

