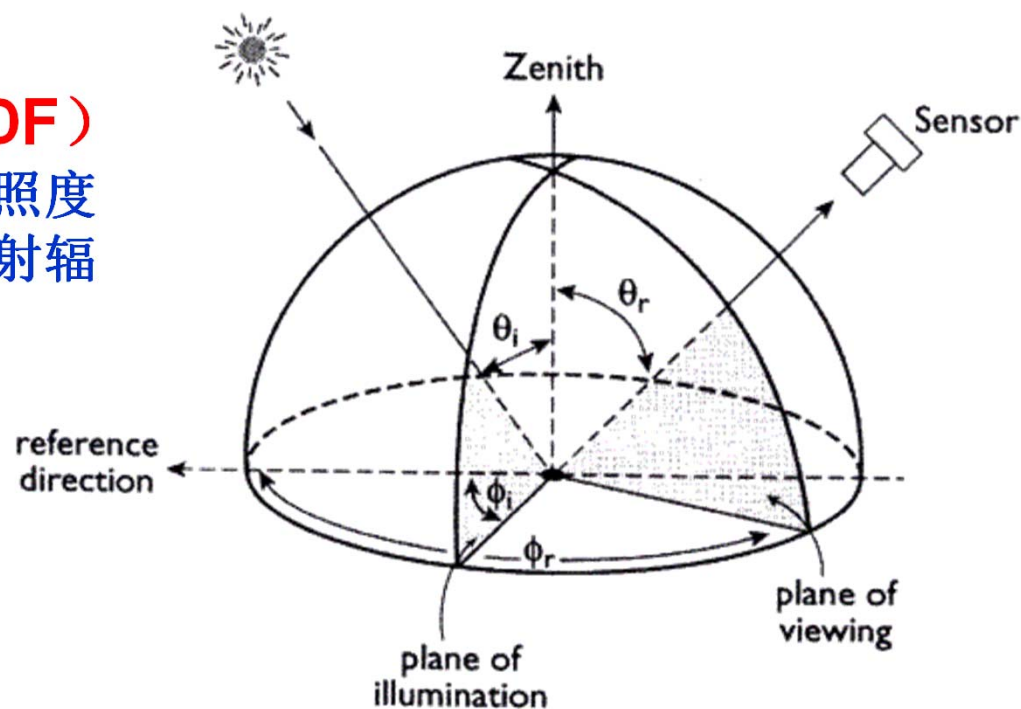
模拟结果

观测角度	观测天顶角	0	观测方位角	0
冠层结构参数	平均叶倾角	48.2	偏心率	0.988

PROSAIL模拟    保存为.....    退出

## 1.4 光谱反射率定义与基本问题

**双向反射率分布函数 (BRDF)**  
的物理意义是：来自方向地表辐照度的微增量与它所引起的方向上反射辐射亮度增量之间的比值。



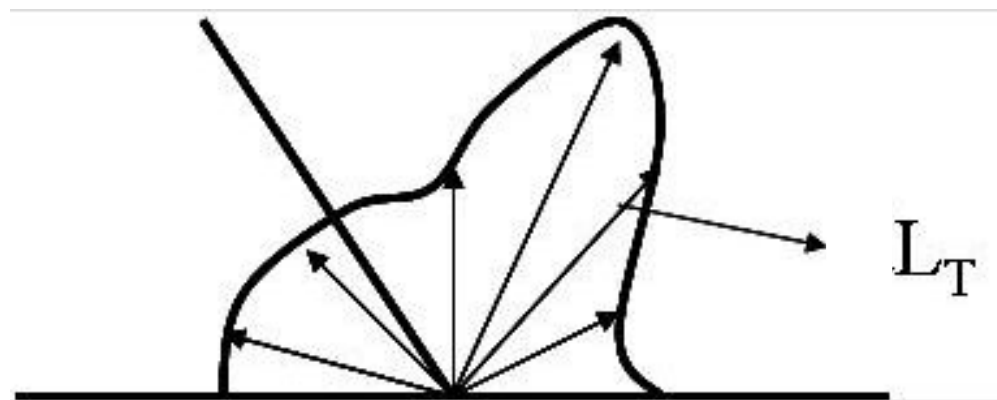
$$BRDF(\theta_i, \varphi_i, \theta_r, \varphi_r, \lambda) = \frac{dL_T(\theta_r, \varphi_r, \lambda)}{dE(\theta_i, \varphi_i, \lambda)}$$

**Q1: BRDF如何直接测量?**

## 1.4 光谱反射率定义与基本问题

### 双向反射率因子(Bi-directional Reflectance Factor, BRF)

定义：在相同的辐照度条件下，地物向 $(\theta, \varphi)$ 方向的反射辐射亮度与一个理想的漫反射体在该方向上的反射辐射亮度之比值，称为双向反射率因子R：



$$BRF(\theta_i, \varphi_i, \theta_r, \varphi_r, \lambda) = \frac{L_T(\theta_r, \varphi_r, \lambda)}{L_P(\theta_i, \varphi_i, \lambda)} = \pi BRDF$$



## 1.4 光谱反射率定义与基本问题

**反射率 (Reflectance)** 定义为地物表面反射能量与入射能量的比值。**光谱反射率 (Spectral Reflectance)** 为某个特定波长间隔下测定的物体反射率，连续波长测定的物体反射率曲线构成**反射率波谱 (Reflectance Spectrum)**。

$$\rho = \frac{\pi L}{E}$$

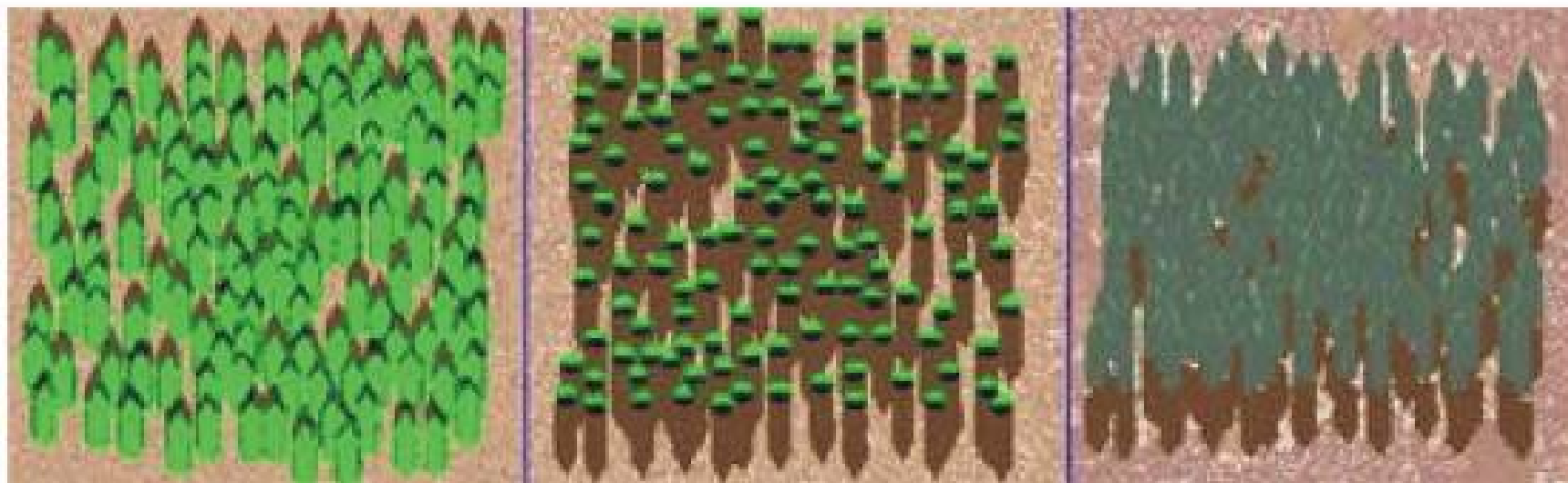
由于测定方式的差异，反射率波谱又可以根据入射能量的照明方式及反射能量测定方式给定如下4种定义：

坡地地表反射率如何测量？

下行辐射，到达地表和地物表面两种物理量的本质差异。

## 1.4 光谱反射率定义与基本问题

Sunlit crown, sunlit/shaded ground/crown, shaded ground/crown



角度效应与对象的差别:

下行辐射，到达地表和地物表面两种物理量等同时，才是角度效应，其它是对象或关照差异。

## 1.4 光谱反射率定义与基本问题

**(1) 方向—方向反射率波谱：**入射能量照明方式为平行直射光，没有或可以忽略散射光；波谱测定仪器仅测定某个特定方向的反射能量。地物双向反射特性主要就是研究方向—方向反射率波谱。晴天条件下，以太阳光为照明光源，利用野外便携式地物光谱仪测定的地物反射率波谱就可以近似为方向—方向反射率波谱。方向—方向反射率的定义**BRDF**基本一致，其定义如下，

$$\rho(\theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r) = \frac{\pi L(\theta_r, \phi_r)}{E(\theta_i, \phi_i)}$$

$$BRDF(\theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r, \lambda) = \frac{dL_T(\theta_r, \phi_r, \lambda)}{dE(\theta_i, \phi_i, \lambda)}$$

## 1.4 光谱反射率定义与基本问题

**(2)半球一方向反射率波谱：**入射能量在半球空间内均匀分布，波谱测定仪器仅测定某个特定方向的反射能量。

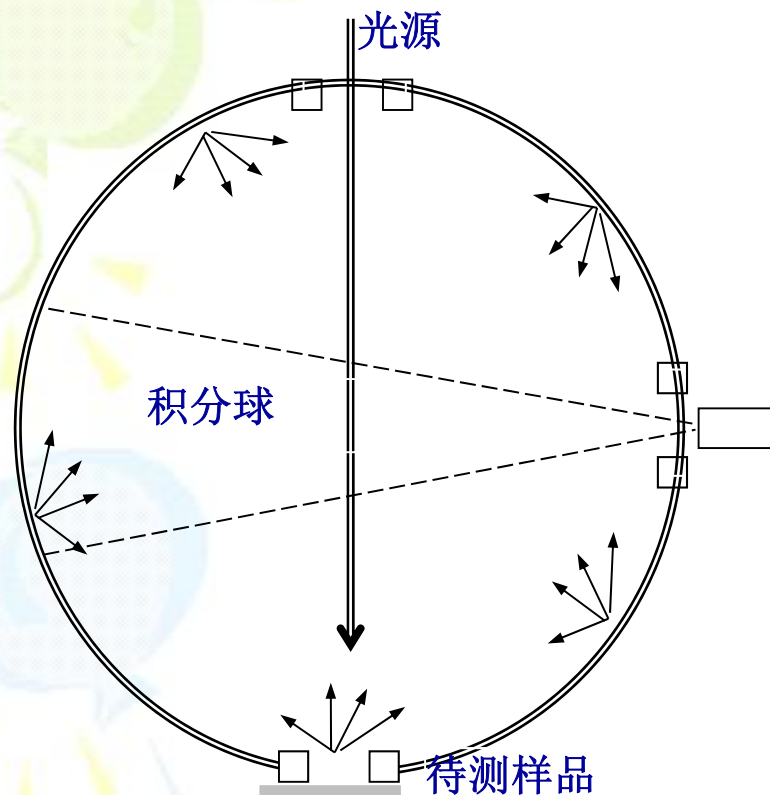
$$\rho(\theta_r, \phi_r) = \frac{\pi L(\theta_r, \phi_r)}{E_d} = \frac{\pi L(\theta_r, \phi_r)}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} E(\theta_i, \phi_i) \cos \theta_i \sin \phi_i d\theta_i d\phi_i}$$

全阴天条件下，以太阳散射光为照明光源，利用野外便携式地物光谱仪测定的地物反射率波谱就可以近似为半球一方向反射率波谱。

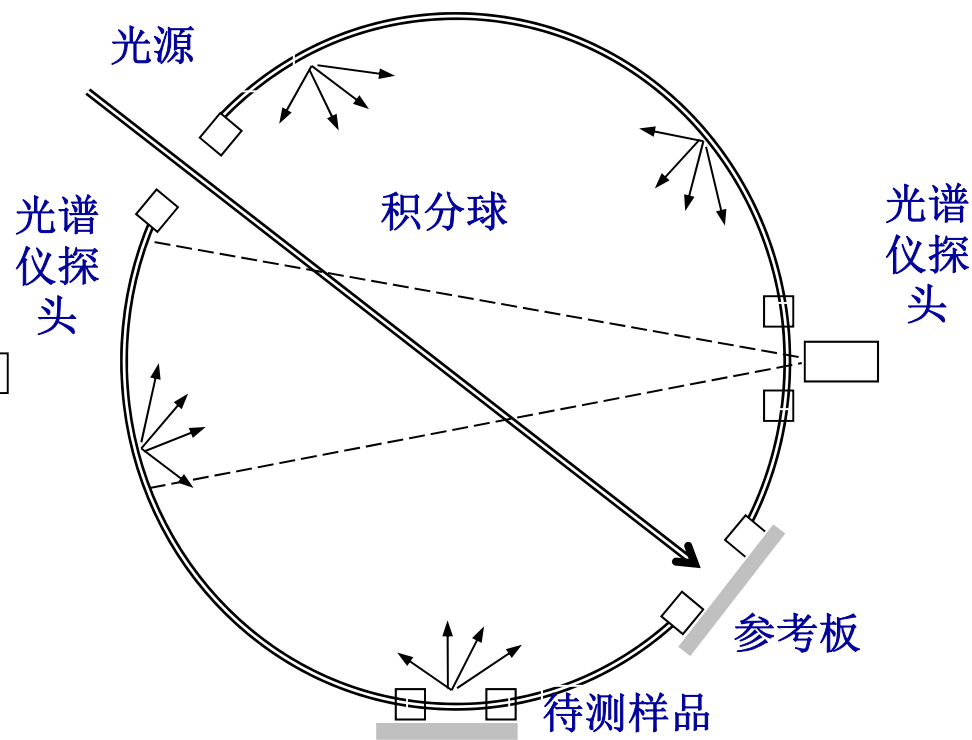
## 1.4 光谱反射率定义与基本问题

**(3) 方向一半球反射率波谱：**入射能量照明方式为平行直射光，没有或可以忽略散射光；波谱测定仪器测定的半球空间的平均反射能量。利用积分球原理测定的物体反射率波谱就是方向一半球反射率波谱。

$$\rho(\theta_i, \phi_i) = \frac{\pi L_u}{E(\theta_i, \phi_i)} = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} L(\theta_r, \phi_r) \cos \theta_r \sin \phi_r d\theta_r d\phi_r}{2 * E(\theta_i, \phi_i)}$$



(a) 叶片半球反射辐亮度测量



(b) 光源辐照度光谱测量

利用积分球测定叶片反射率

$$R_s = \frac{(I_s - I_d)R_r}{(I_r - I_d)}$$

$$T_s = \frac{I_s \times R_r}{I_r}$$

## 1.4 光谱反射率定义与基本问题

**(4) 半球—半球反射率波谱：**入射能量在半球空间内均匀分布，波谱测定仪器测定的是 $2\pi$ 半球空间的平均反射能量。若将不严格要求入射能量在半球空间内均匀分布，半球—半球反射率波谱就是地物反照率波谱。

$$\rho = \frac{\pi L_u}{E_d}$$

式中定义的半球—半球反射率就是反照率（**albedo**），全球变化遥感的热点。

## 1.4 光谱反射率定义与基本问题

### 野外地物方向反射率波谱测定和计算原理

野外条件下的太阳辐照度光谱的测定可以借助一个标定好的朗伯体作为反射参考板，利用便携式地物光谱仪测定参考板的辐亮度光谱，从而计算太阳光源到达地表的辐照度光谱。太阳辐照度光谱计算如下

$$E_d^*(\lambda) = \frac{\pi L_{Ref}(\lambda)}{\rho_{Ref}(\lambda)}$$

根据方向反射率定义和公式，太阳辐照度光谱测定后，只要同步测定目标反射的辐亮度光谱，就可以计算目标的光谱反射率，

$$\rho_t(\theta_r, \phi_r, \lambda) = \frac{\pi L_t(\theta_r, \phi_r, \lambda)}{E_d^*} = \frac{L_t(\theta_r, \phi_r, \lambda)}{L_{Ref}(\theta_r, \phi_r, \lambda)} \rho_{Ref}(\lambda)$$



## 1.4 光谱反射率定义与基本问题

**反射率 (Reflectance)**：定义为地物表面反射能量与入射能量的比值。

**表观反射率 (Apparent reflectance)**：定义遥感器观测的辐射信号与太阳入射辐射信号比值。

可见光波段还有植被光合作用荧光。

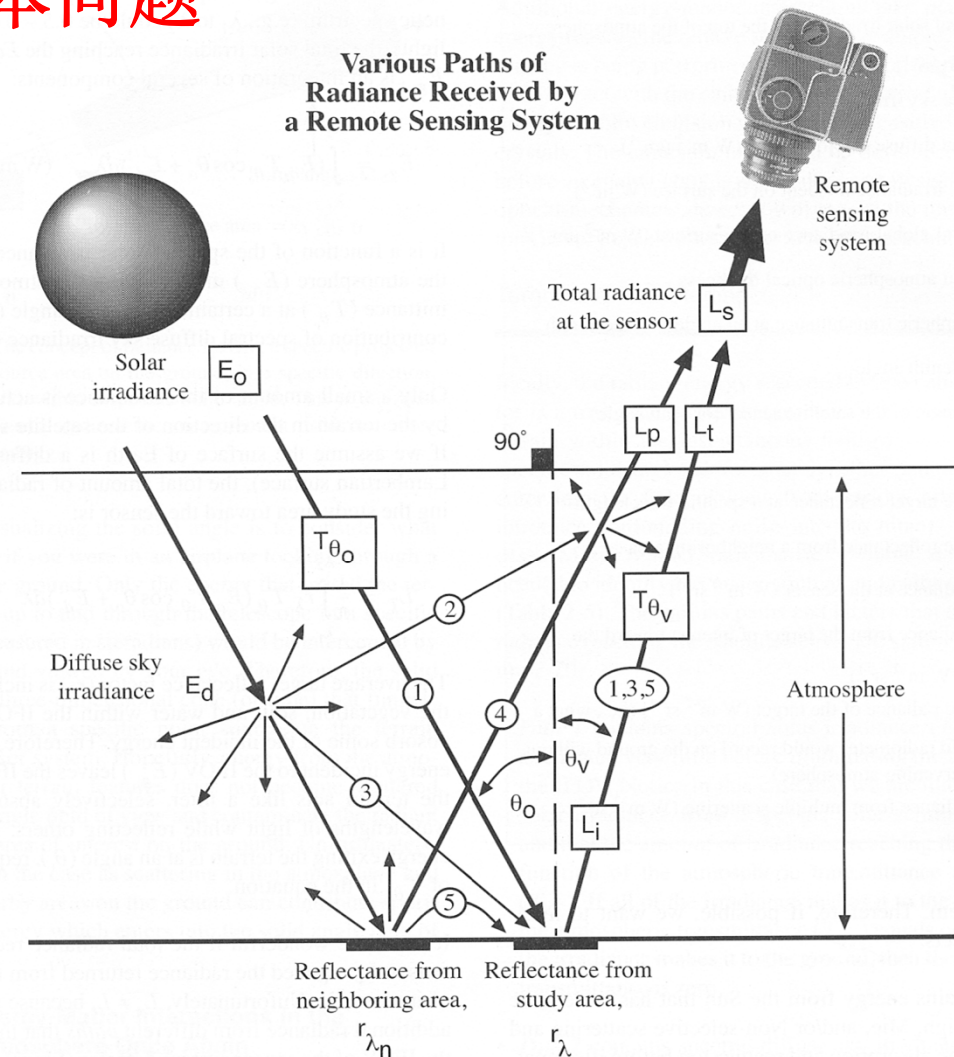
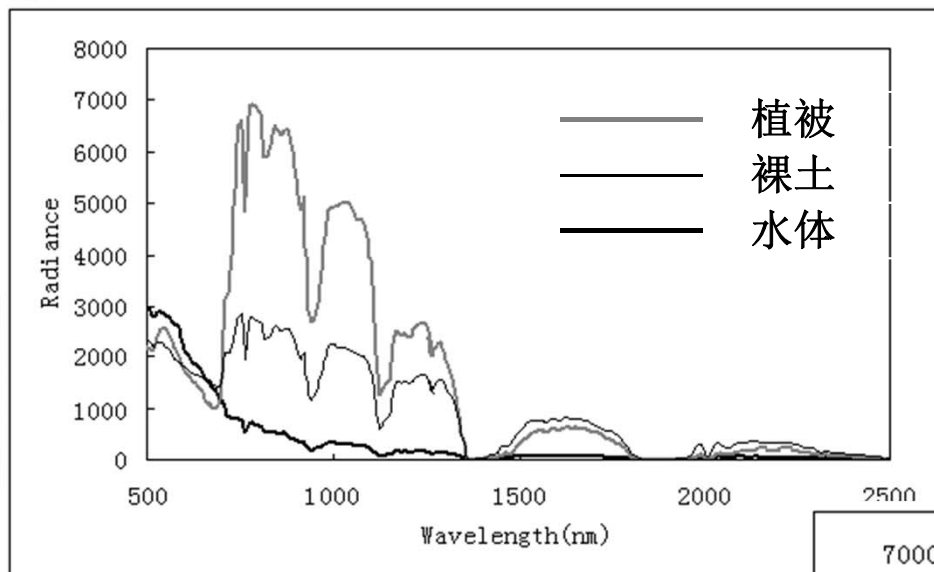


Figure 2-20 Radiance ( $L_p$ ) from paths 1, 3, and 5 contains intrinsic valuable spectral information about the target of interest. Conversely, the path radiance ( $L_p$ ) from paths 2 and 4 includes diffuse sky irradiance or radiance from neighboring areas on the ground. This path radiance generally introduces unwanted radiometric noise in the remotely sensed data and complicates the image interpretation process.

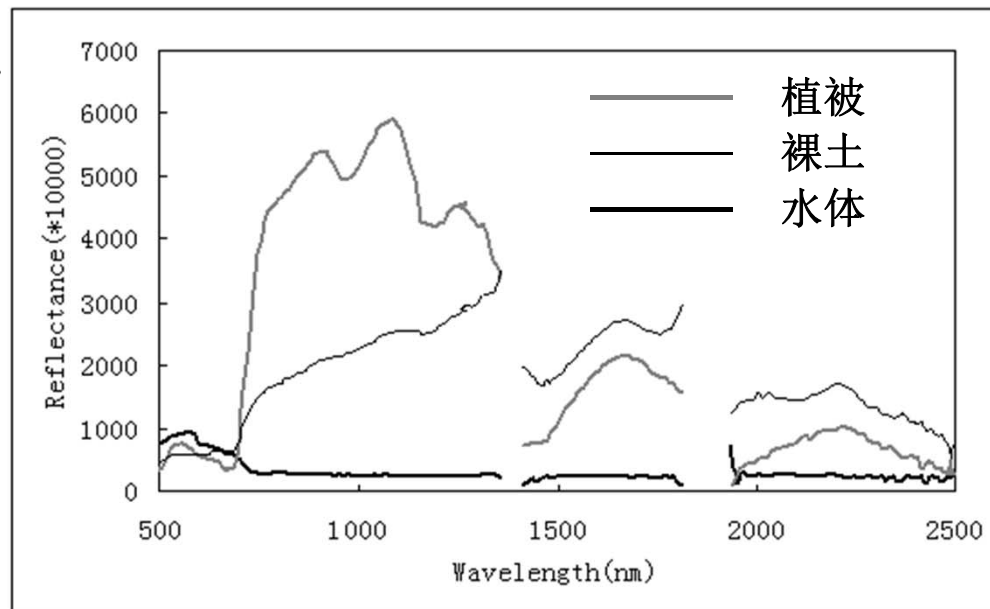
# TOA和TOC表现反射率光谱差异

## FLAASH



辐射校正前-TOA



## 辐射校正后-TOC



---



## 二、植被参数遥感反演基础问题

- 
- 1、遥感反演植被参数类型
  - 2、植被参数遥感反演机制有哪些
  - 3、植被参数遥感反演方法有哪些
  - 4、植被参数遥感反演困难与挑战有哪些
- 

# 1、遥感反演植被参数类型

## 1) 植被生化组分的遥感定量反演

叶绿素、水分、氮、木质素、纤维素等

量纲的问题？

## 2) 植被生物物理参数的遥感定量反演

叶面积指数LAI、绿色生物量BI、叶倾角分布LAD、植被覆盖度F、冠层结构参数（高度、冠径、胸径比）等；

方向性反射的问题？高分辨率应用？

## 3) 植物生理生态学参数----环境相互作用

光合与呼吸作用：光能利用率、荧光、光合速率；

蒸腾作用：波文比、ET、水分利用效率；

气候辐射强迫要素：光合有效辐射吸收系数FPAR、Albedo等；

时间尺度的问题？植被遥感与生态模型协同的问题？

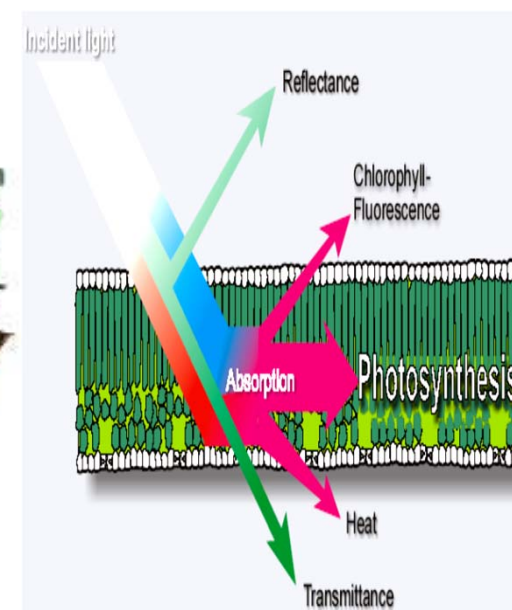
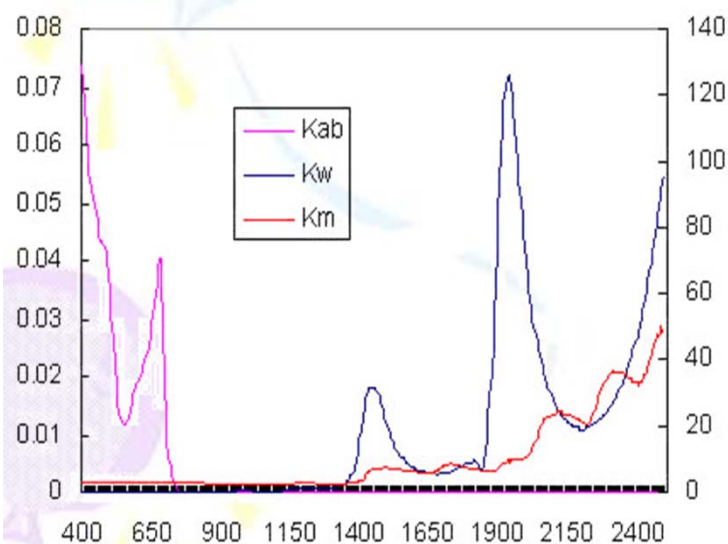
## 2、植被参数遥感反演机制有哪些

### 1) 基于光谱反射/辐射原理的遥感直接反演

植被生化组分：叶绿素、水分、氮、木质素、纤维素等

生物物理参数：LAI、生物量、覆盖度等

荧光；

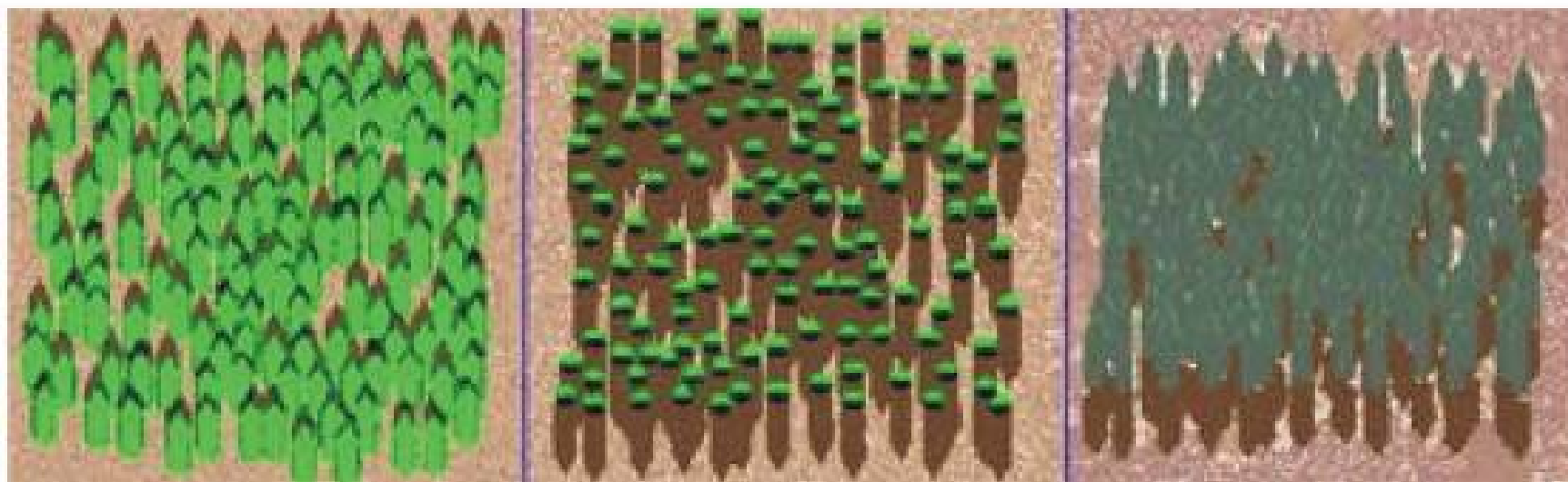


## 2、植被参数遥感反演机制有哪些

### 2) 基于高分辨率的植被参数遥感反演

植被覆盖度 $F$ 、冠层结构参数（高度、冠径、胸径比）等；  
主要手段包括高分辨率光学和激光雷达

Sunlit crown, sunlit/shaded ground/crown, shaded ground/crown



## 2、植被参数遥感反演机制有哪些

### 3) 基于植被参数物理关联的间接反演

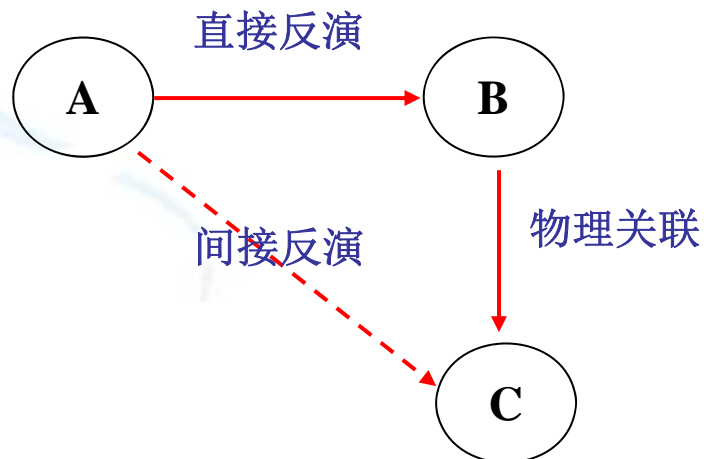
叶绿素——〉 氮

森林株高——〉 生物量/LAI

植被类型——〉 光能利用率（赋值法），CASA模型

LAI+叶绿素+PAR——〉 光合作用

作物LAI ——〉 作物产量（赋值法）

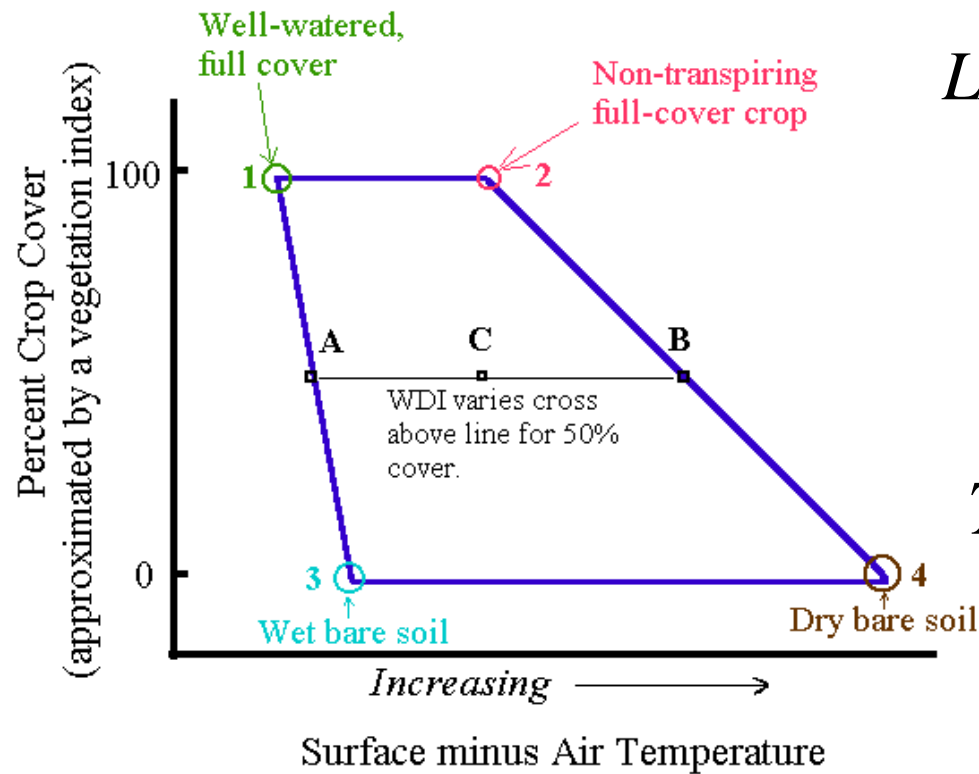


## 2、植被参数遥感反演机制有哪些

### 4) 基于自然规律(非电磁波反射/辐射)的综合间接反演

距平指数方法——> 农作物估产

相对距离方法——> ET、土壤墒情



$$LAI_{\sigma} = \frac{(LAI - LAI_{\mu})}{LAI_{\mu}}$$

——> 农作物产量

$$TCh_i = \frac{T_{\max} - T_{si}}{T_{\max} - T_{\min}} \times 100\%$$

Illustration of the water deficit index trapezoid.



### 3、植被参数遥感反演方法有哪些

#### 1) 统计方法

利用光谱和空间特征信号，建立植被参数的统计相关模型。

主要包括：植被指数、光谱吸收/反射特征、导数光谱、光谱位置模型的物理机制、样本区间决定模型的有效性和适用性，多项式模型慎用；

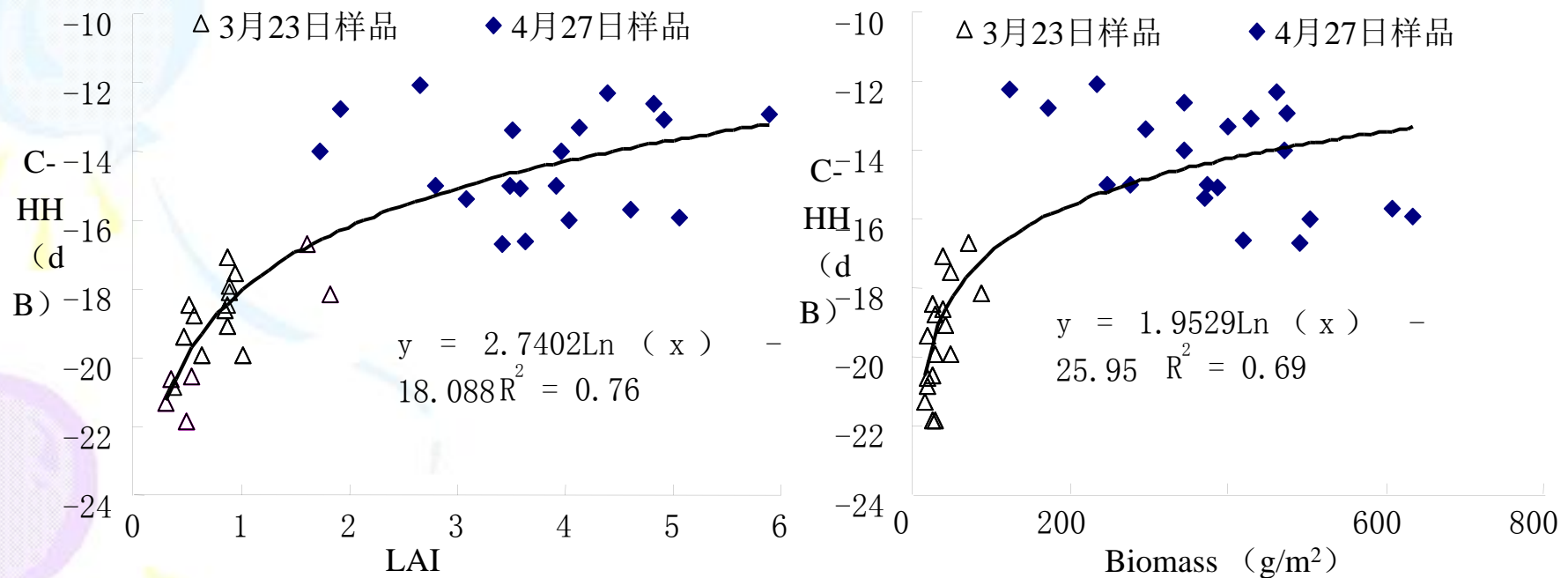


图7- 5 (a) C-HH后向散射与LAI的关系 (b) C-HH后向散射与Biomass的关系

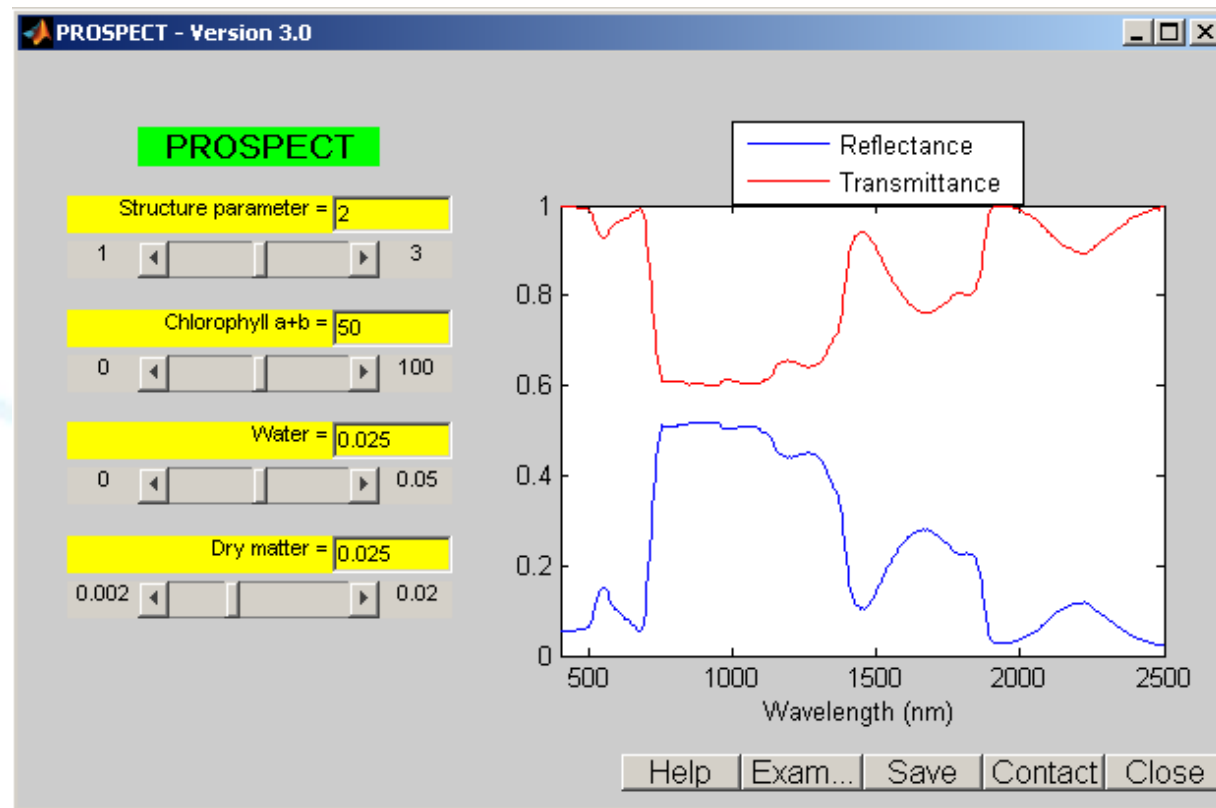
backscatter relation with biomass.

### 3、植被参数遥感反演方法有哪些

#### 2) 物理模型方法

利用植被光谱辐射传输模型，输入反射率光谱，得到全部植被生理生化参数。

$$\rho(\lambda) = f(p_1, p_2, \dots, p_n)$$



### 3、植被参数遥感反演方法有哪些

#### 3) 混合方法及半经验方法

利用模拟数据，建立模型，代入实测遥感数据，得到遥感反演产品；  
从地物-电磁波相互左右机理出发，建立光谱参数—植被参数的数学模型，用实验参数对数学模型进行模型参数标定；

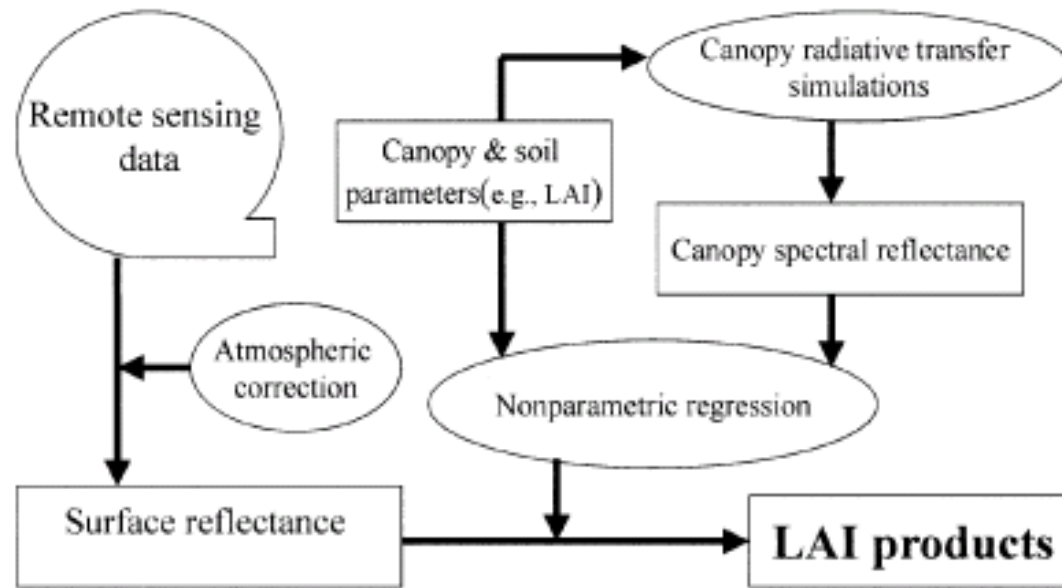
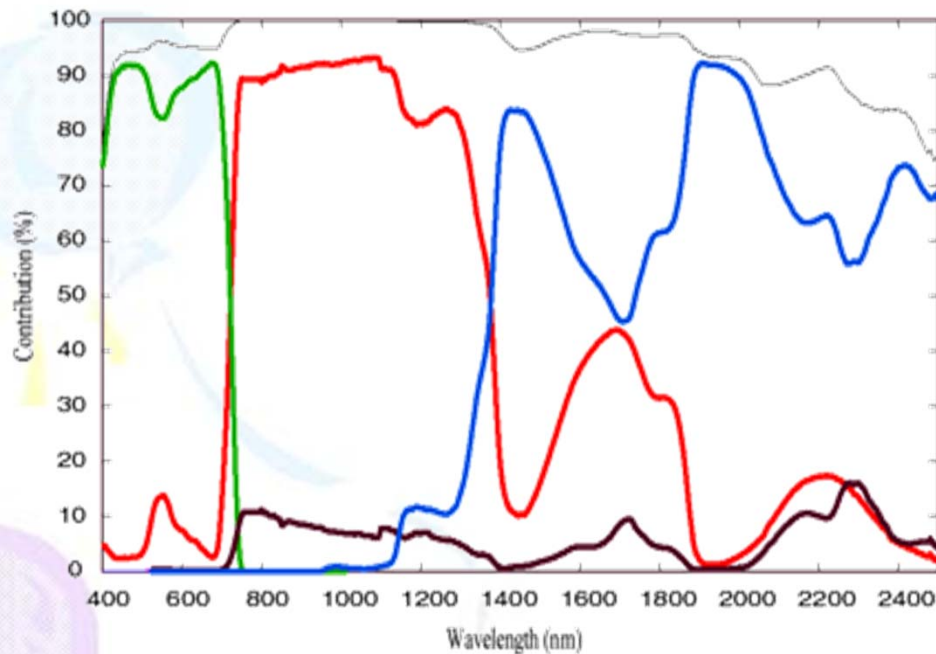


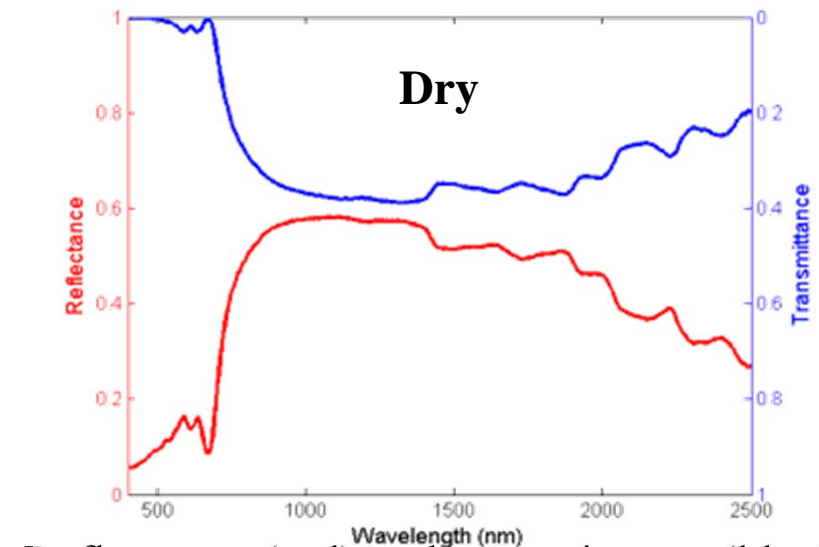
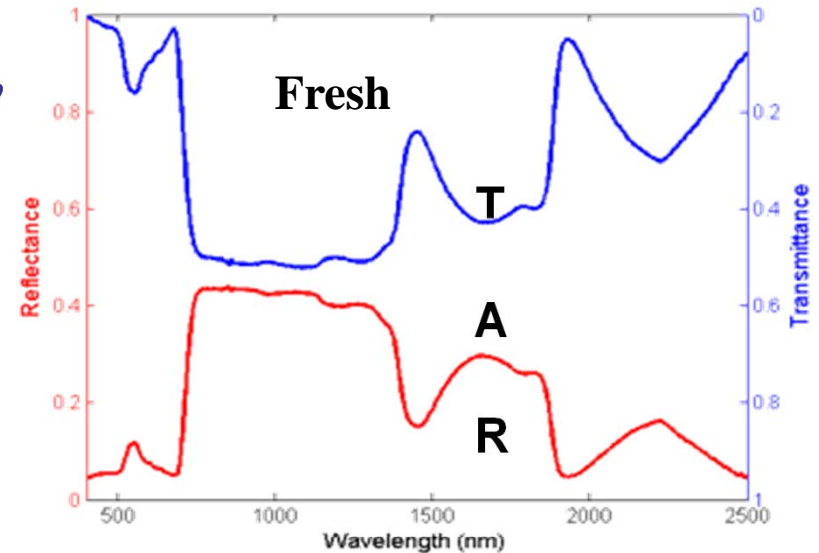
Fig. 5. Hybrid procedure for estimating LAI.

## 4、植被参数遥感反演困难与挑战有哪些

1) 光谱反射率各组分共同贡献，弱吸收组分的光谱信号分离与独立探测异常困难。



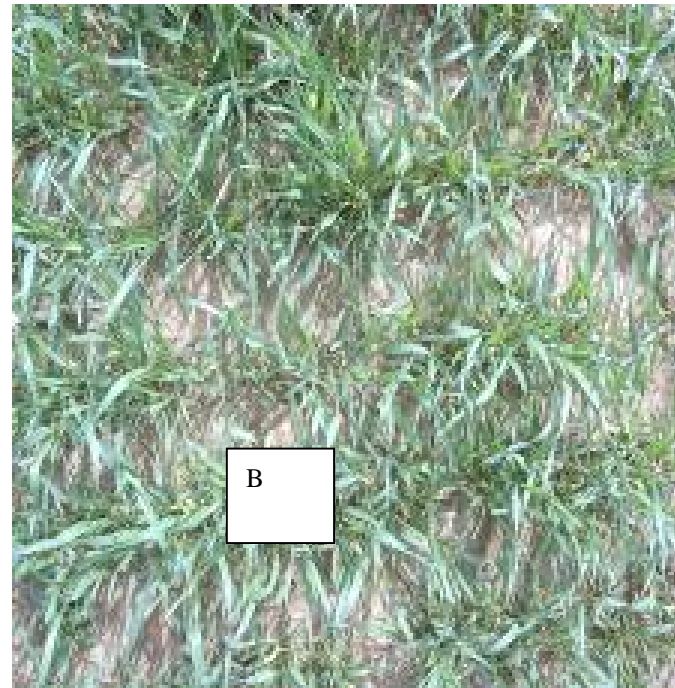
Contribution simulated by PROSPECT of *Cab* (green), *Cw* (blue), *Cm* (brown) and *N* (red) to the leaf transmittance.



Reflectance (red) and transmittance (blue) spectra of a fresh Carolina poplar leaf

#### 4、植被参数遥感反演困难与挑战有哪些

2) 植被高度空间异质特性难以精确建模表达，参数反演存在巨大不确定性。



紧凑型 (A) 和披散型 (B) 品种 (LAI相等)

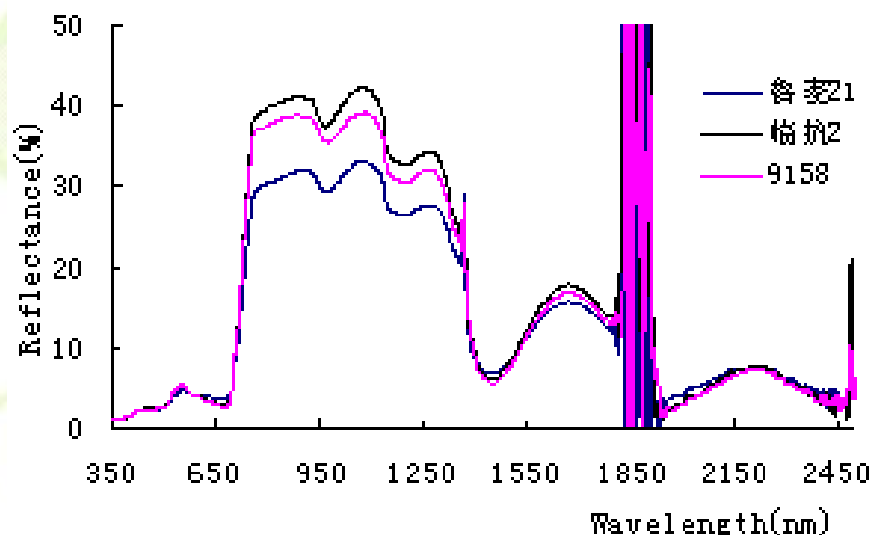


图 a+ 不同株型叶面积指数约2.3时冠层反射光谱

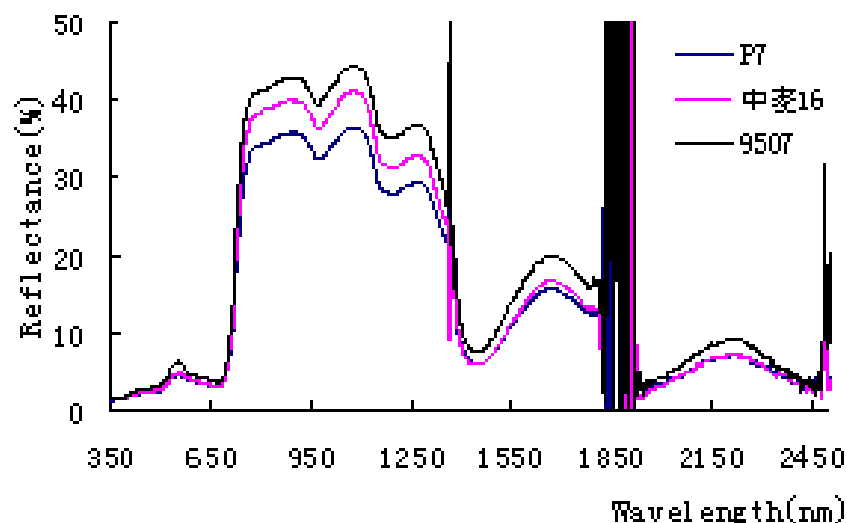


图 b+ 不同株型叶面积指数约2.6时冠层反射光谱

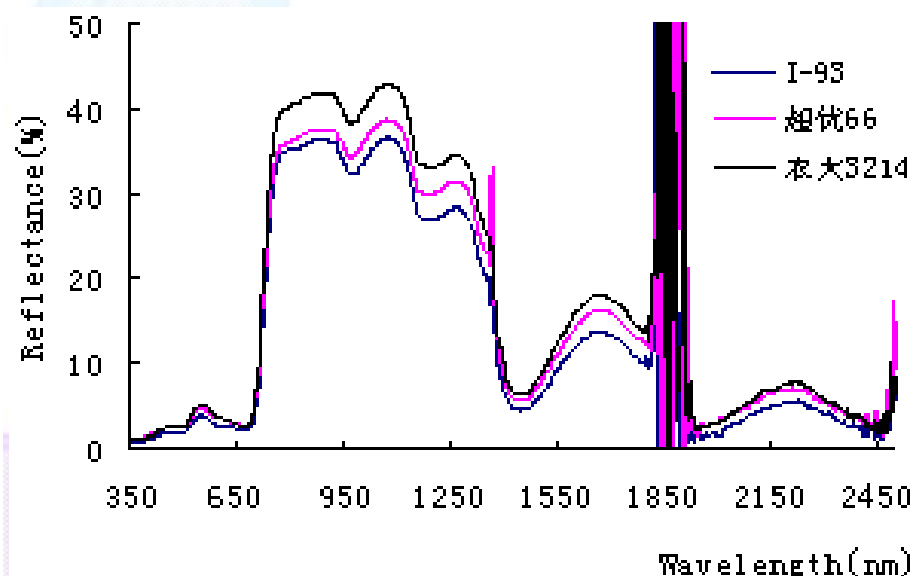


图 c+ 不同株型叶面积指数约3.1时冠层反射光谱

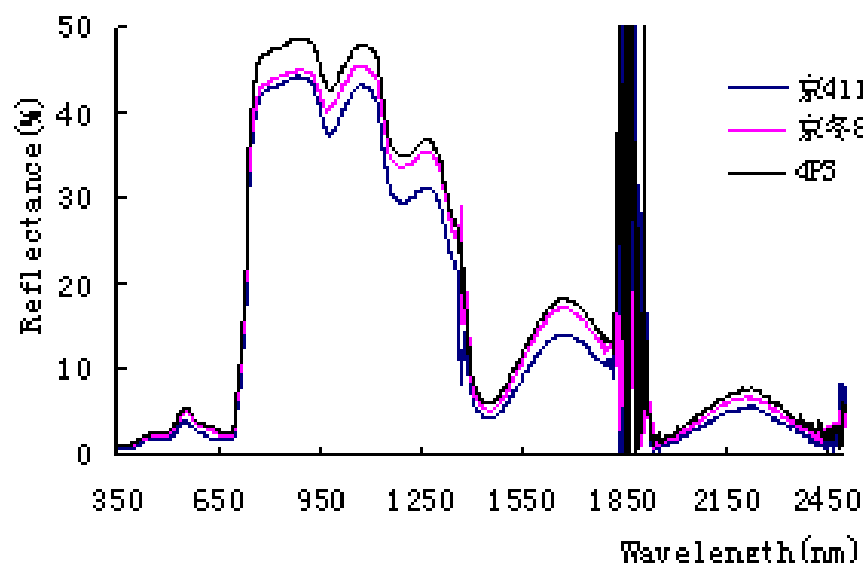


图 d+ 不同株型叶面积指数约4.1时冠层反射光谱

不同株型、相同叶面积指数条件下的冠层光谱反射光谱

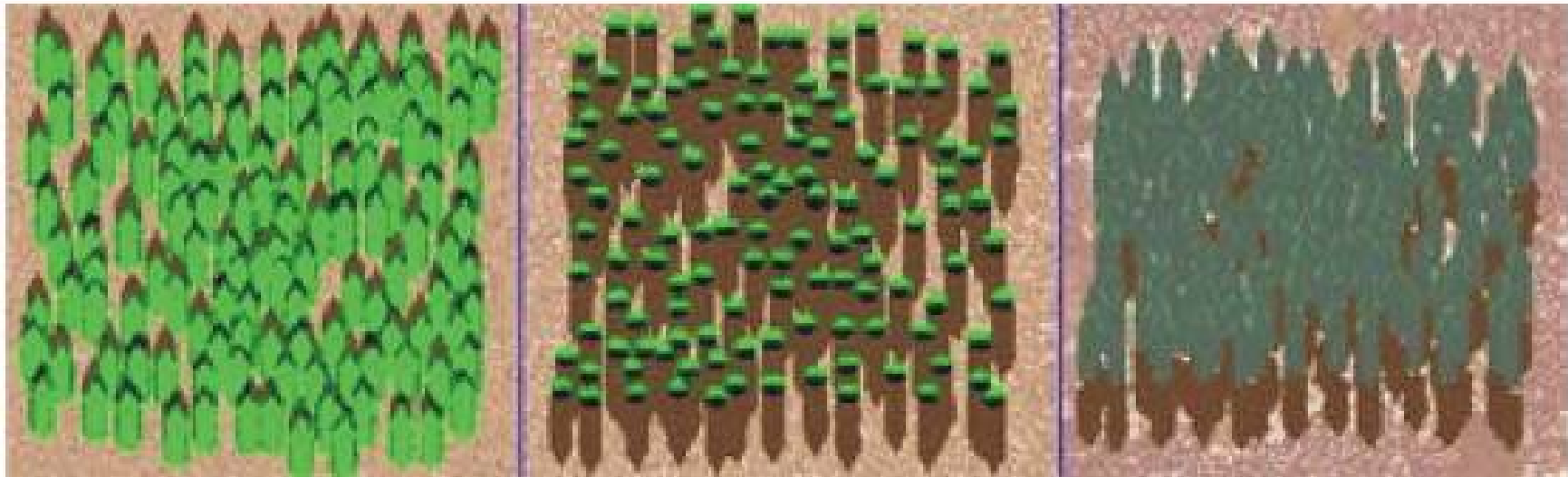
## 4、植被参数遥感反演困难与挑战有哪些

高分辨率遥感在解决空间异质特性困难作用甚微，还带来了新的问题与挑战。

**反射率 (Reflectance)**：定义为物体反射能量与入射能量的比值。

Q1 怎样才能计算阴影下的反射率？

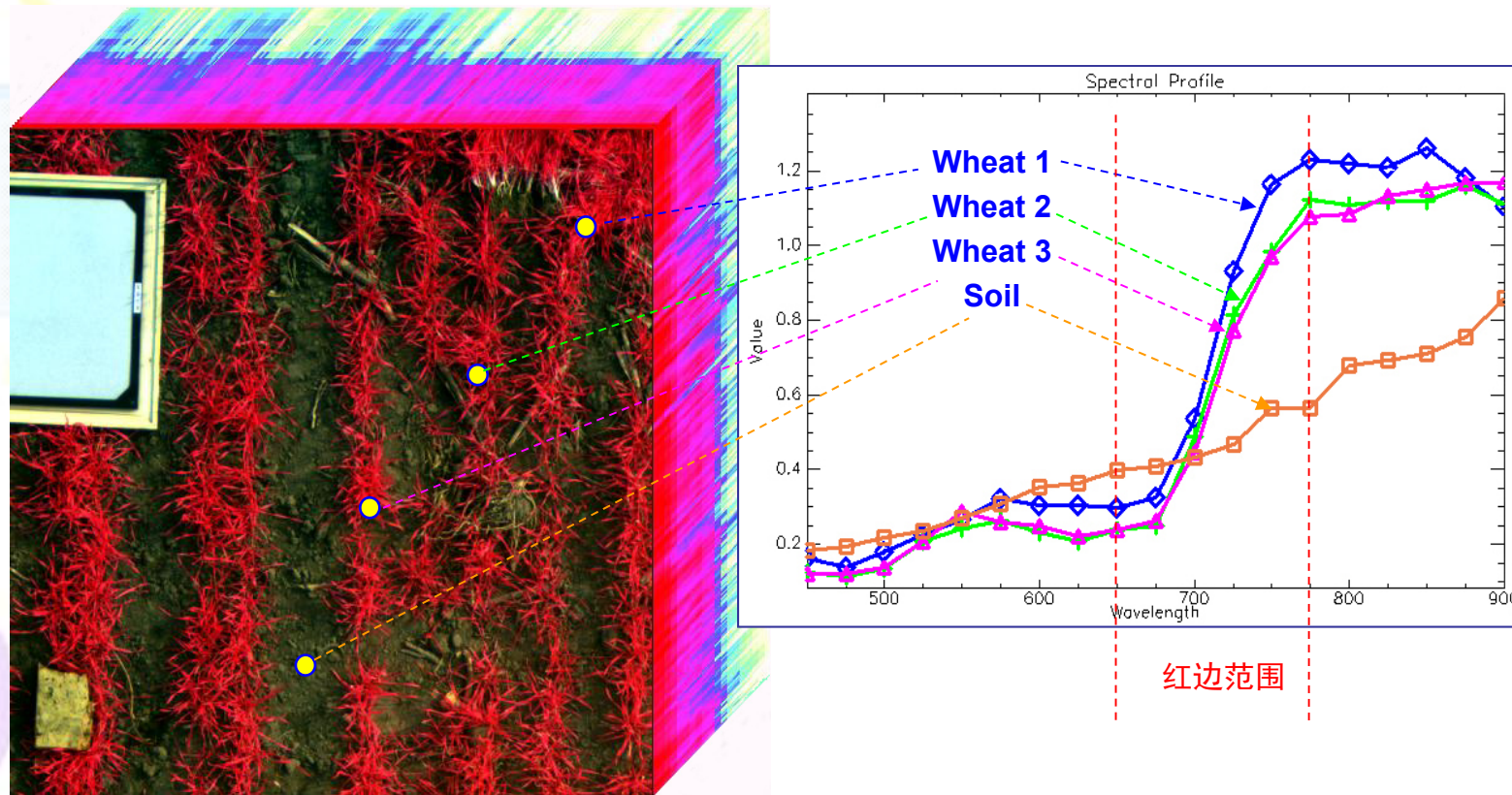
Sunlit crown, sunlit/shaded ground/crown, shaded ground/crown



## 4、植被参数遥感反演困难与挑战有哪些

### 3) 植被参数遥感病态反演困难。

测量参数总是有限的，作用植被光谱的物理参数是无限的！

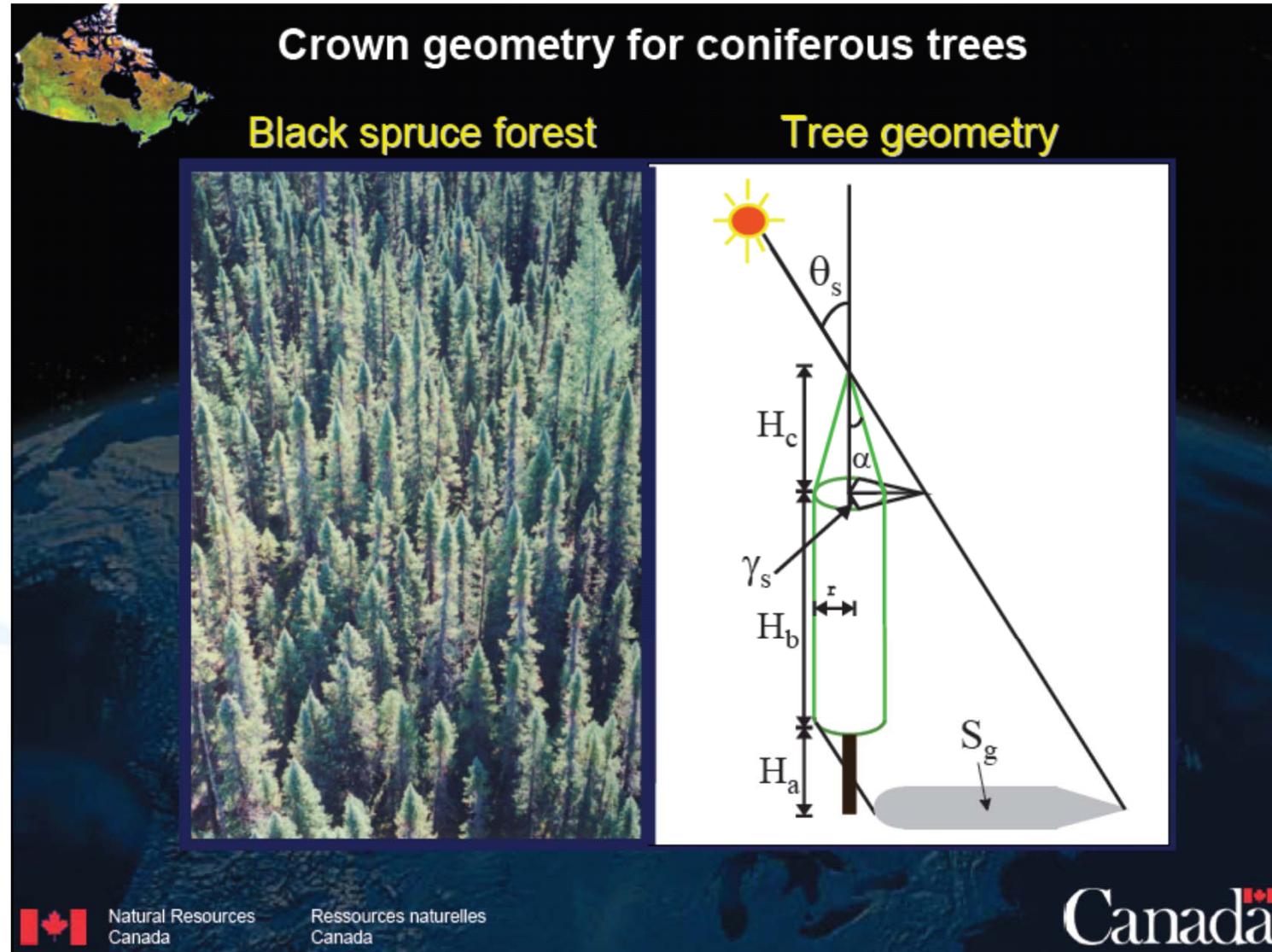


CCD成像光谱图像立方体及其反射率转换结果



## 4、植被参数遥感反演困难与挑战有哪些

4) 植被参数测量精度有限、成本高昂，而模型过于抽象与简化。

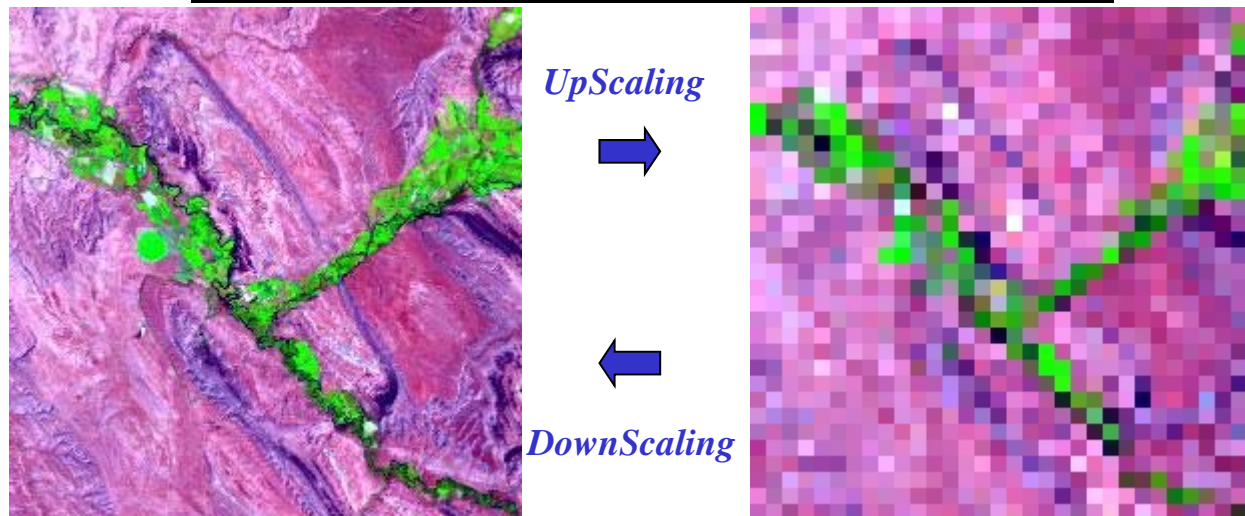


## 4、植被参数遥感反演困难与挑战有哪些

### 5) 尺度效应是遥感基本现象与科学难题

测量尺度变化

$$f(v; p; i) \xleftrightarrow{\text{Scaling}} F(\bar{v}; \bar{p}; \bar{i})$$



Local Scale

Large Scale

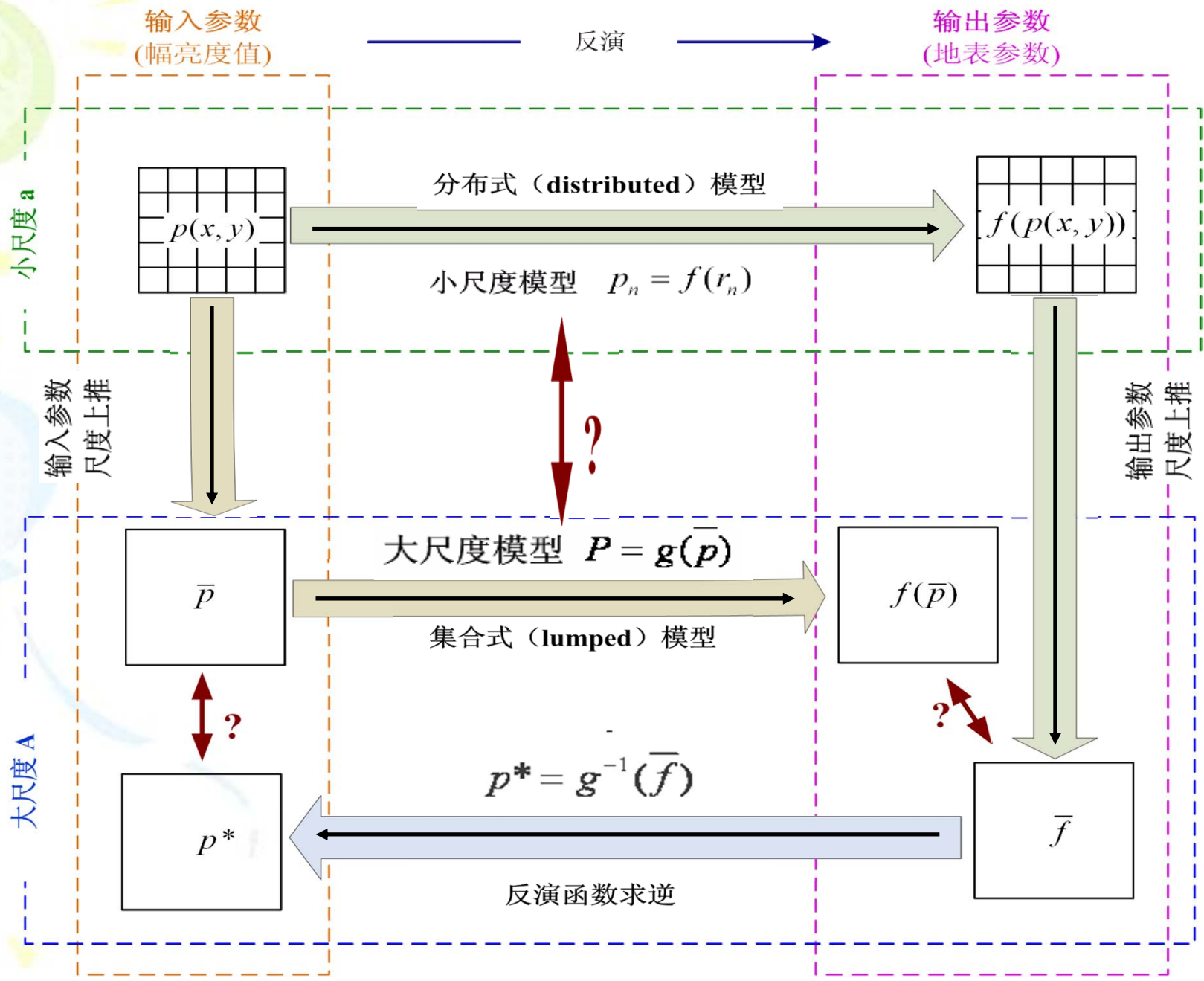
待解决的关键点:

$$f \xleftrightarrow{?} F$$

$$(v; p; i) \xleftrightarrow{?} (\bar{v}; \bar{p}; \bar{i})$$

模型非线性的影响

参数异质性的影响



摘自李召良、阎广建973交流报告

# 问题：低分辨率是不是导致LAI低估的原因？

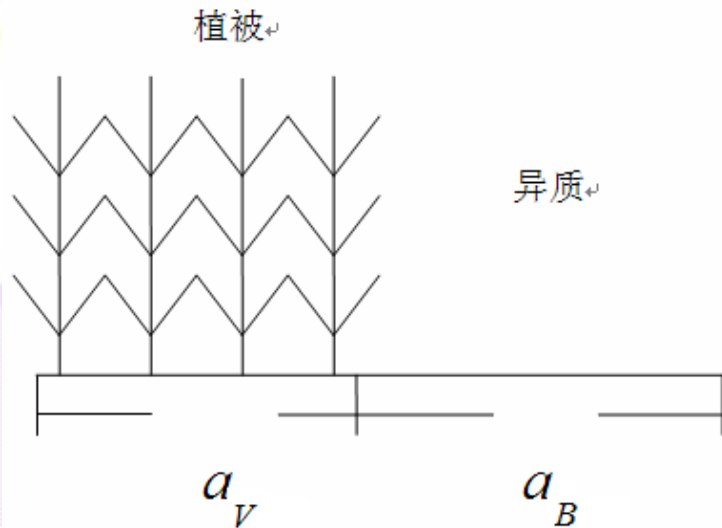
## 5、遥

湿地：高估

植被与陆地：低估

遥感尺度效应的根源是非线性问题，非线性的基准是反演产品与遥感器辐亮度之间的非线性。

	RED	NIR	NDVI	LAI
Veg	0.05	0.5	0.82	1.59
Soil	0.25	0.3	0.09	0
Water	0.03	0.02	-0.20	0
V+S	0.15	0.4	0.45	0.46
V+W	0.04	0.26	0.73	1.19



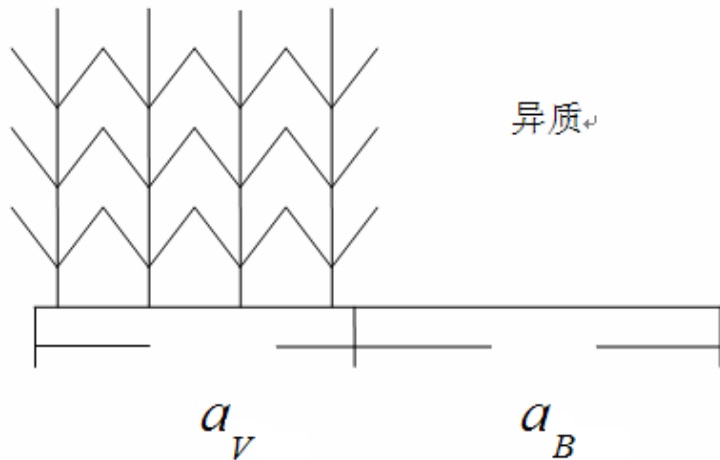
# 尺度效应基本概念与特性

## (1) 定量遥感关心的可标度参量的尺度效应。

可标度量：

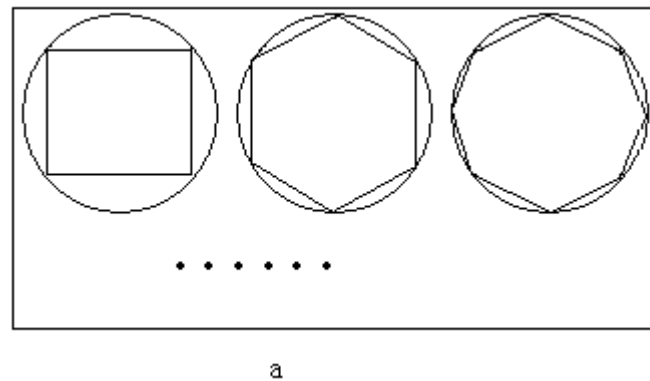
不同尺度下实测参数是一致的。

植被



不可标度量：

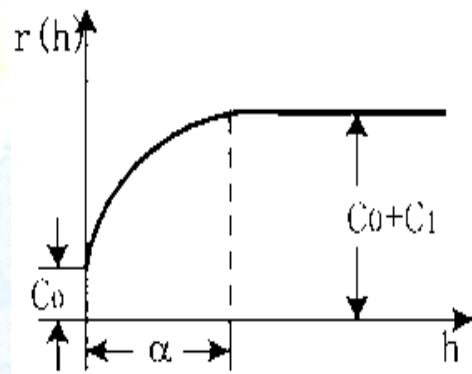
测量值依赖于测量尺度。



1967年在国际权威的美国《科学》杂志上发表了一篇划时代的论文，它的标题就是《英国的海岸线有多长？统计自相似性与分数维数》中，文章作者曼德布罗（**Beonit Mandelbrot**）是一位当代美籍法国数学家和计算机专家，当时正在纽约的IBM公司的活特生研究中心工作，而他的答案却让你大吃一惊：他认为，无论你做得多么认真细致，你都不可能得到准确答案，因为根本就不会有准确的答案。**英国的海岸线长度是不确定的！它依赖于测量时所用的尺度。**

# 尺度效应基本概念与特性

## (2) 特征尺度：线性与非线性混合



变异曲线图

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^n [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$



地物遥感特征尺度：线性混合下的最小分辨单元。

遥感非线性混合：像素对应地物之间存在辐射交叉影响。

---

# 遥感尺度效应产生的原因

尺度效应：各学科定义和理解很不一致。遥感科学中的尺度效应定义和理解：同一区域、同样遥感模型、同类遥感数据、同等成像条件，不同分辨率遥感反演的地表参量不一致。

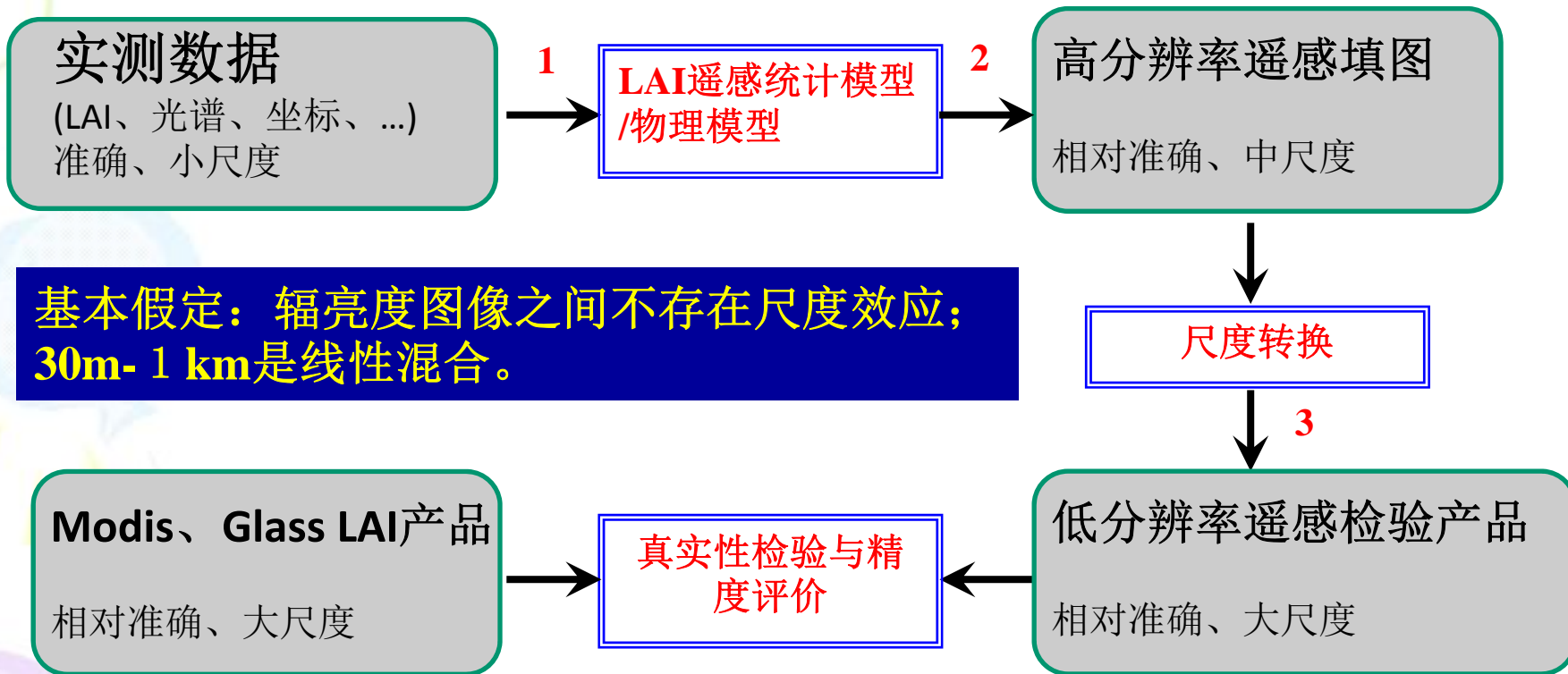
什么情况下不存在尺度效应？

地表异质性是普遍存在的。

线性反演模型、且模型驱动变量与辐亮度信号是线性变换的。

# 5、遥

## Modis LAI产品尺度转换与真实性检验

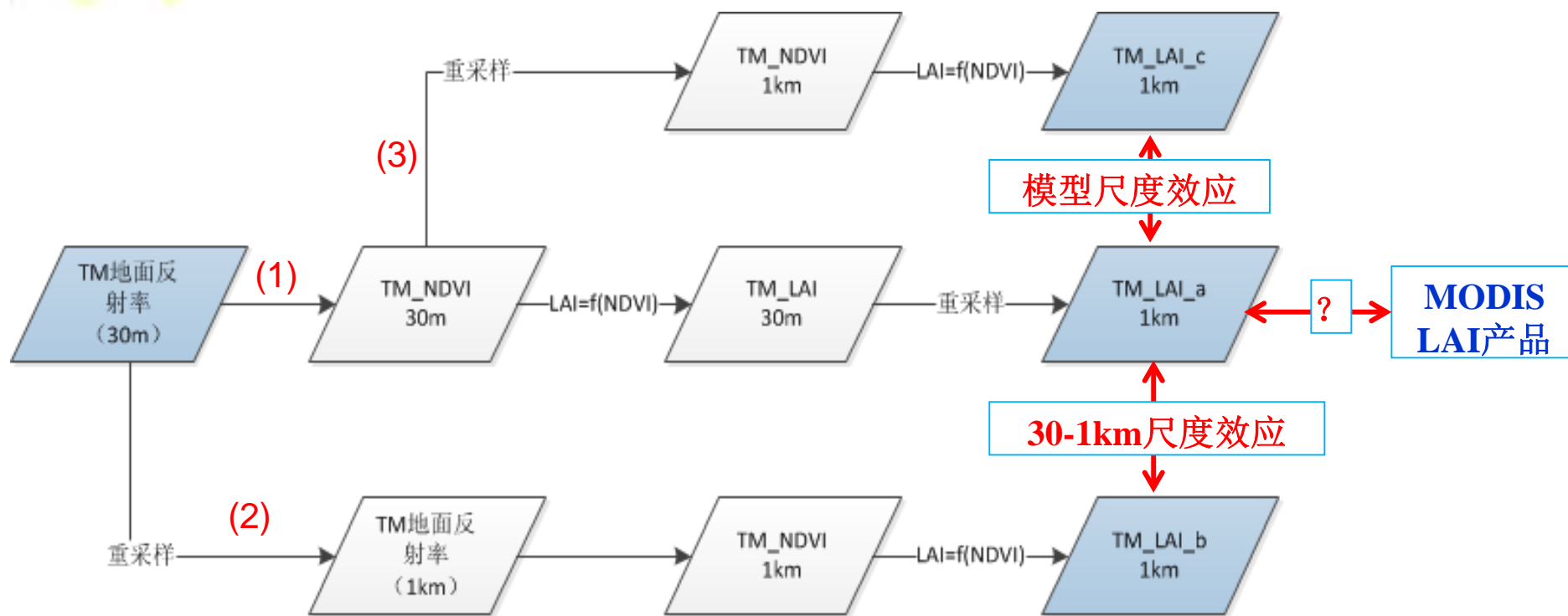


- 1、遥感模型精度如何？
- 2、遥感数据定量化精度如何？ 地面实测数据与卫星不同步
- 3、尺度转换的精度如何？ 模型尺度效应和数据尺度效应



## Modis LAI产品尺度转换与真实性检验

NDVI-LAI模型的尺度效应，可能存在于驱动变量(NDVI)和模型本身，以下可以分析各非线性过程造成的尺度效应。



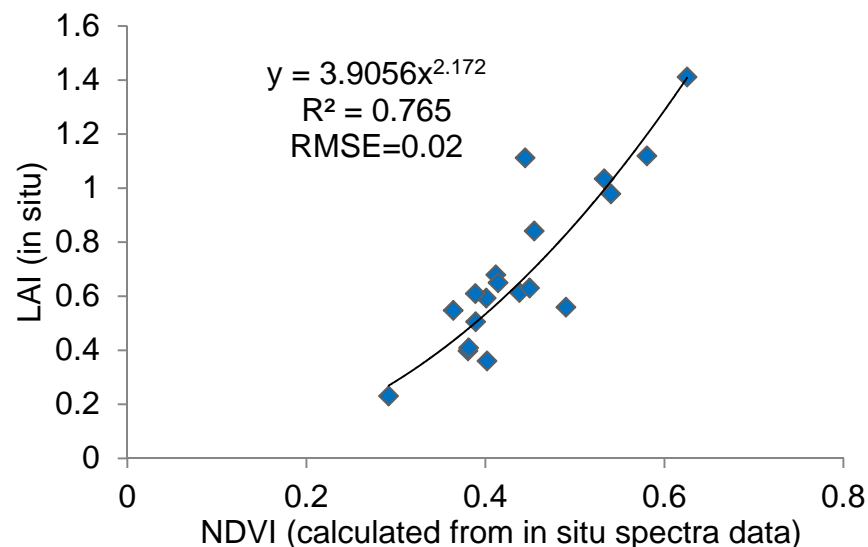
(2)-(3)差异为驱动变量NDVI尺度效应

# 锡林浩特草原Modis LAI产品的真实性检验

- 数据准备（以内蒙古数据为例）

研究区	内蒙锡林浩特	
时间	2011.08.21-24	
数据	光谱	光谱仪测量, 光谱重采样
	LAI	采集, 取样, 称重, 扫描, 计算

建立NDVI-LAI回归关系 (n=19), 作为LAI模型来进行验证工作。



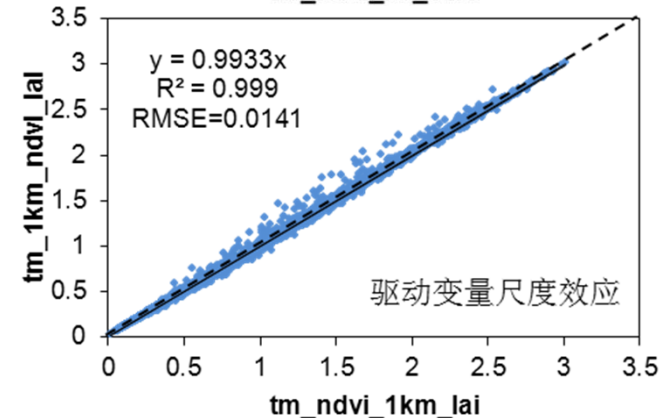
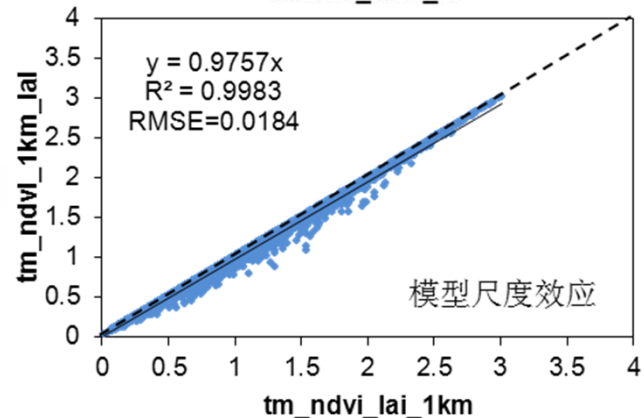
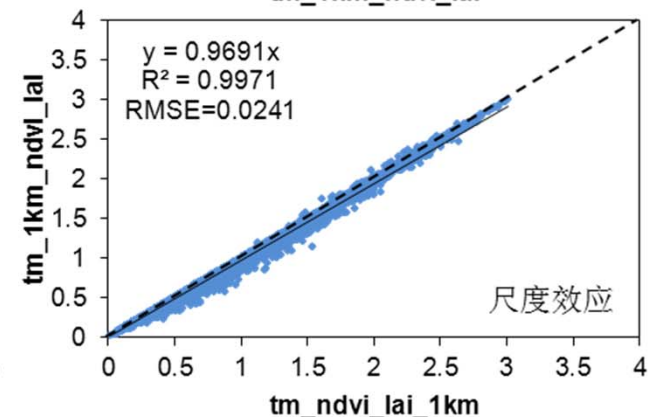
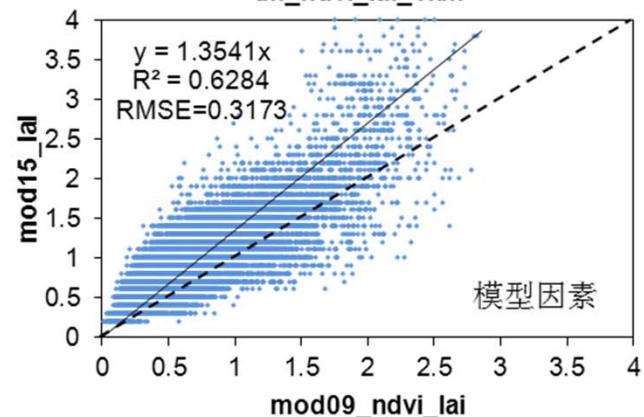
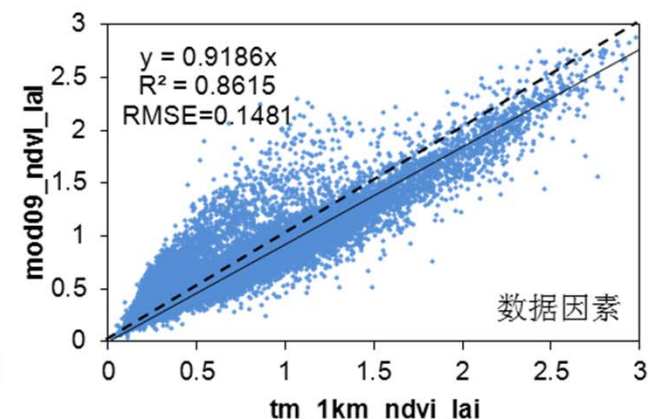
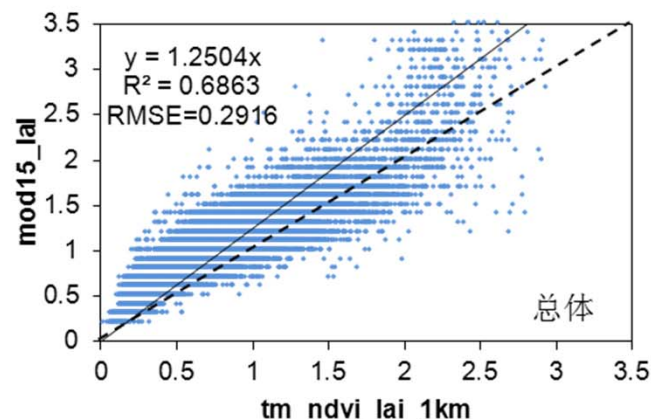
数据	位置	时间
Landsat TM	124/29	2011.08.18
MOD09A1	26/04	2011.08.13-20
MOD15A2	26/04	2011.08.13-20

TM数据:  
大气校正, 剔除浓云、云影, ...(ENVI)

MODIS数据:  
转换投影, 裁剪, 重采样, ...(MRT)

# 锡林浩特草原Modis LAI产品的真实性检验

误差来源		影响	贡献
总体		高估	25%
数据定量化		低估	8.1%
模型		高估	35.4%
尺度效应	模型	低估	2.4%
	驱动变量	低估	0.7%

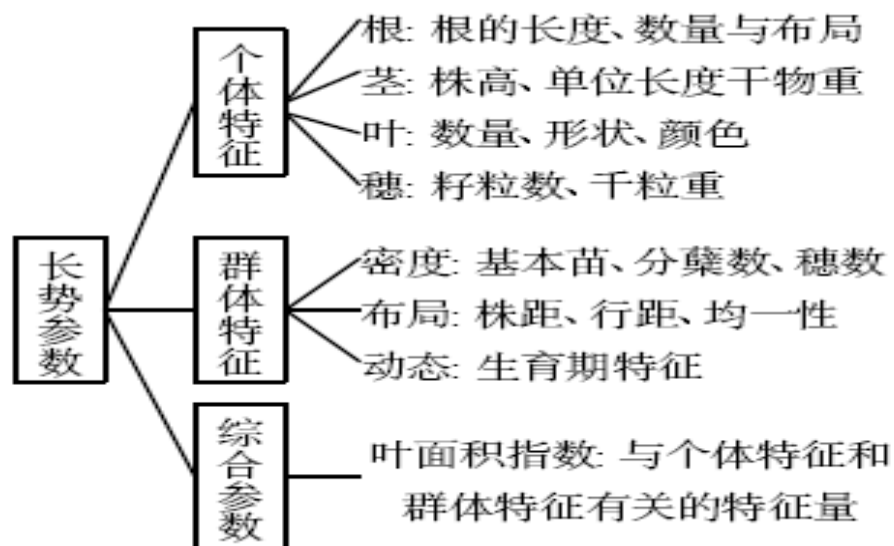


---

### 三、植被信息高光谱获取

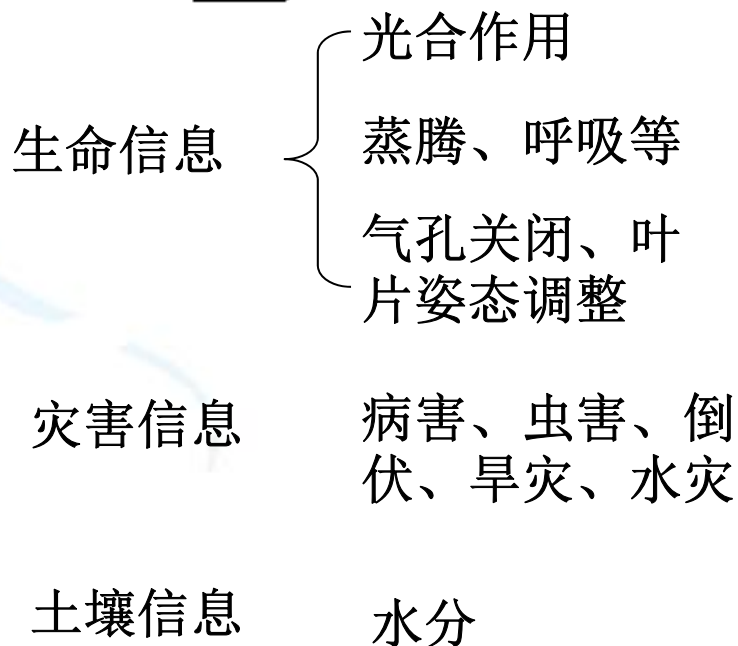
1. 植被信息遥感获取的基本原理与解决方案
2. 基于辐射传输模型的作物信息遥感反演
3. 植被信息遥感反演模型与方法

# 1 作物信息遥感获取的基本原理与解决方案



作物结构、生理、生化参数定量遥感技术(高光谱、多角度、多时相)

## 作物信息



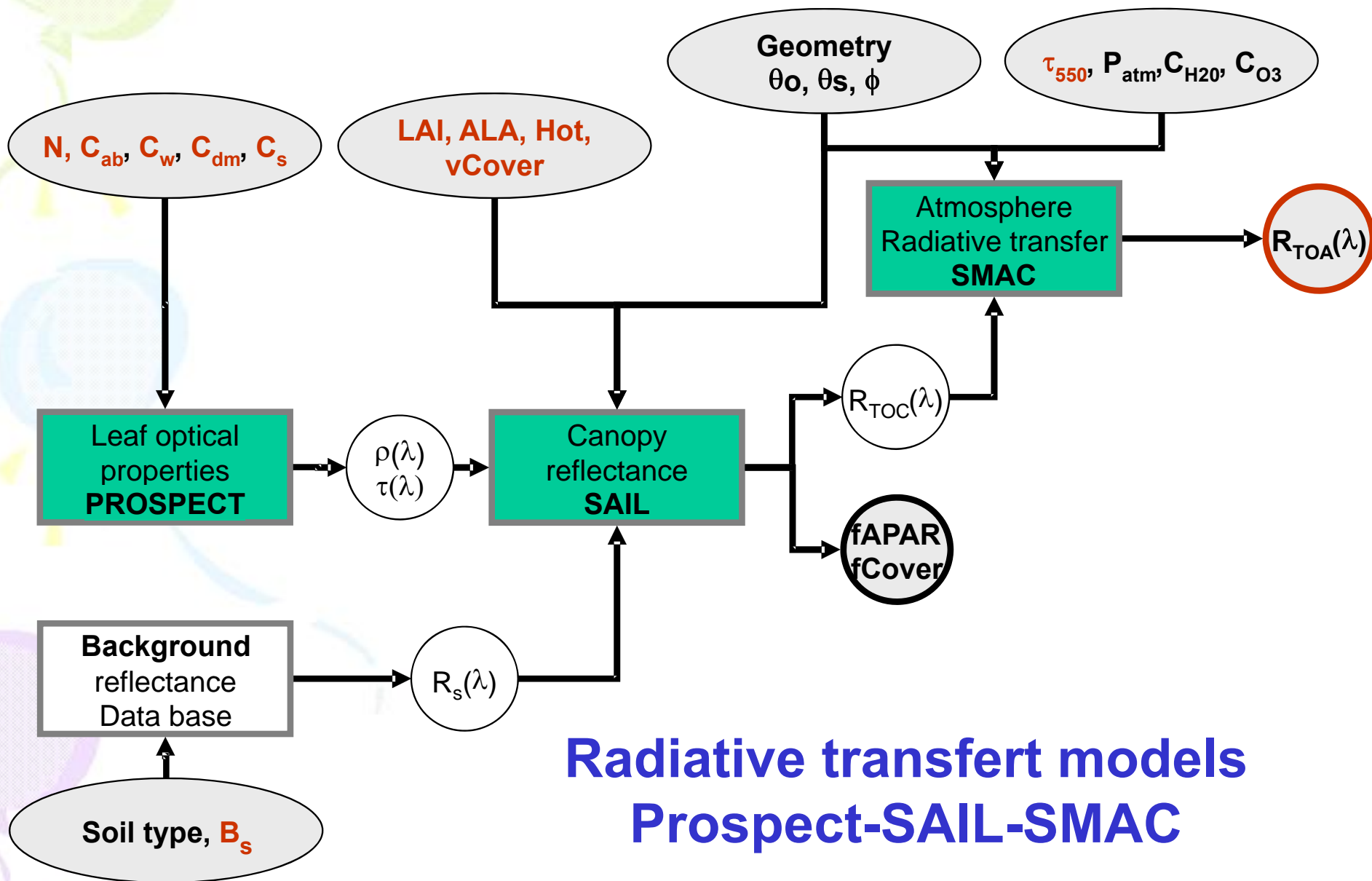
荧光遥感(主动、被动)

作物缺水指数(红外+光学、VIT)

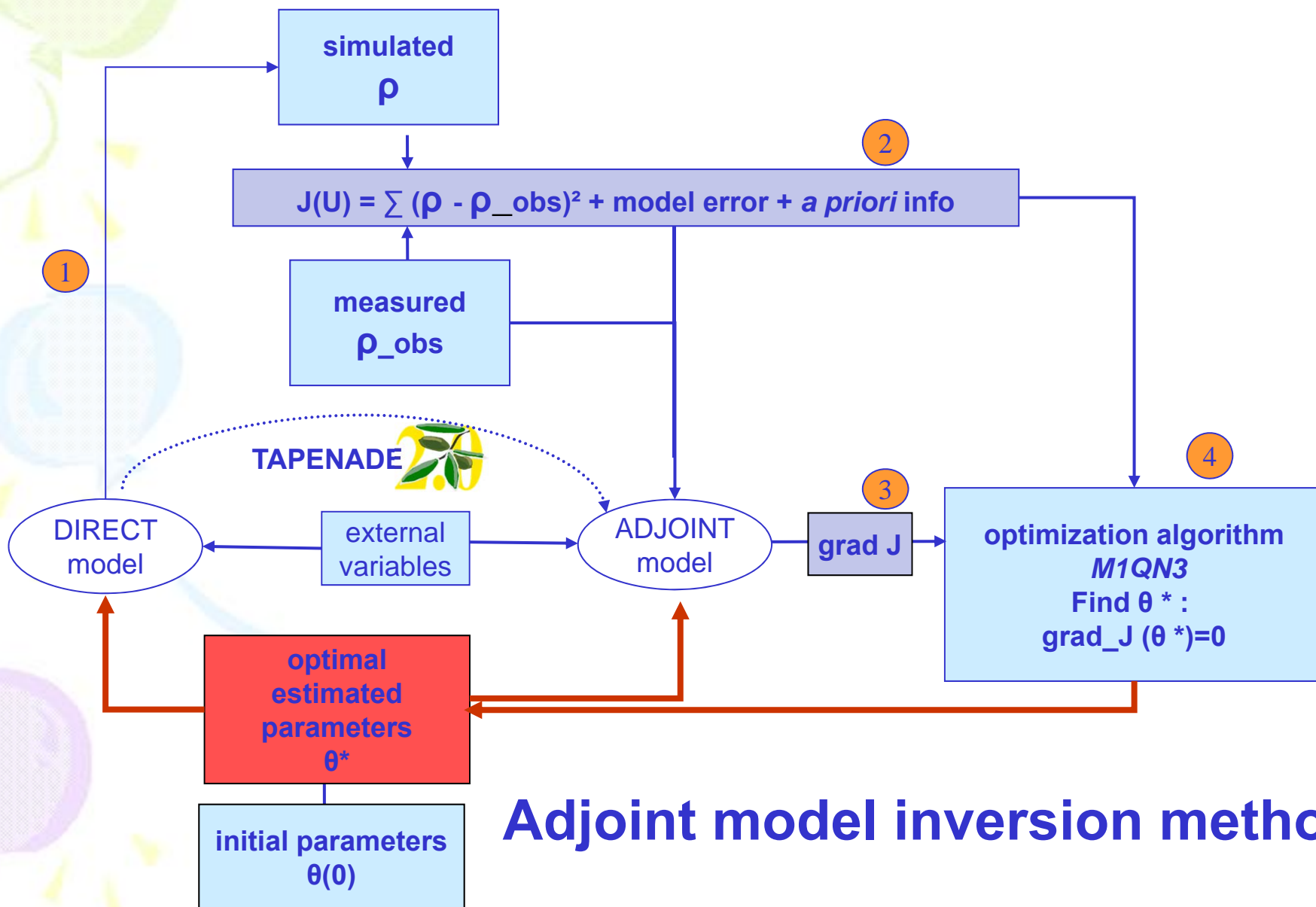
直接遥感监测、生境遥感监测; 病虫害流行病学模型与多时相RS尤为重要

微波、红外、热惯量、叶片间接推算等

## 2 基于辐射传输模型的作物信息遥感反演



## 2 基于辐射传输模型的作物信息遥感反演



## 2 基于辐射传输模型的作物信息遥感反演

### PROSPECT模型反演叶片生化组分

日期	测量值 (Cab,Cw,Cm)			模拟数据反演 (Cab,Cw,Cm)		
7月8日	31.63	0.0110	0.0033	31.57	0.0109	0.0035
7月19日	32.99	0.0151	0.0029	33.72	0.0177	0.0045
7月28日	50.50	0.0137	0.0028	50.36	0.0136	0.0030
8月7日	59.36	0.0111	0.0034	59.22	0.0109	0.0036
8月12日	51.15	0.0108	0.0036	51.04	0.0107	0.0038
8月21日	61.67	0.0119	0.0037	61.21	0.0117	0.0039
8月30日	75.54	0.0104	0.0038	75.43	0.0105	0.0042
9月8日	67.96	0.0116	0.0042	67.84	0.0118	0.0046



## 2 基于辐射传输模型的作物信息遥感反演

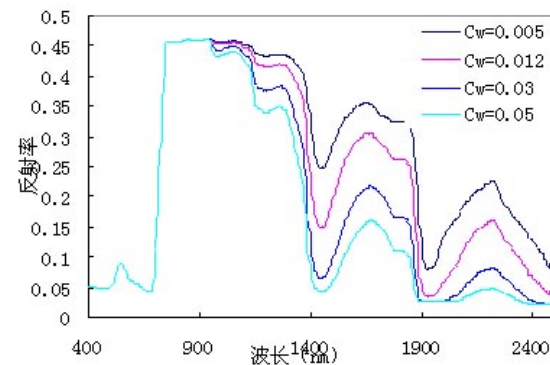
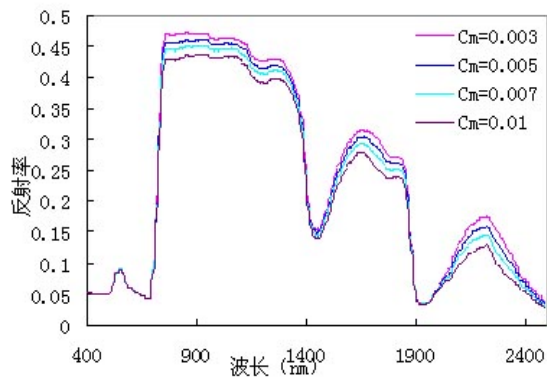
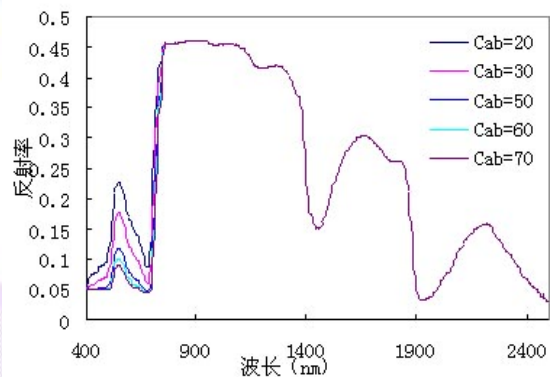
### PROSAIL模型反演

日期	测量值				模拟数据反演			
	LAI	Cab	Cw	Cm	LAI	Cab	Cw	Cm
7月8日	0.7	34.1	0.010	0.0035	无			
7月19日	4.0	52.4	0.015	0.0033	2.4	60.5	0.013	0.0027
7月28日	4.3	57.5	0.015	0.0042	3.9	60.5	0.010	0.0041
8月7日	5.9	71.8	0.013	0.0041	6.1	50.4	0.010	0.0031
8月12日	4.1	41.5	0.010	0.0035	3.9	40.3	0.010	0.0031
8月21日	4.6	70.9	0.012	0.0036	4.9	70.6	0.010	0.0031
8月30日	4.9	68.0	0.010	0.0041	4.9	70.6	0.010	0.0041
9月8日	5.8	72.2	0.011	0.0044	6.1	70.6	0.010	0.0041

# 3 植被信息遥感反演模型与方法

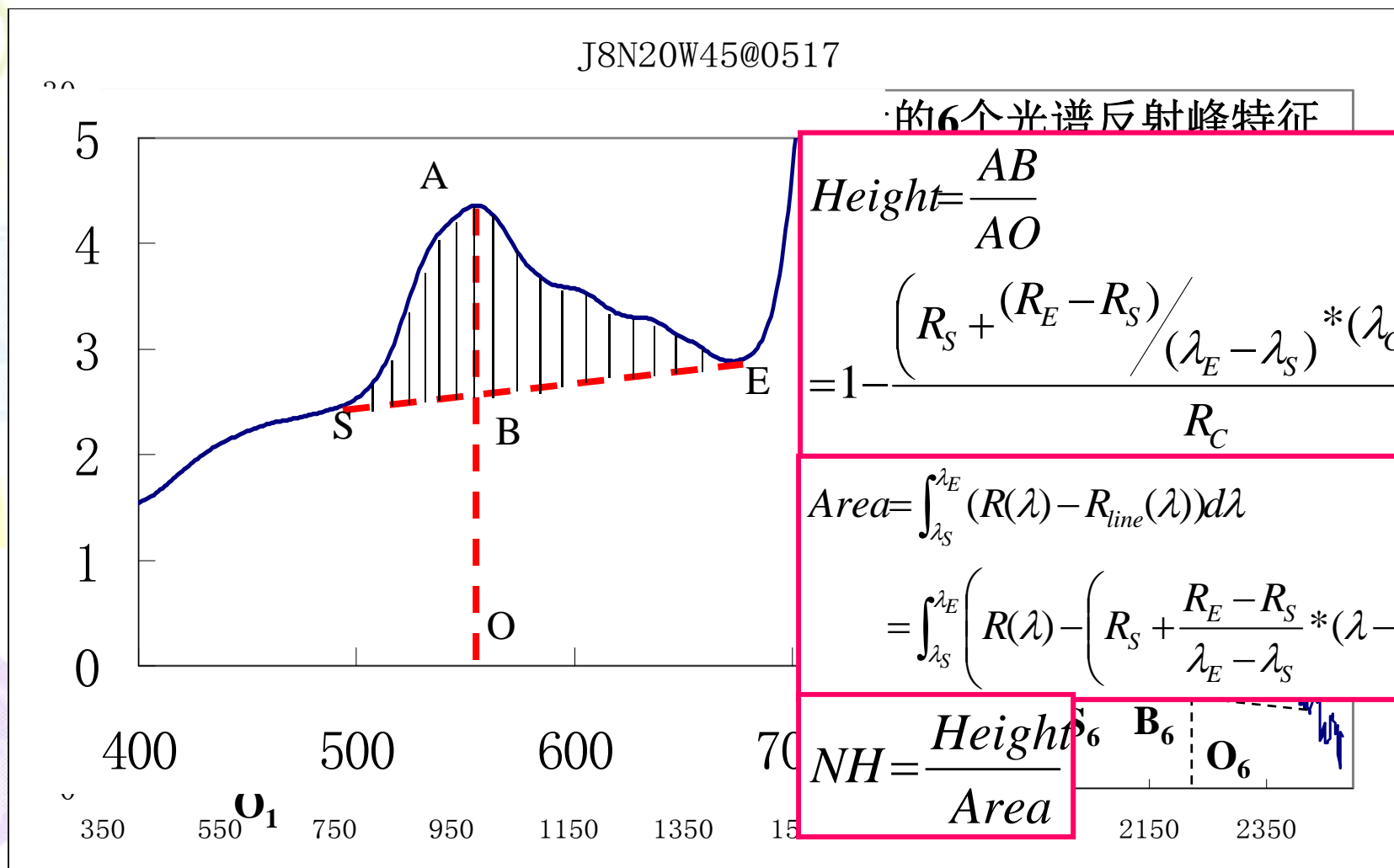
## 作物信息光谱反演统计模型

1. 光谱特征, 反射率、峰、谷特征参数
2. 植被指数
3. 导数光谱
4. 光谱位置, 波形拟合和导数方法



### 3 植被信息遥感反演模型与方法

#### 作物信息光谱反演统计模型—特征参数提取



### 3 植被信息遥感反演模型与方法

## Vegetation Indices

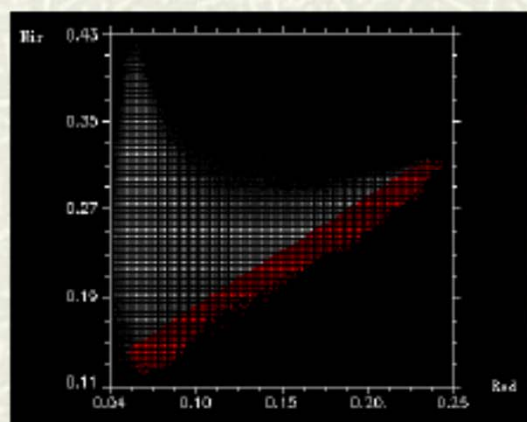
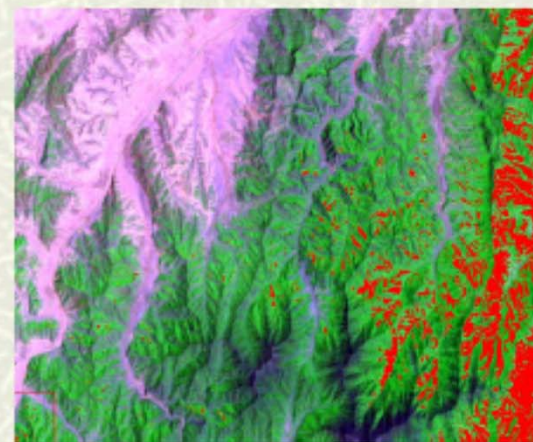
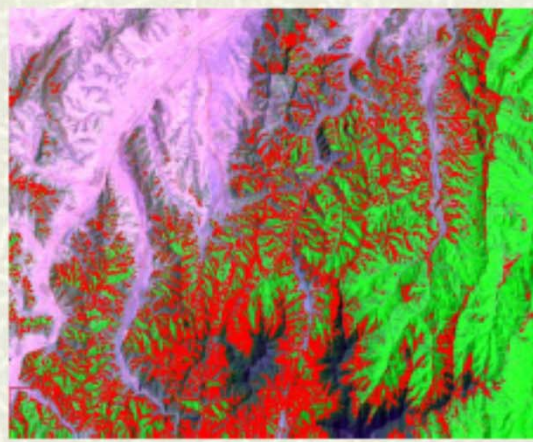
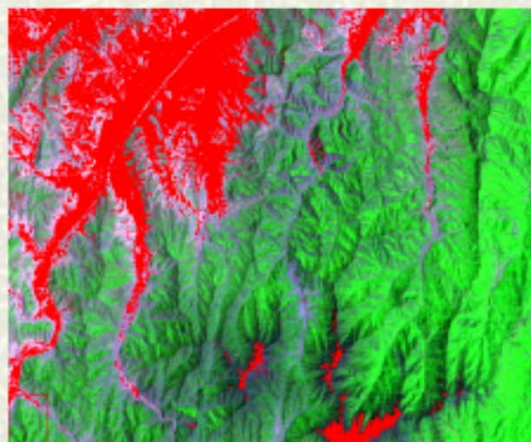
Vegetation indices (VI's) can be broken up into three basic categories:

Ratio based indices – VI's based on the ratio of two or more radiance, reflectance, or DN values (or linear combinations thereof).

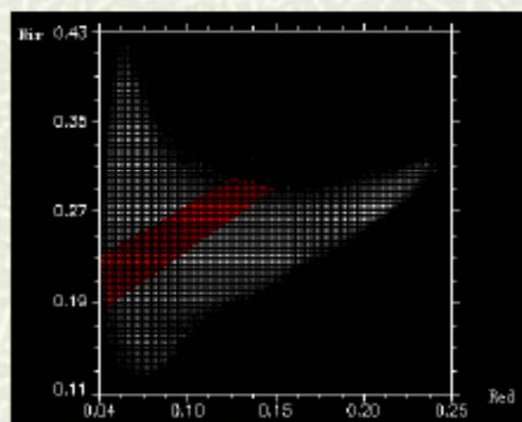
Difference indices – VI's based on the difference between the spectral response of vegetation and the soil background.

Normalized Difference indices – VI's based on the Normalized difference between the spectral response of vegetation and the soil background.

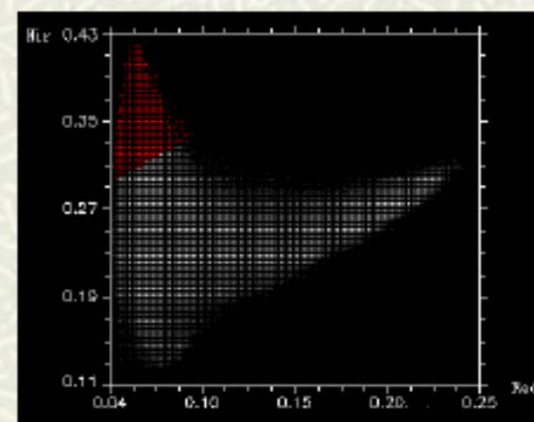
# Nir-Red光谱空间分布特征



裸土壤



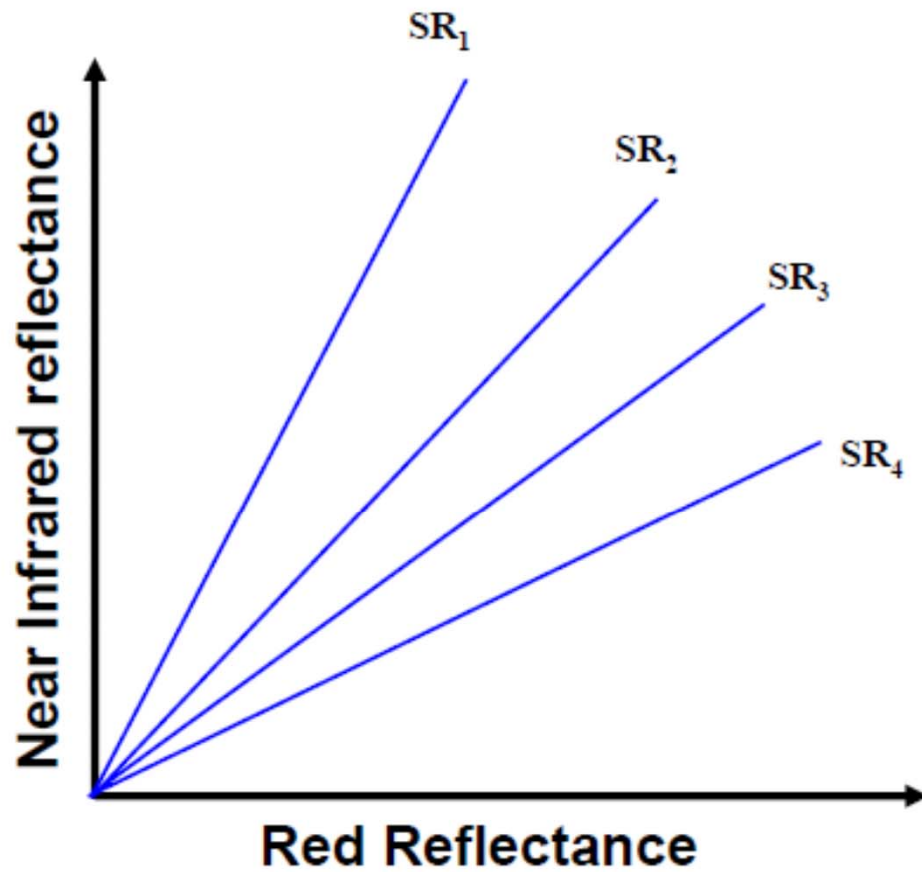
低植被覆盖



高植被覆盖

# Simple Ratio (SR)

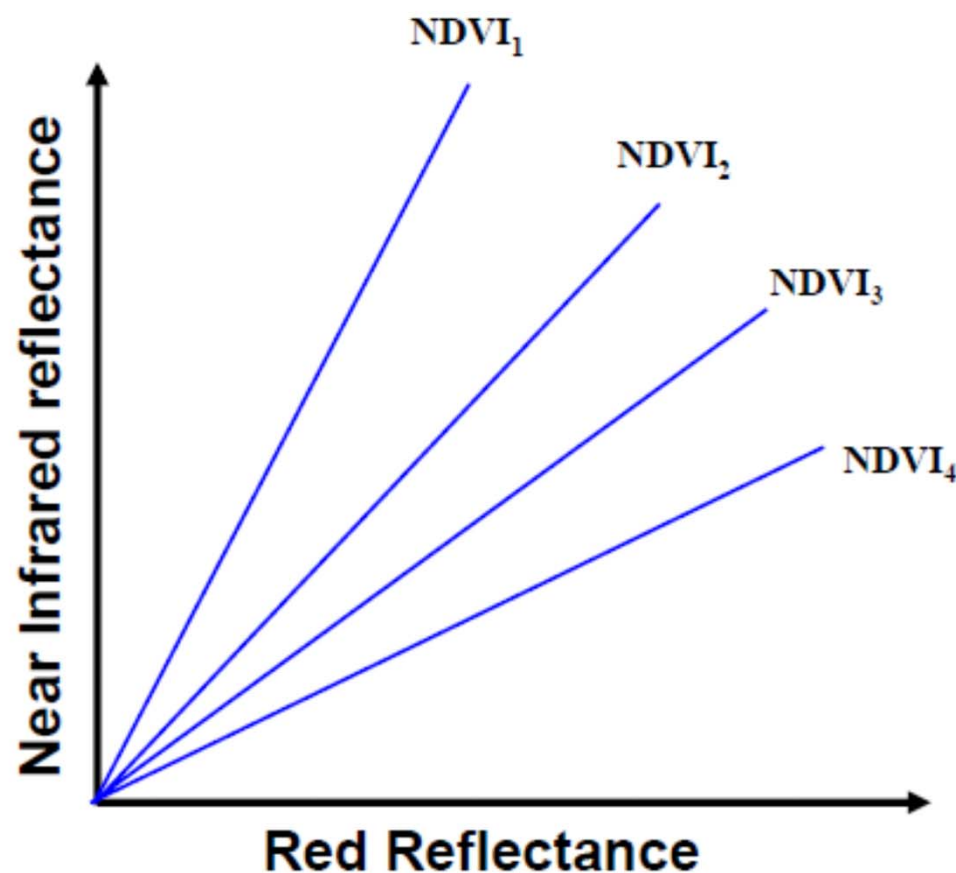
$$SR_1 > SR_2 > SR_3 > SR_4$$



$$SR = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{red}}$$

# Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

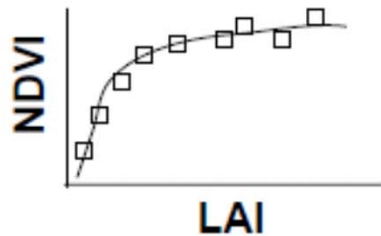
$$NDVI_1 > NDVI_2 > NDVI_3 > NDVI_4$$



$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}}$$

# Vegetation Indices

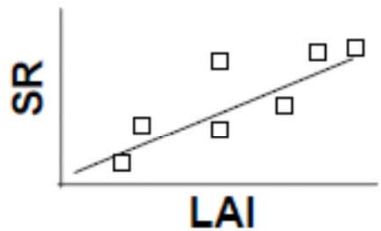
## Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)



$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}}$$

**Saturation  
problems**

## Simple Ratio (SR)



$$SR = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{red}}$$

$\rho_{NIR}$  = reflectance in near-infrared band

$\rho_{red}$  = reflectance in red band

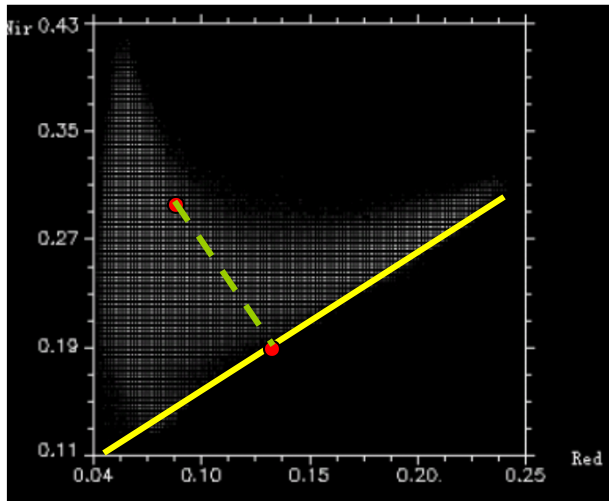


# Common Difference Indices

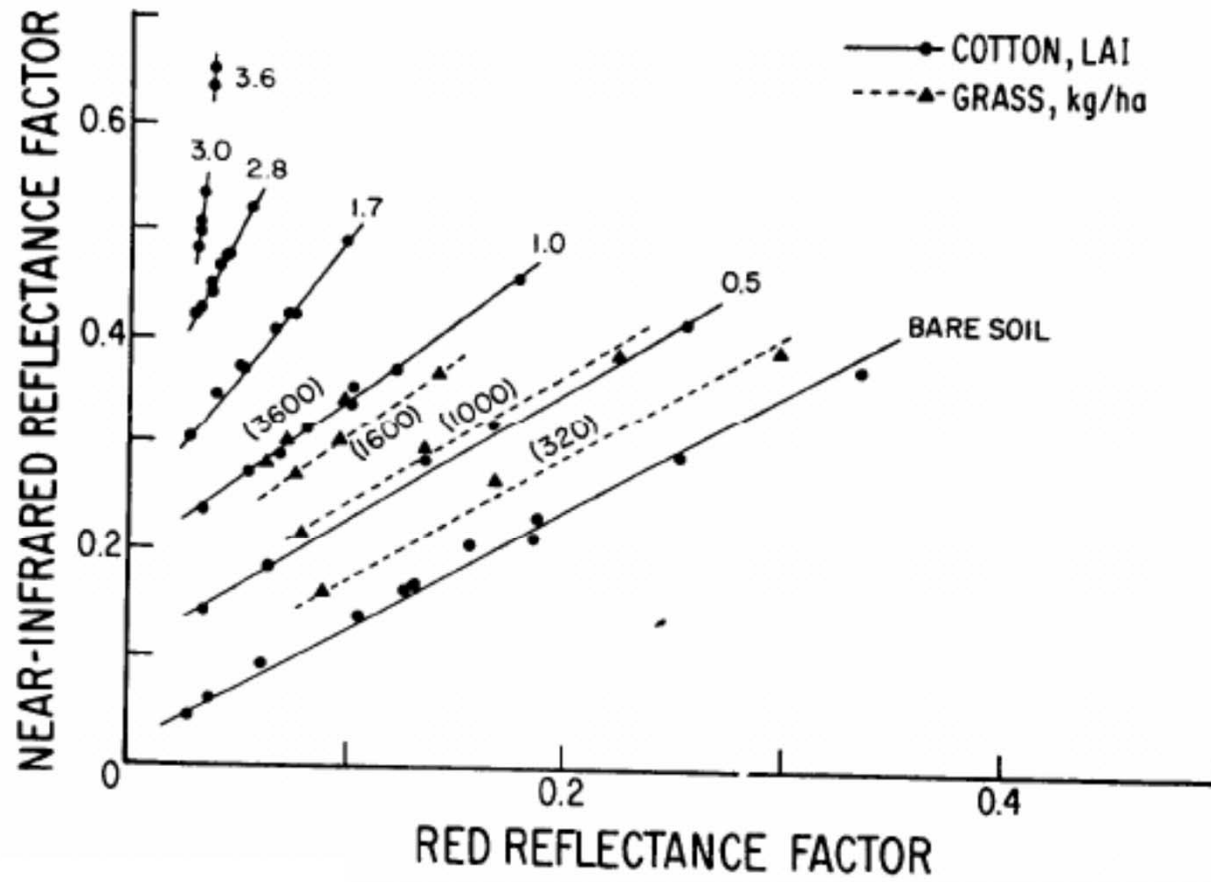
Perpendicular Vegetation Index (PVI)

$$PVI = \sqrt{\left(R_{soil} - R_{veg}\right)^2 + \left(NIR_{soil} - NIR_{veg}\right)^2}$$

Where  $R_{soil}$  and  $NIR_{soil}$  are the red and NIR reflectance/radiance for the soil background.

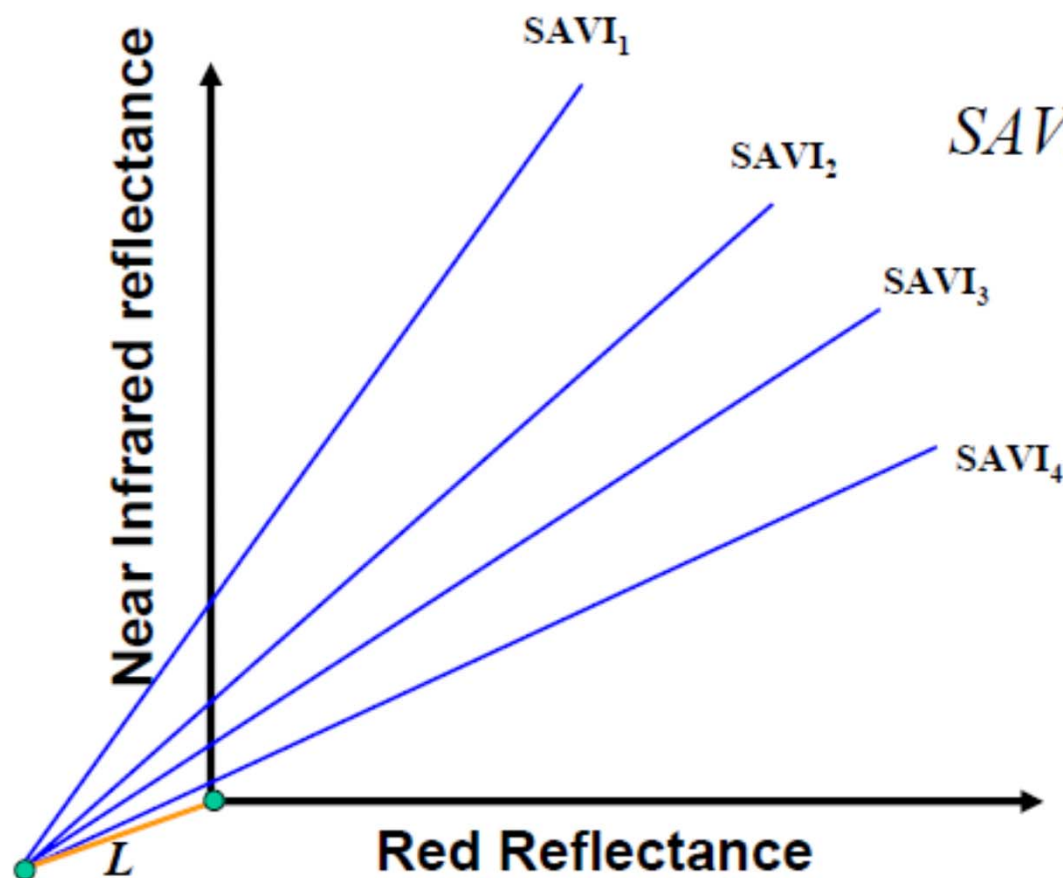


# Principles of SAVI



# Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)

$$SAVI_1 > SAVI_2 > SAVI_3 > SAVI_4$$



$$SAVI = (1 + L) \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} - \rho_{red} + L}$$

## Atmospherically resistant vegetation index (ARVI)

a self-correcting process in image-based consideration (Kaufman and Tanre 1992). Compared to the red band, the blue band is much more easily scattered by the atmosphere particles. This explains why the sky is usually perceived as being blue. Thus, the ARVI index takes advantage of the different scattering responses from the blue and red band to retrieve information regarding the atmosphere opacity, and can be written as follows

$$ARVI = (\rho_{NIR} - \rho_{rb}) / (\rho_{NIR} + \rho_{rb}), \quad (2)$$

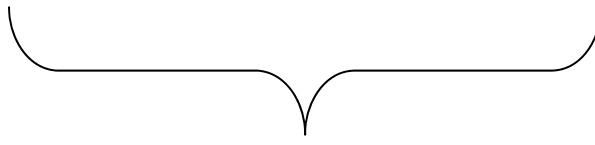
where  $\rho_{NIR}$  is the reflectance of the near infrared,  $\rho_{rb}$  equals  $\rho_r - \gamma(\rho_b - \rho_r)$ ,  $\gamma$  (gamma value) is like a weighting function that depends on the aerosol type, and  $\rho_r$  and  $\rho_b$  refer to the reflectance of the red and blue bands, respectively.

$$ARVI = \frac{\rho_{NIR} - 1.7\rho_{Red} + 0.7\rho_{Blue}}{\rho_{NIR} + 1.7\rho_{Red} - 0.7\rho_{Blue}}$$

$$ARVI = (\rho_{NIR} - \rho_{rb}) / (\rho_{NIR} + \rho_{rb})$$

$$SAVI = (1 + L) \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} - \rho_{red} + L}$$

$$ARVI = \frac{\rho_{NIR} - 1.7\rho_{Red} + 0.7\rho_{Blue}}{\rho_{NIR} + 1.7\rho_{Red} - 0.7\rho_{Blue}}$$



$$EVI = G \times \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + (C_1 \times \rho_{red} - C_2 \times \rho_{blue}) + L}$$

$$NDVI = \frac{\frac{\rho_{nir}}{\rho_{red}} - 1}{\frac{\rho_{nir}}{\rho_{red}} + 1} \longrightarrow$$

$$EVI = G \times \frac{\frac{\rho_{nir}}{\rho_{red}} - 1}{\frac{\rho_{nir}}{\rho_{red}} + (C_1 - C_2 \times \frac{\rho_{blue}}{\rho_{red}}) + \frac{L}{\rho_{red}}}$$

# Inter-relationships among Spectral VI's

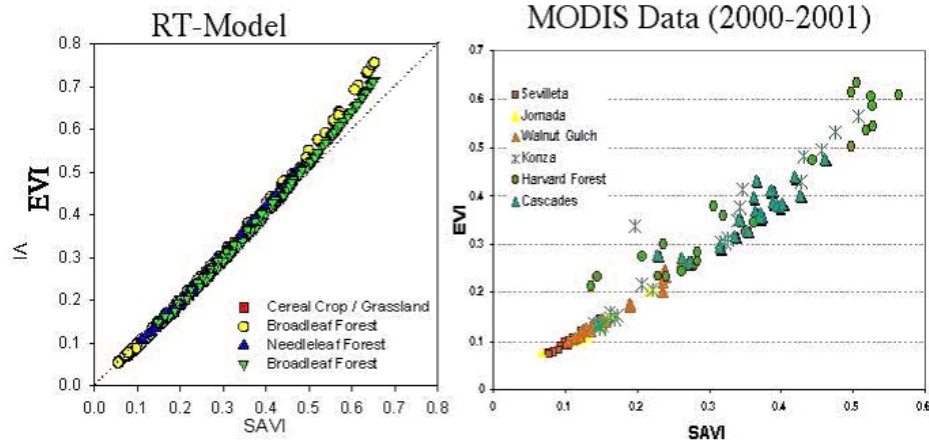
VI's behave similarly to each other under a 'constant' set of conditions (e.g., uniform site studies),

If soils are not varying then NDVI ~ SAVI (they are well correlated),

If aerosol variations are minimal, then EVI ~ SAVI,

If soil and aerosols do not vary significantly then EVI ~ NDVI

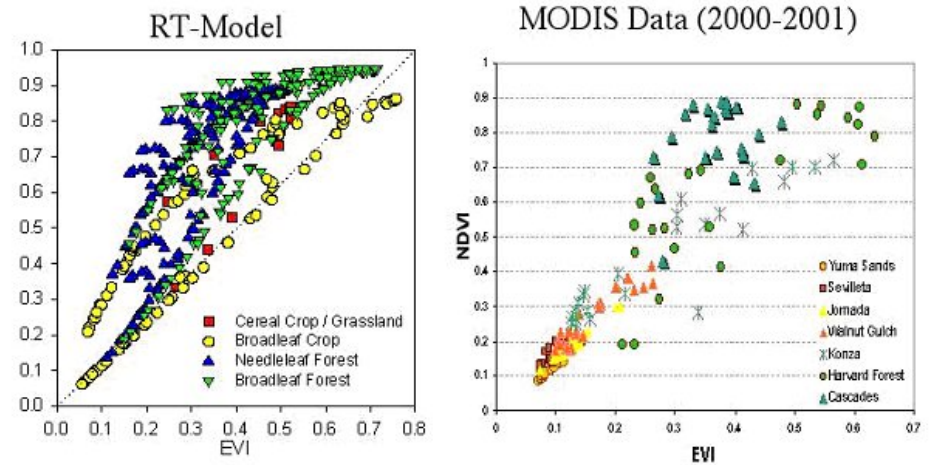
## EVI & SAVI Relationships



July 15- 18 2002

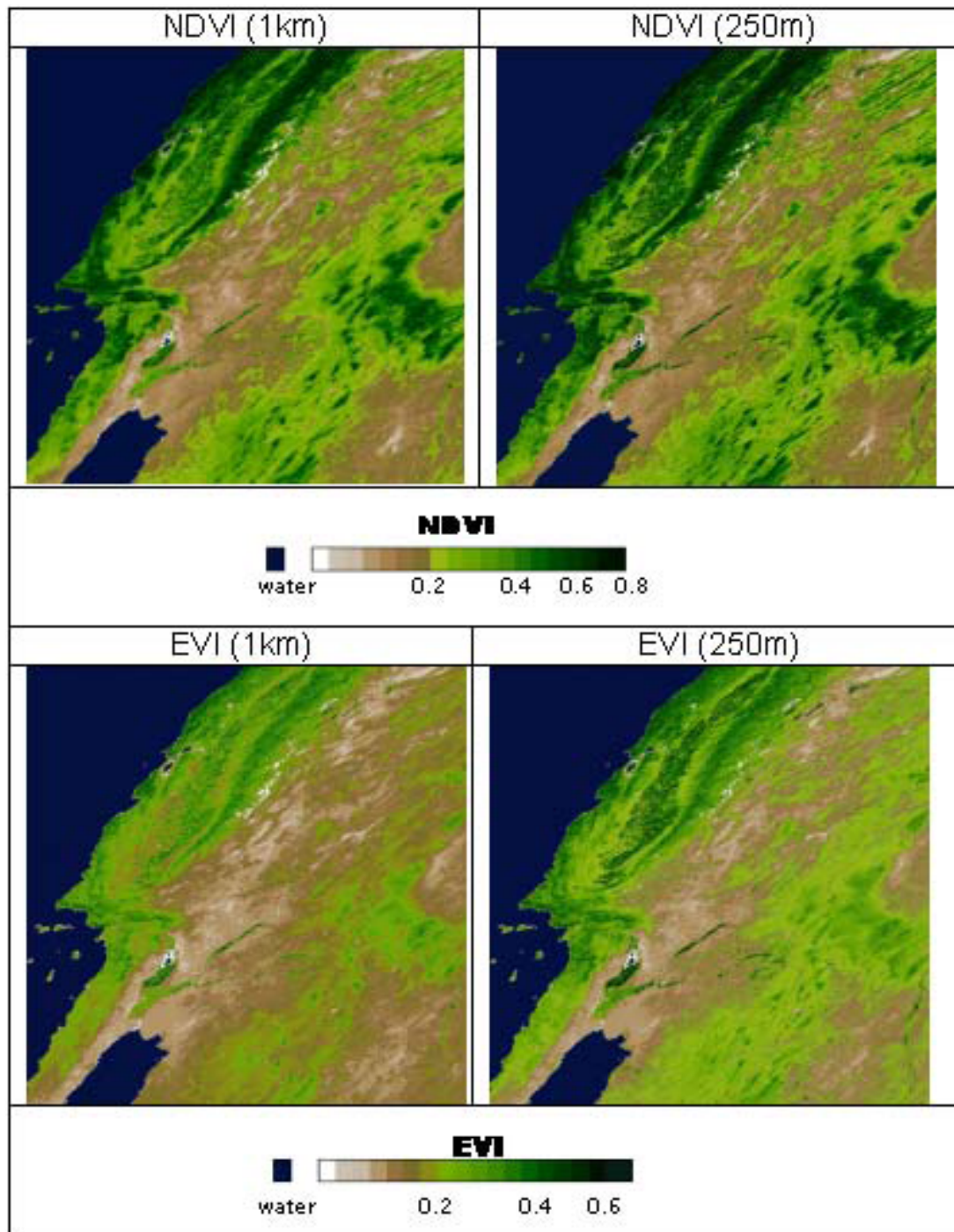
MODIS Vegetation Workshop, Missoula

## NDVI & EVI Relationships

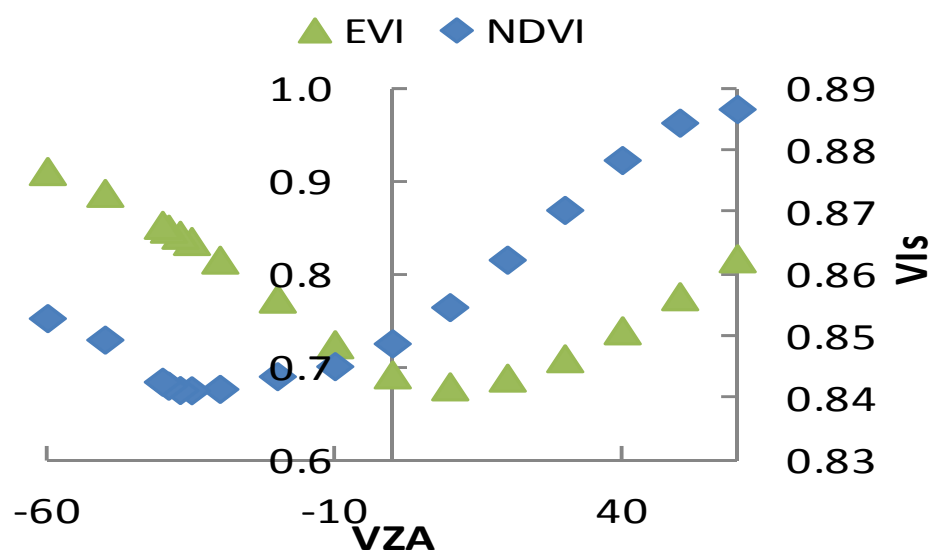
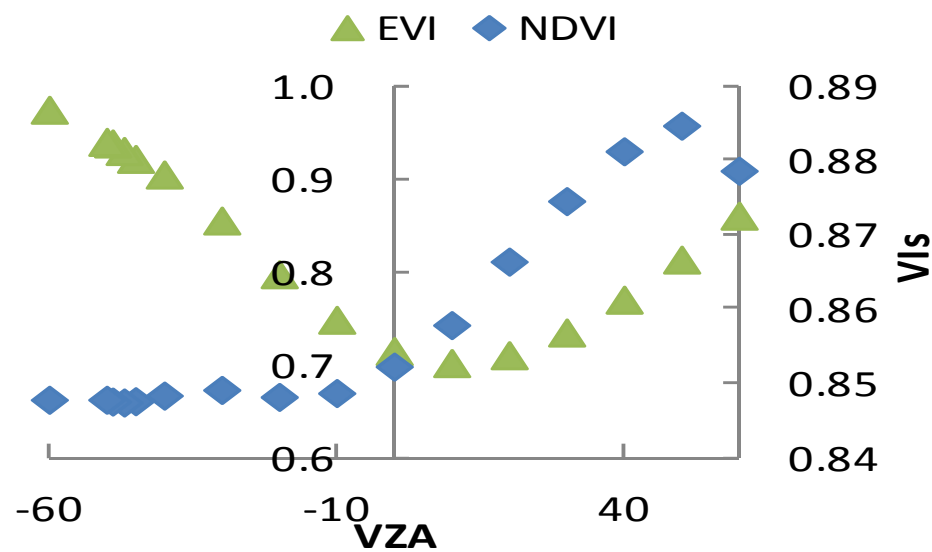
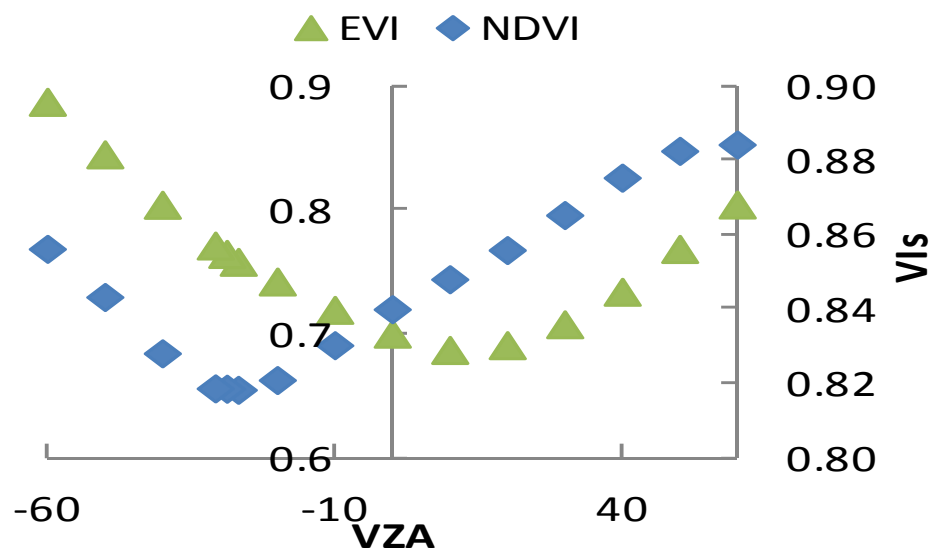


July 15- 18 2002

MODIS Vegetation Workshop, Missoula



**MODIS—EVI**改善表现在：**(1)**大气校正包括大气分子、气溶胶、薄云、水汽和臭氧。而**AVHRR—NDVI**仅对瑞利散射和臭氧吸收做了校正；这样**MODIS—EVI**可以不采用基于比值的方法。因为比值算式是以植被指数饱和为代价来减少大气影响；**(2)**根据蓝光和红光对气溶胶散射存在差异的原理。采用“抗大气植被指数(**ARVI**)”对残留气溶胶做进一步的处理；**(3)**采用“土壤调节植被指数(**SAVI**)”减弱了树冠背景土壤变化对植被指数的影响；**(4)**综合**ARVI**和**SAVI**的理论基础。形成“增强型植被指数(**EVI**)”。它可以同时减少来自大气和土壤噪音的影响。



EVI、NDVI多角度观测数据，从左至右分别为下午13:23、14:20、15:17三次试验数据，对应的太阳高度角分别为 $28.8^\circ$ 、 $36.9^\circ$ 、 $46.9^\circ$ ，后视方向为负，右边次坐标轴对应NDVI数据，中间主坐标轴对应EVI数据



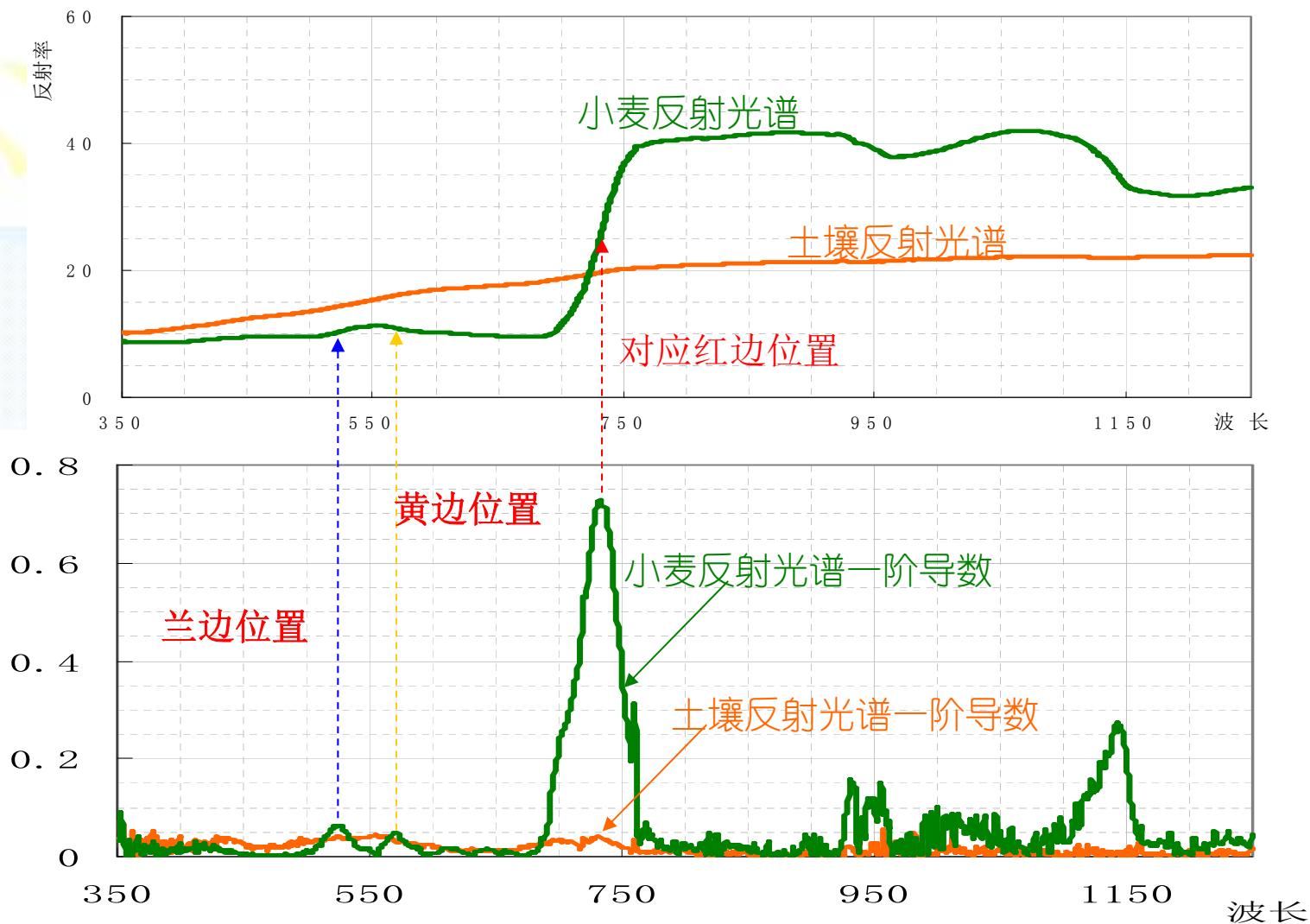
## 可见近红外波段的光谱指数

简称	指数名称	指数公式	参考文献
PRI(570,531)	光化学反射指数	$PRI = (R_{570} - R_{531}) / (R_{570} + R_{531})$	Peñuelas,1995
PPR(550,540)	比值植被色素指数	$PPR = (R_{550} - R_{450}) / (R_{550} + R_{450})$	Verdebout,1994
GreenNDVI	绿度归一化植被指数	$GNDVI = (R_{750} - R_{550}) / (R_{750} + R_{550})$	Gitelson,1994
NRI	氮素反射指数	$NRI = (R_{560} - R_{670}) / (R_{560} + R_{670})$	Schleicher,2001
SIPI	结构敏感色素指数	$SIPI = (R_{800} - R_{445}) / (R_{800} - R_{680})$	Peñuelas,1995
SAVI	土壤调节植被指数	$SAVI = [(1+L)(R_{nir} - R_{red})] / (R_{nir} + R_{red} + L), L=0.5$	Huete,1988
TCARI	转换叶绿素吸收指数	$TCARI = 3 * [(R_{700} - R_{670}) - 0.2 * (R_{700} - R_{550})(R_{700} / R_{670})]$	Daughtry,2000
OSAVI	优化土壤调节植被指数	$OSAVI = (1+0.16)(R_{800} - R_{670}) / (R_{800} - R_{670} + 0.16)$	Rondeaux,1996
CCII	CARI/ OSAVI 比值	$CCII = CARI / OSAVI$	Haboudane,2001
ARVIgreen	抗大气植被指数	$ARVIgreen = (R_{560} - R_{670}) / (R_{560} + R_{670} + R_{450})$	Alfredo,1994
ARVI-700	抗大气植被指数	$ARVI-700 = (R_{700} - 1.7 * R_{670} + 0.7 * R_{450}) / (R_{700} + 2.3 * R_{670} - 1.3 * R_{450})$	Kaufman,1996

### 3 植被信息遥感反演模型与方法

#### 作物信息光谱反演统计模型—倒数光谱

一阶导数



小麦与土壤反射光谱及其一阶导数

### 3 植被信息遥感反演模型与方法

#### 冬小麦叶面积指数反演模型

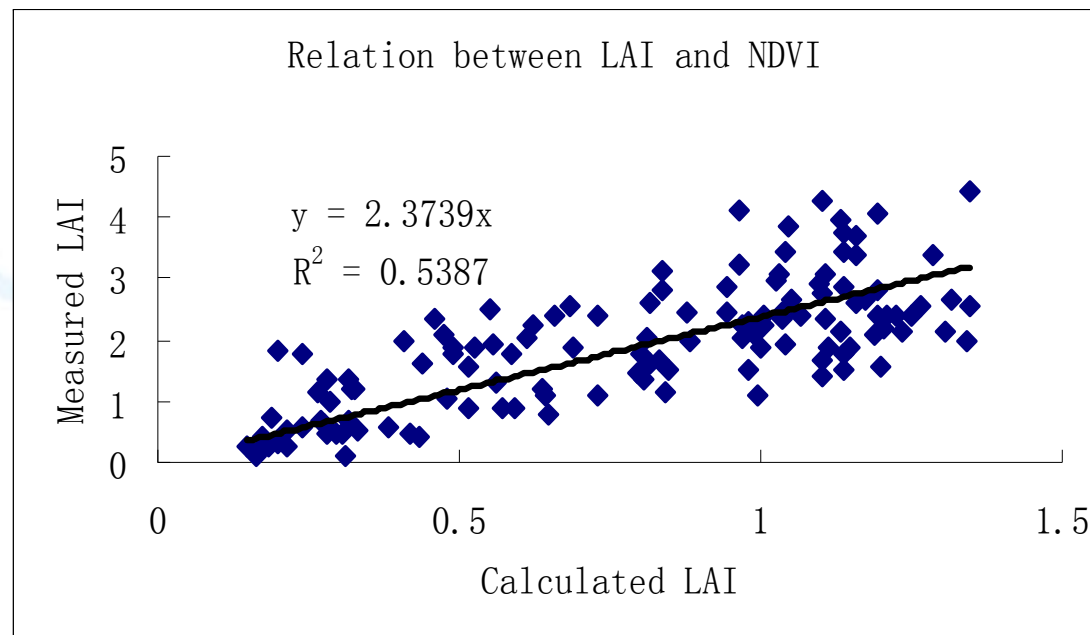
核心思想：利用冠层NDVI，结合Beer定律，反演作物叶面积指数。

利用Beer定律建立NDVI和LAI的物理模型：

$$NDVI = NDVI_{\infty} + (NDVI_{bs} - NDVI_{\infty}) * \exp(-K_{ndvi} * LAI)$$

通过实测数据分析求得， $NDVI_{\infty} = 0.94$ ， $NDVI_{bs} = -0.1$ ， $K_{ndvi} = 2.3739$ 。

即： $LAI = 2.3793 * \log(0.95 / (0.94 - NDVI))$ ， $R^2 = 0.5387$ ， $n = 133$

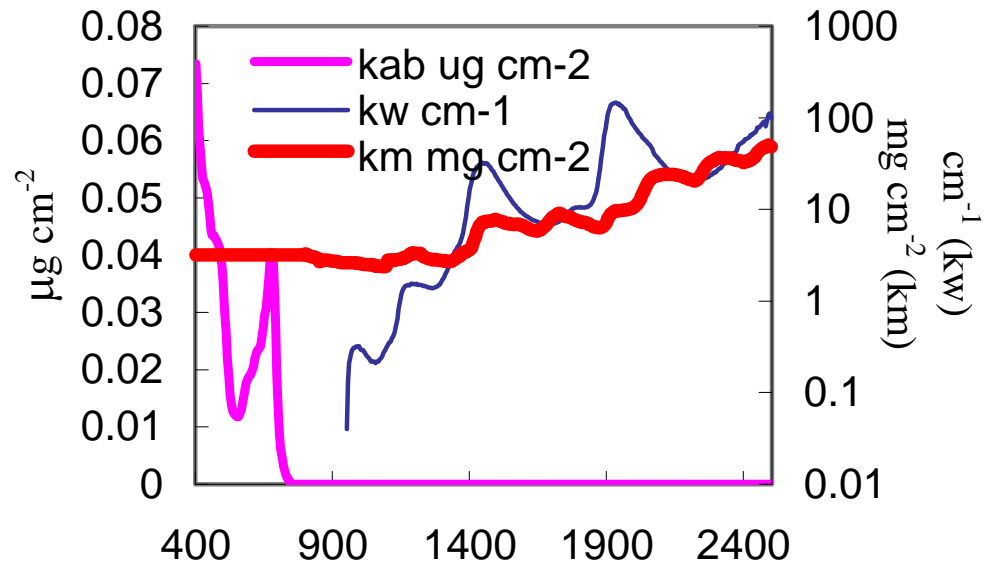
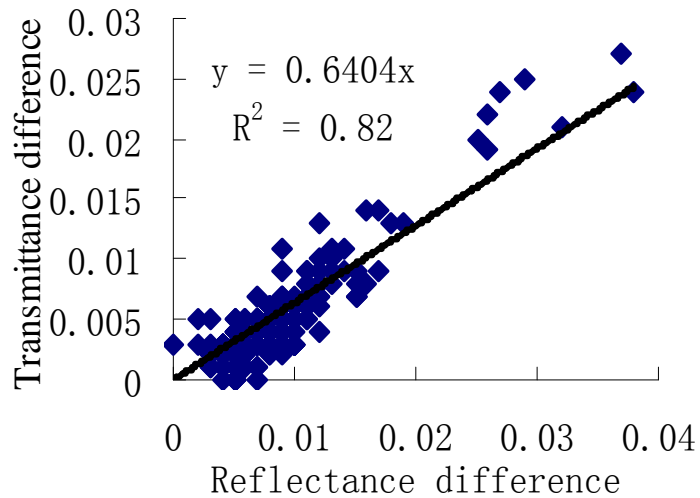
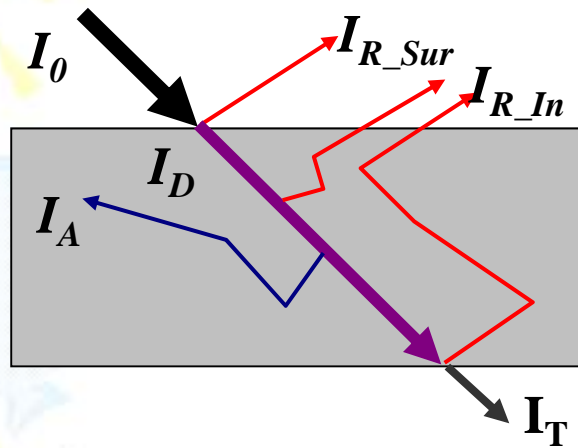


利用NDVI反演LAI的统计模型

### 3 植被信息遥感反演模型与方法

#### 叶片等效水厚度反演模型

#### Interaction between light and leaf



### 3 植被信息遥感反演模型与方法

#### 叶片等效水厚度反演模型

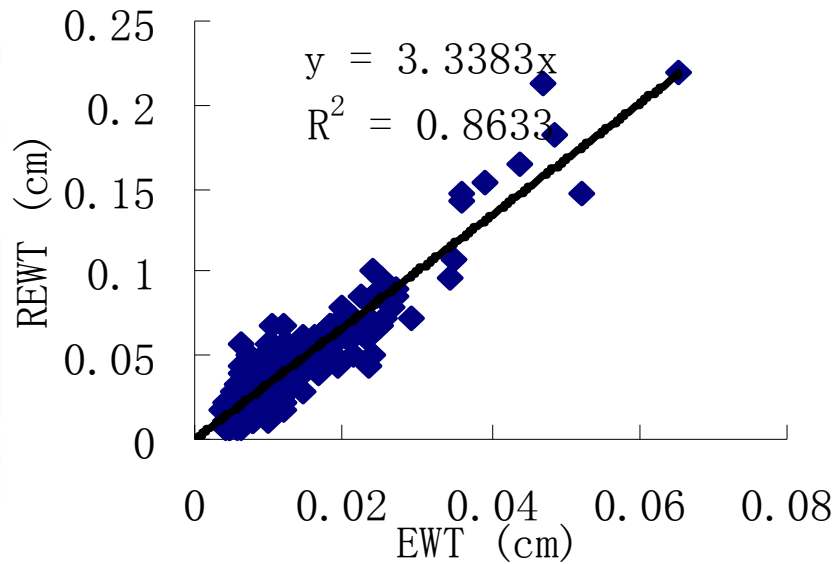
Wavelength(nm)	940	945	950	955	960	965	970	975	980	985	990	995
Dry mass(mg cm <sup>-2</sup> )	2.62	2.62	2.63	2.61	2.61	2.61	2.61	2.62	2.61	2.60	2.57	2.59
Water(cm <sup>-1</sup> )	0	0	0.041	0.135	0.211	0.257	0.288	0.305	0.313	0.320	0.321	0.324

$$-k_{W\_975} * REWT_{L\_975} = LN \left( 1 - \frac{I_{A\_Water\_975}}{I_{D\_975}} \right) = LN \left( \frac{I_{R\_In\_975} + I_{T\_975} + I_{A\_Other\_975}}{I_{D\_975}} \right)$$

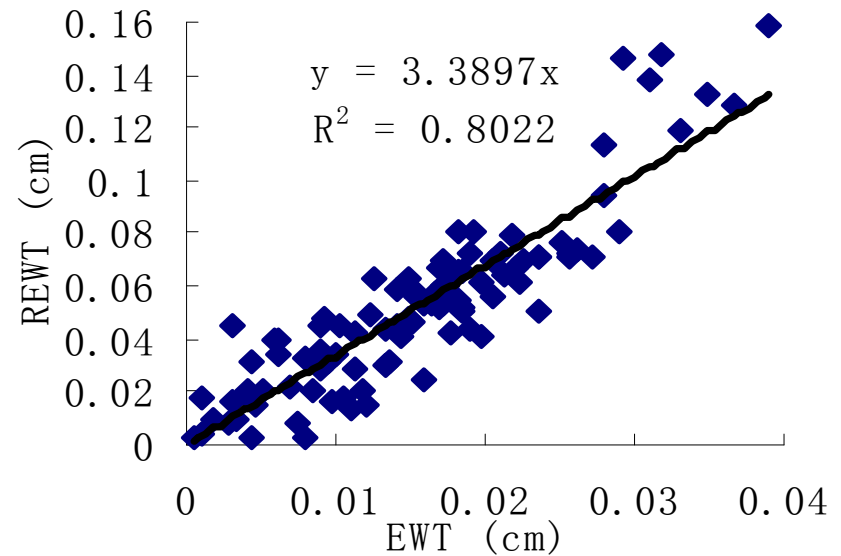
$$REWT_{L\_975} \approx - \frac{LN(1 - (1 + \alpha)(\rho_{945} - \rho_{975}))}{k_{W\_975}}$$

### 3 植被信息遥感反演模型与方法

#### 叶片等效水厚度反演模型



Lopex93数据

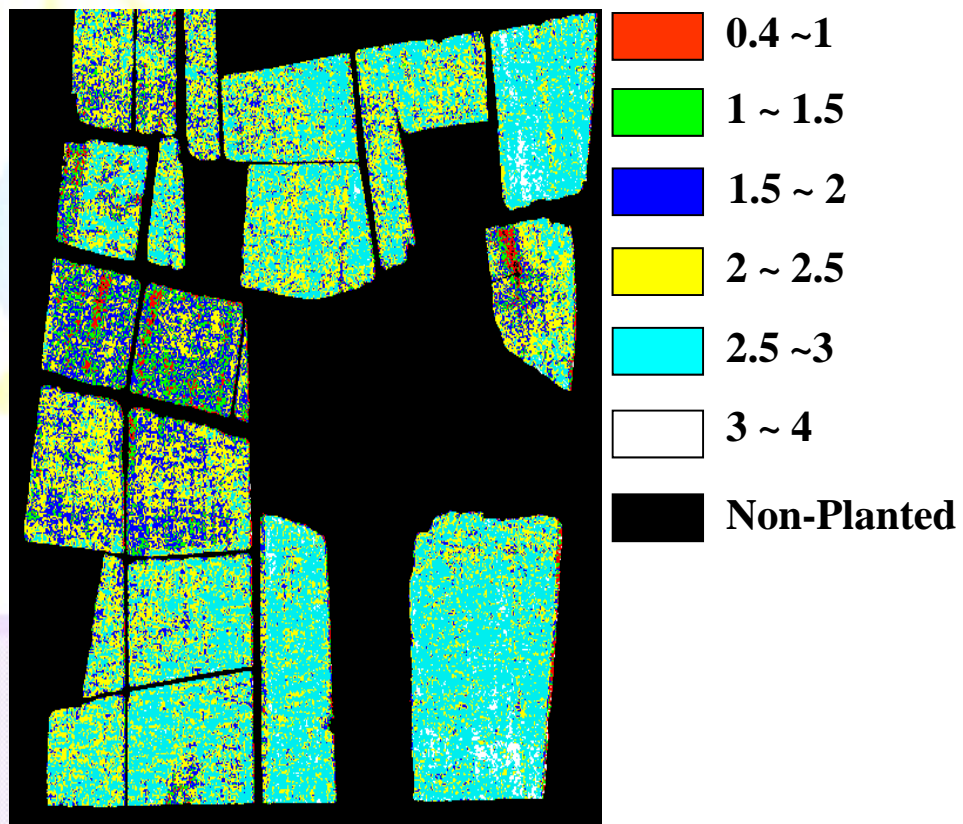


中心实验数据

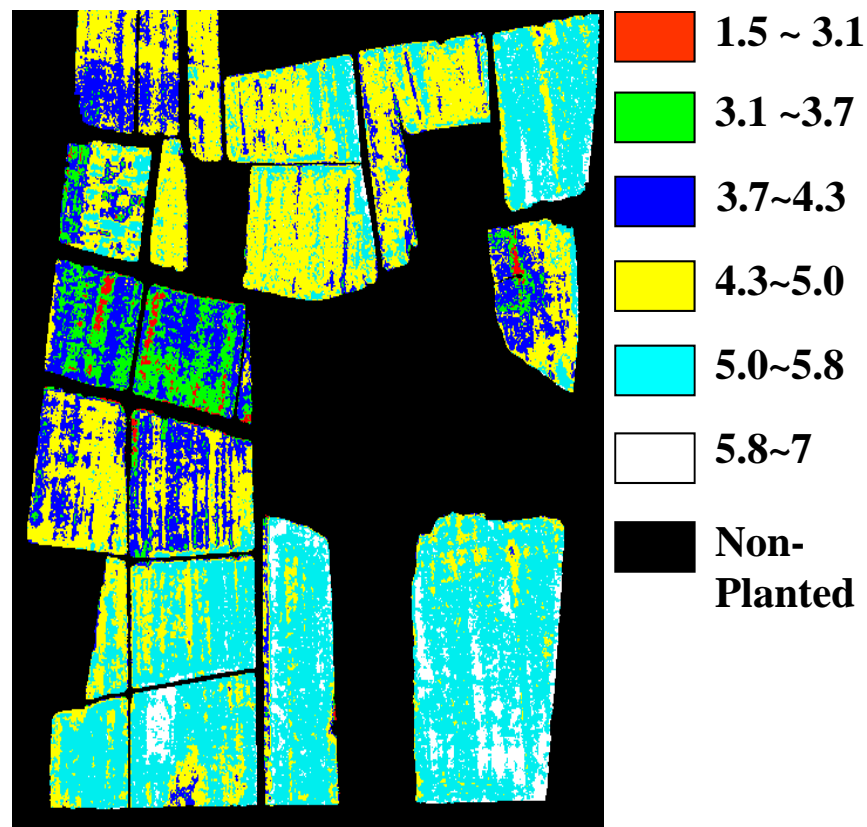
### 3 植被信息遥感反演模型与方法—氮素

#### 利用OMIS图像光谱理化参量分析与填图

(a) 叶绿素含量(mg/g)



(b) 全氮含量(%)

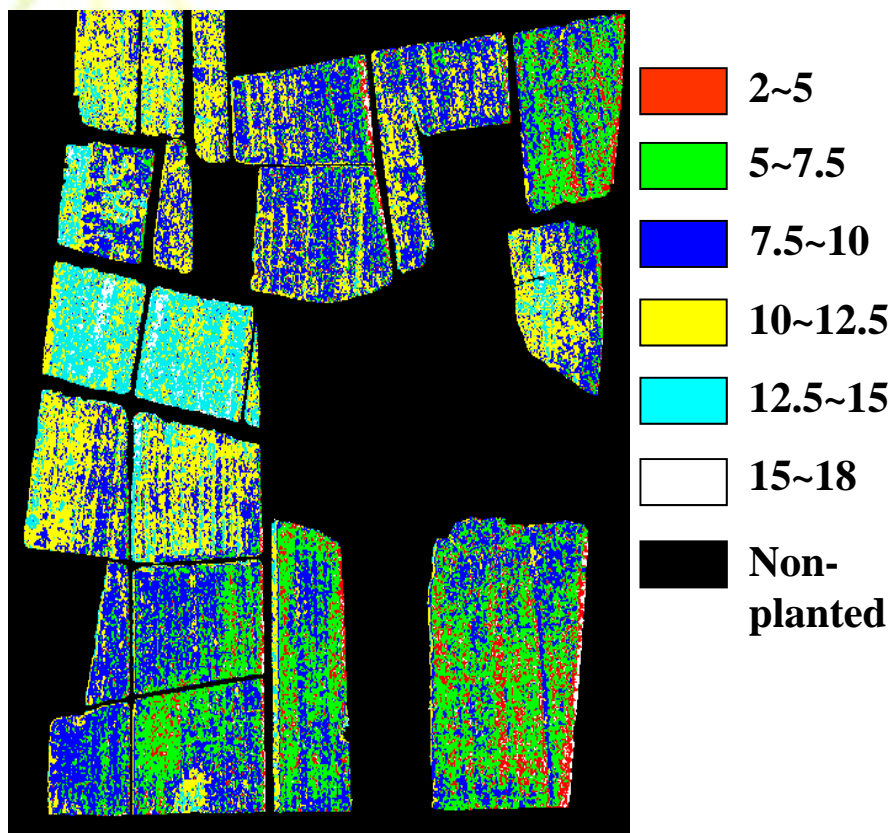


2001年4月26日小汤山

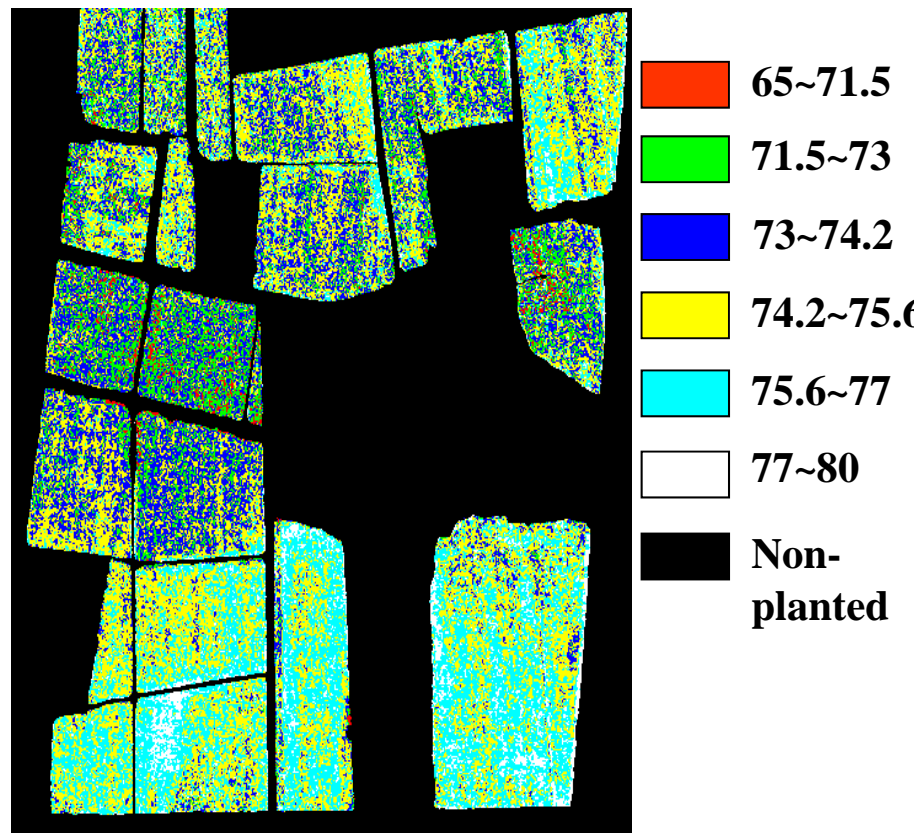
### 3 植被信息遥感反演模型与方法—氮素

## 利用OMIS图像光谱理化参量分析与填图

(c) 可溶性糖含量(%)



(d) 叶片含水量(%)

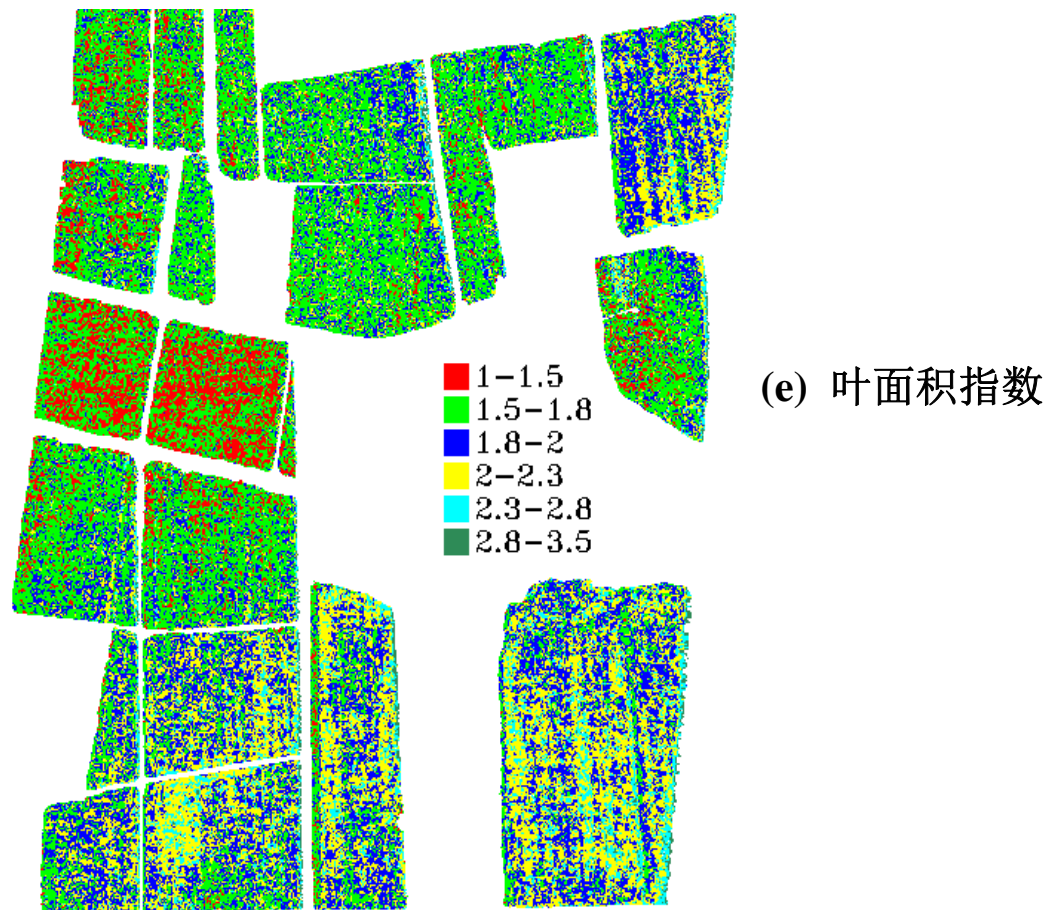


2001年4月26日小汤山



### 3 植被信息遥感反演模型与方法—氮素

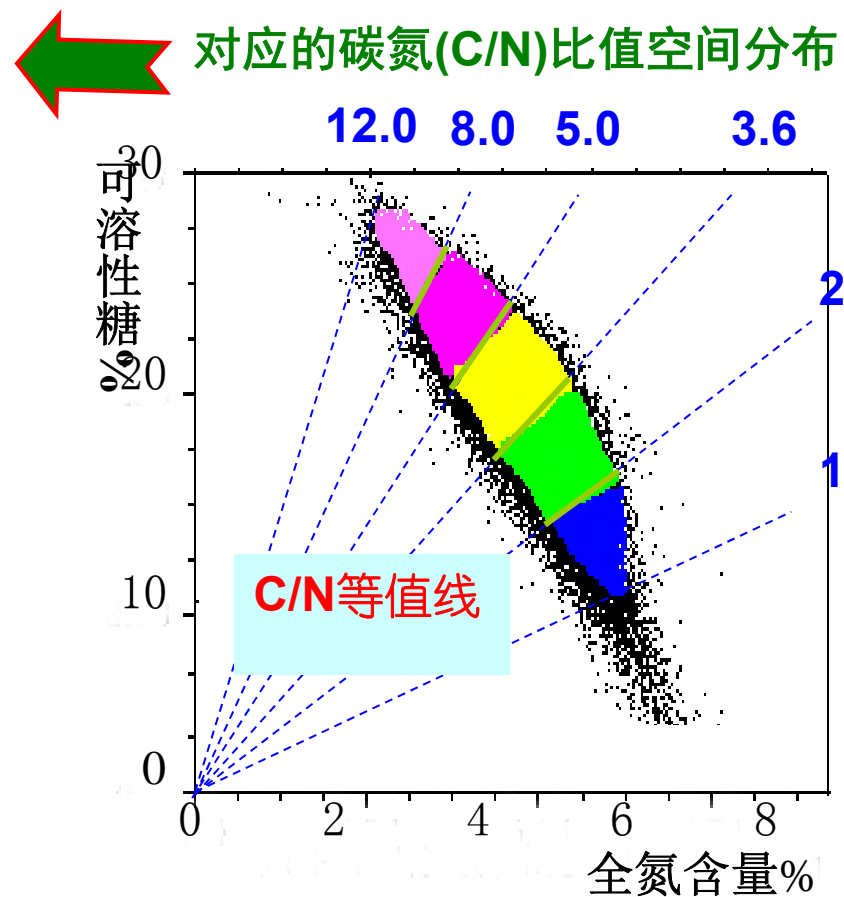
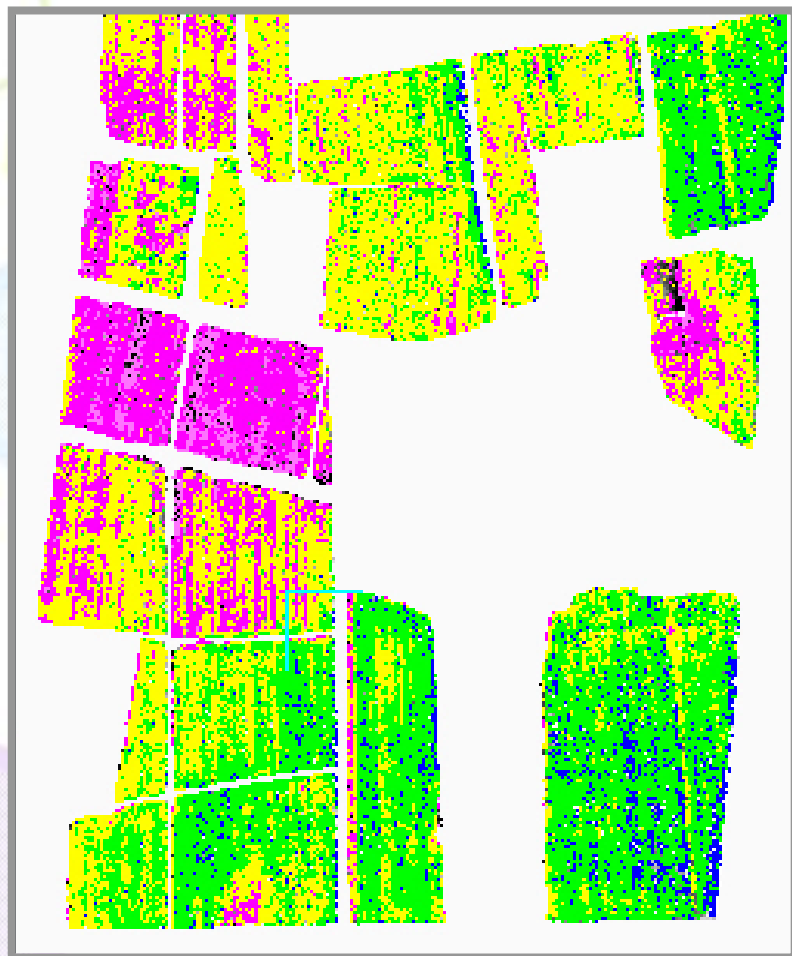
#### 利用OMIS图像光谱理化参量分析与填图



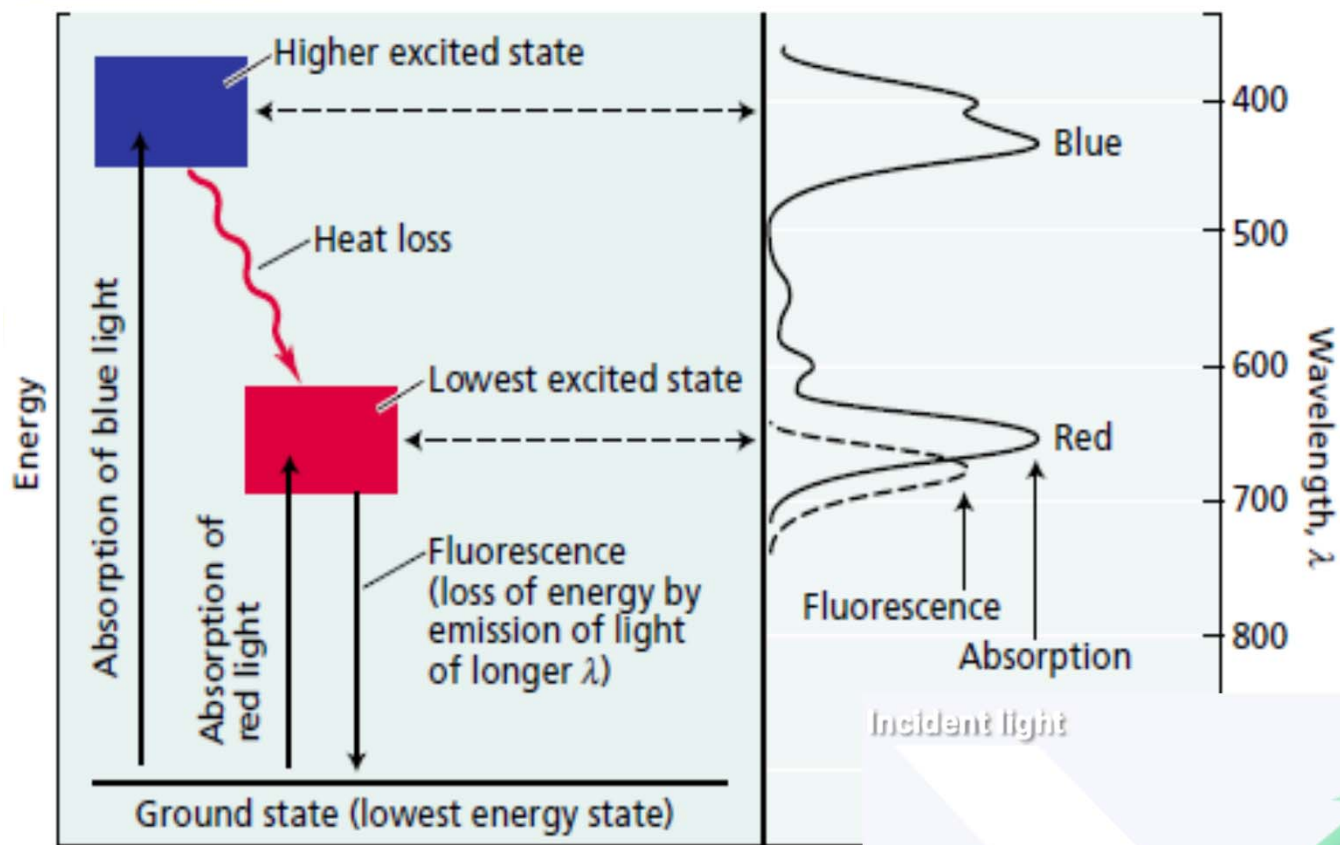
2001年4月26日小汤山

### 3 植被信息遥感反演模型与方法—氮素

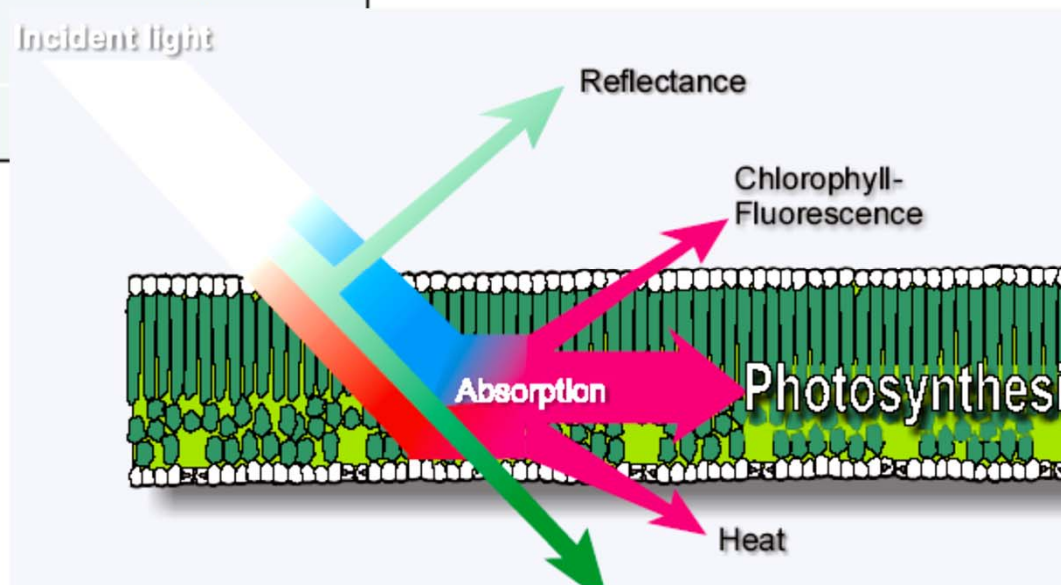
#### 糖氮比的空间分布与变异



## 4 荧光遥感原理与模型



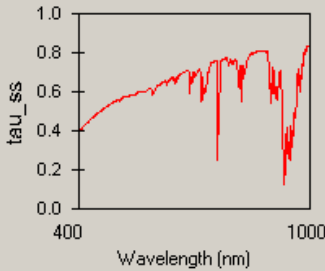
叶绿素荧光—  
光合作用探针



# 4 荧光遥感原理与模型

FluorMODgui Ver. 3.1 (L3.0 C2.2) - A Graphic User Interface for Leaf and Canopy Simulation of Chlorophyll Fluorescence

### Irradiance File and PAR Dependence Selection



PAR Dependence Parameters  
PAR b: 0.0035    PAR re: 0.005

Irradiance File Selection  
 MEP File     Measured      
FLUORMOD30V23.MEP

Values from File  
Visibility: 23  
View Zenith: 0  
Rel. Azimuth: 0  
Solar Zenith: 30

Options:  
 tau\_ss     tau\_sd  
 tau\_oo     tau\_do  
 rho\_so     ext\_solar\_rad  
 Esun     rho\_dd  
 Esky

### FluorMod Graphic User Interface

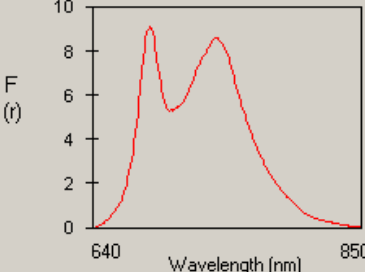
Waiting

Log File:   log.txt

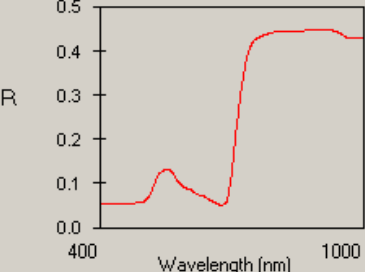
### Leaf Input Parameters

N	1.5	Fi	0.04
Cab	33	T	20
Cw	0.025	S	2
Cm	0.01	Sto	2.0

F (fluoleaf)     F(R)     F(T)  
  leaf\_F\_r\_plot.txt



Leaf R, T     R     T     RNF     TNF     TNF  
  leaf\_r\_plot.txt



Output Files  
 Auto     Manual  
Base N:     
RN\_1.dat  
TN\_1.dat  
RNF\_1.dat  
TNF\_1.dat  
FuN\_1.dat  
FdN\_1.dat  
fluoleaf\_1.txt

### Canopy Input Parameters

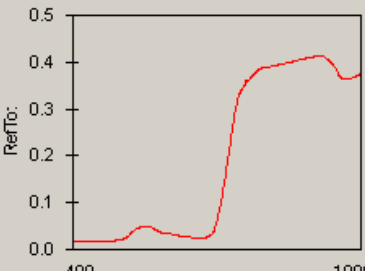
Raz	0.0	Vza	0.0
LAI	4	h	0.1
LIDF a	-0.5	LIDF b	-0.5

### Canopy Input / Output Files

Soil Reflectance: Soilspectrum.txt  
Leaf Reflectance: RN\_1.dat  
Leaf Transmittance: TN\_1.dat  
Upward Fluorescence: FuN\_1.dat  
Downward Fluorescence: FdN\_1.dat

Output File: Base N:     
 Automatic     Manual    output\_1.txt

### Output Canopy Model



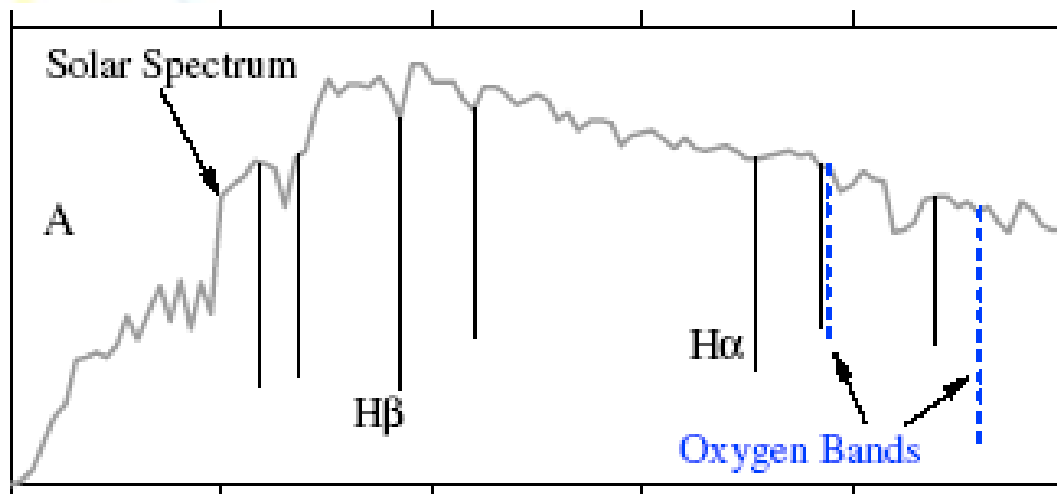
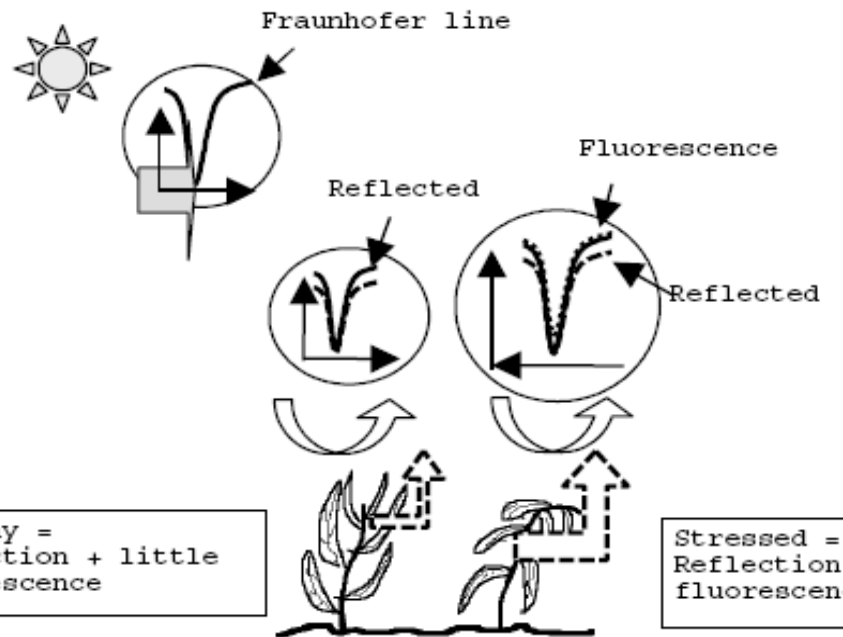
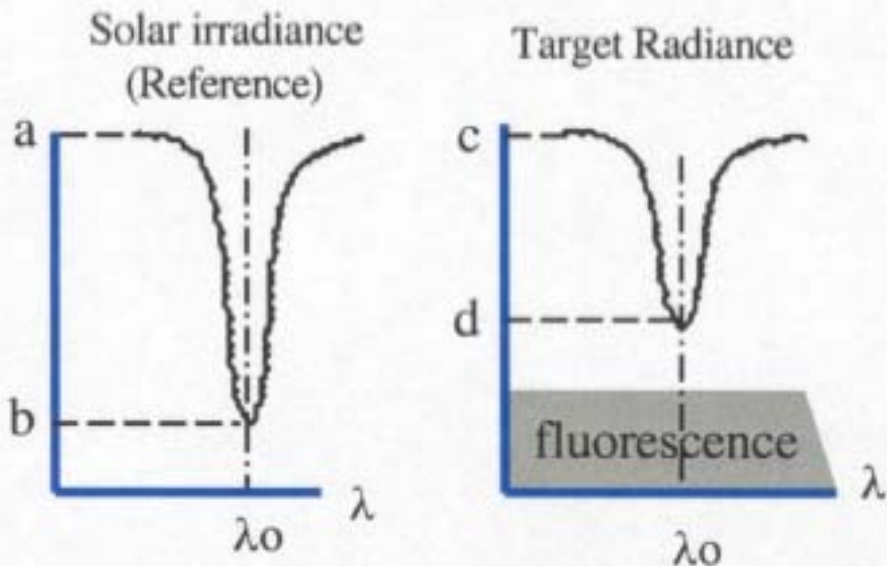
Options:  
 Esun     Esky     Etot     Refrad  
 Flurad     Totrad     Refref     Reftot  
 refSAIL     refSAIL/refref  
 TOArb     TOAtb     TOArs     TOAts

Output File: reftot\_data\_plot.txt

Windows taskbar: 开始 | 通县0416 | 2 Micro... | Adobe Ac... | Microsof... | 景娟\_论... | Tx2取样... | FluorMOD... | 23:25

# 4 荧光遥感原理与模型

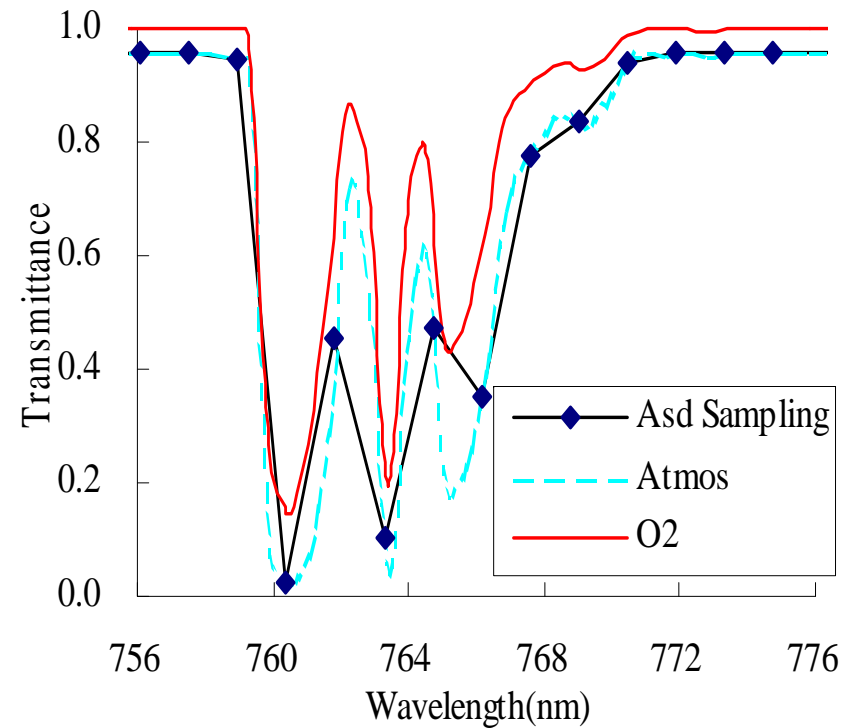
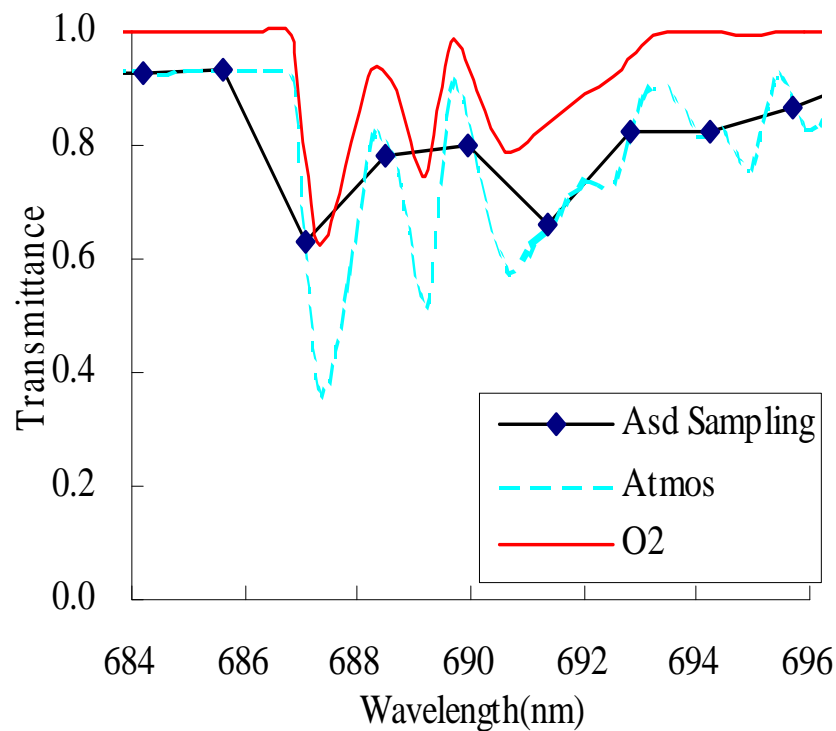
## THE FRAUNHOFER LINE PRINCIPLE



$$R = \frac{(c - d)}{(a - b)}$$

$$f = \frac{d - kc}{1 - k}$$

## CF Detection from Fraunhofer Lines:



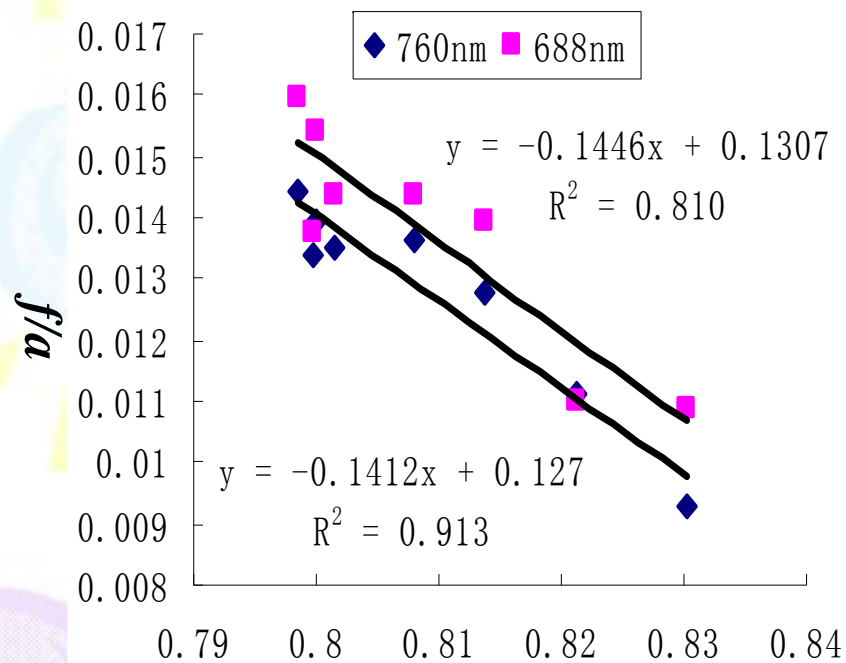
**Two Fraunhofer lines of the terrestrial oxygen absorption at 688m and 760 nm**  
Continuous line: terrestrial oxygen transmittance curves simulated by Modtran 4 with 10 cm<sup>-1</sup> spectral resolution. Dashed line: terrestrial atmospheric transmittance curves simulated with 10 cm<sup>-1</sup> spectral resolution. Broken line marked with diamond: the terrestrial atmosphere transmittance curve resampled using the ASD response functions.

# 4 荧光遥感原理与模型

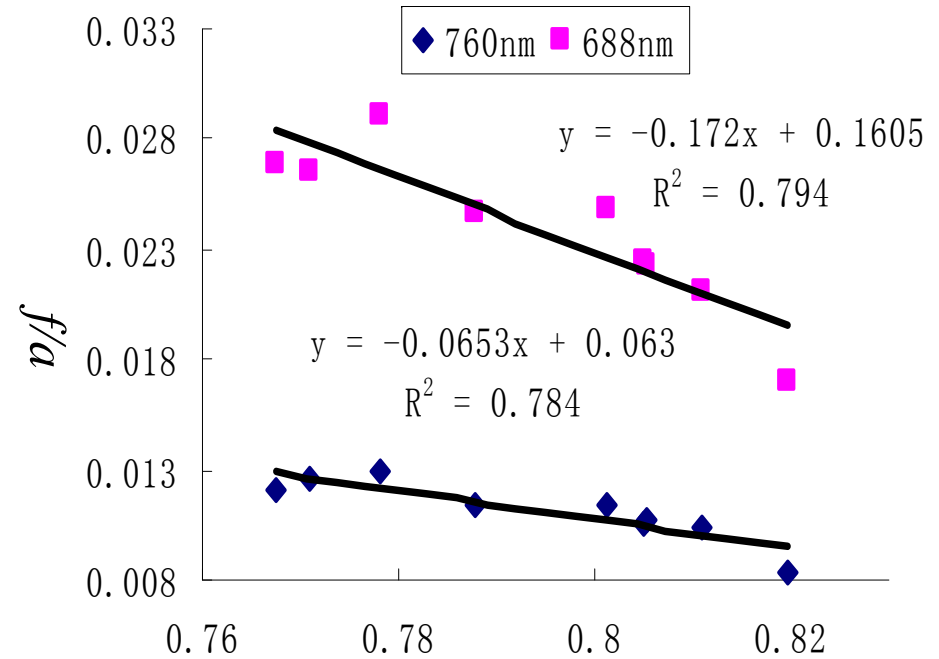


## 1) Fraunhofer 线荧光探测方法—冠层水平

被动探测冠层荧光有可能替代主动接触式激光荧光。



Relating Fv/Fm to solar-induced fluorescence of winter wheat at 760 nm and 688 nm (n=8)



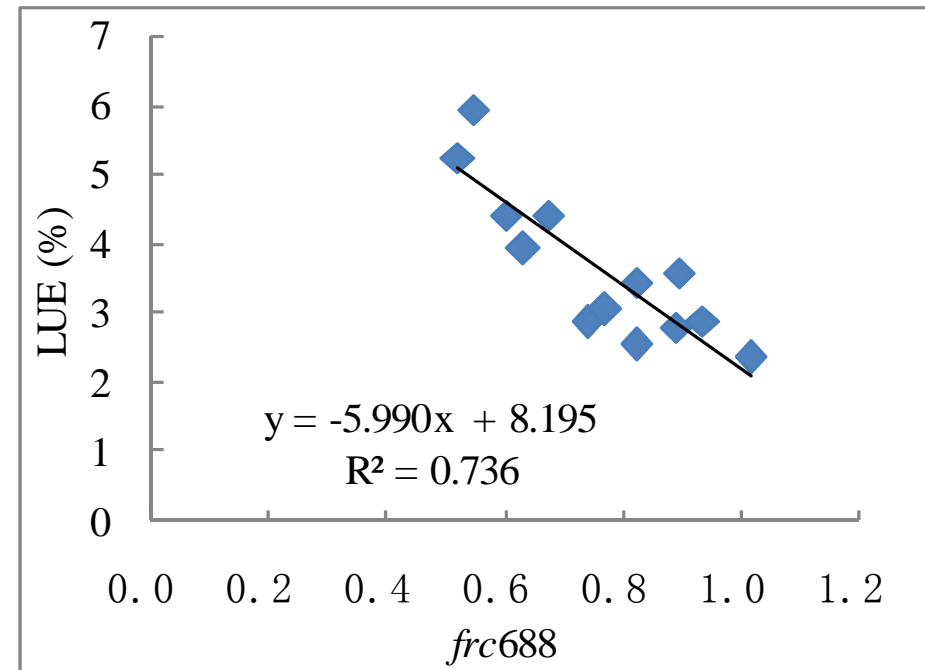
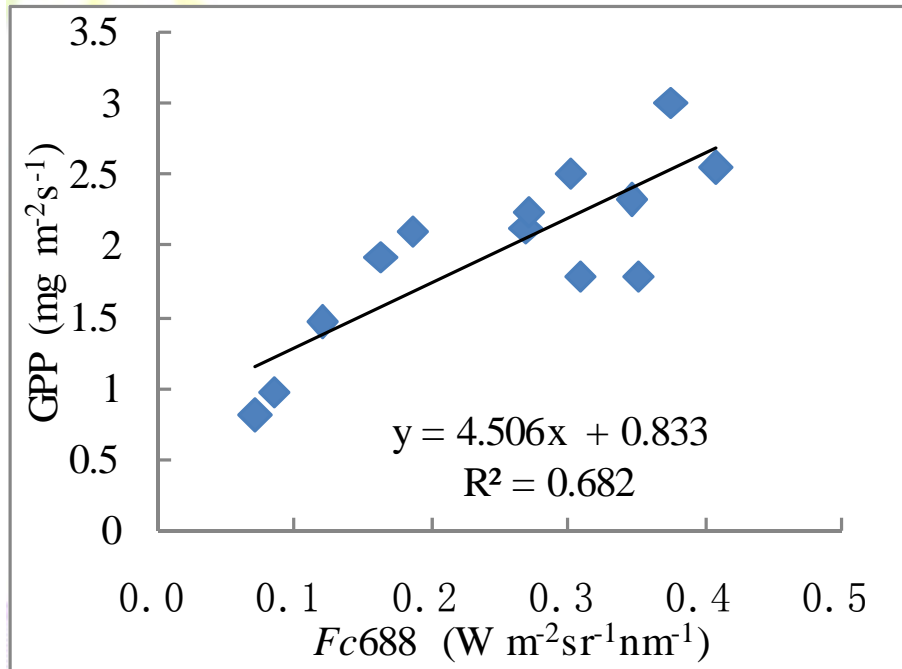
Relating Fv/Fm to solar-induced fluorescence of Japan Creeper at 760 nm and 688 nm (n=9)

# 4 荧光遥感原理与模型

## 2) Fraunhofer 线荧光与光能利用率



The canopy CO<sub>2</sub> assimilation rate

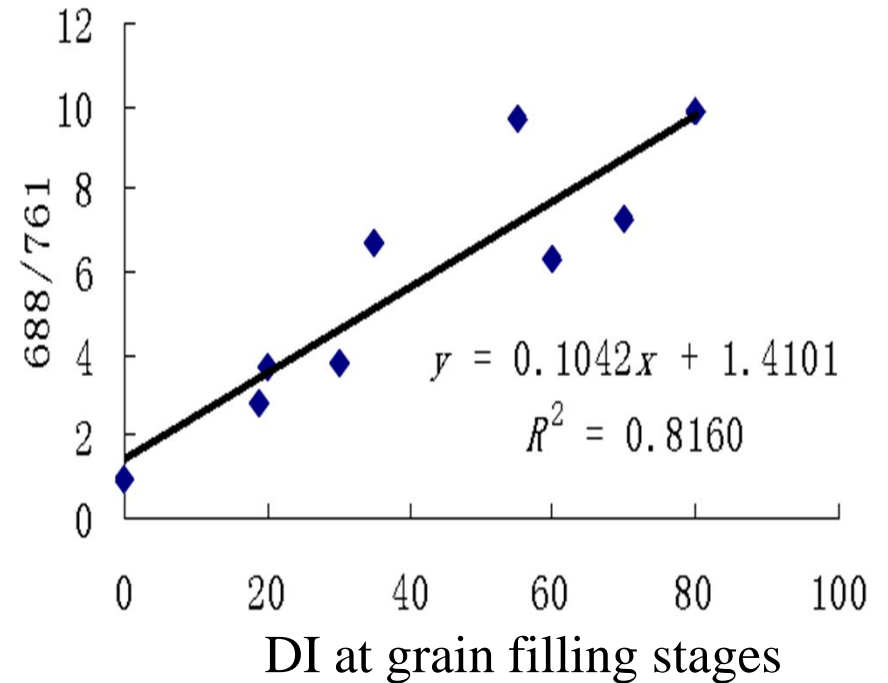
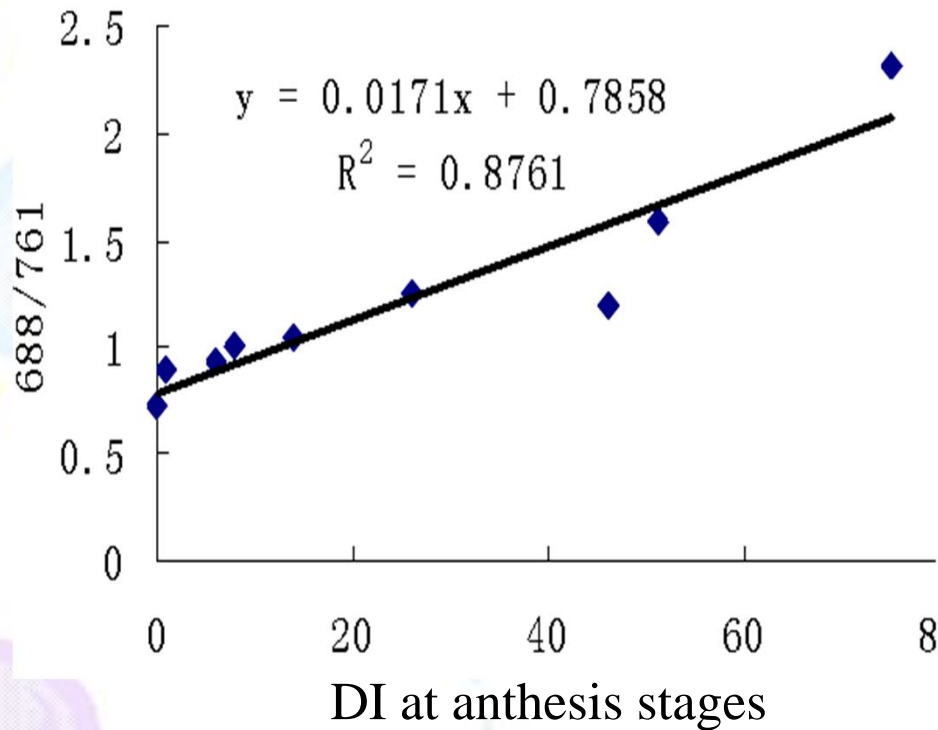


$$LUE_g = GPP/APAR$$



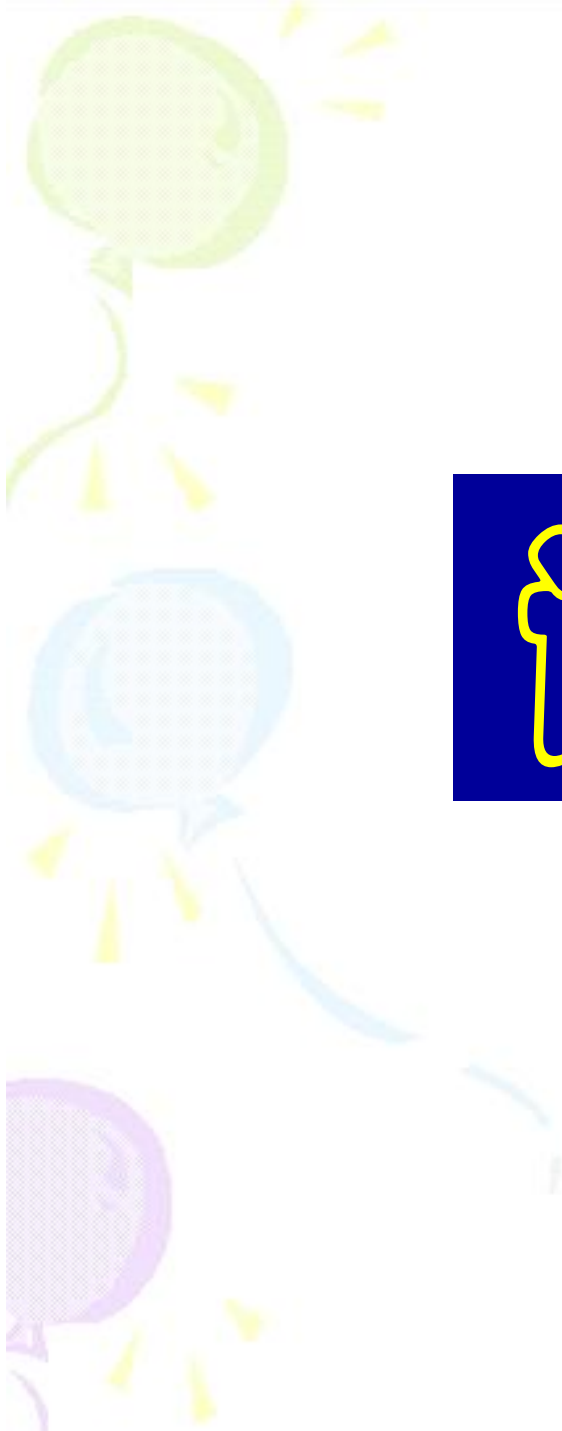
## 4 荧光遥感原理与模型

### Fraunhofer 线荧光探测冠层荧光监测条锈病



被动探测荧光能够监测冬小麦条锈病。

---

A vertical column of three balloons on the left side of the slide. The top balloon is green, the middle one is blue, and the bottom one is purple. Each balloon has a grid pattern and a string with a small bell. There are also some yellow starburst shapes around the balloons.

谢谢!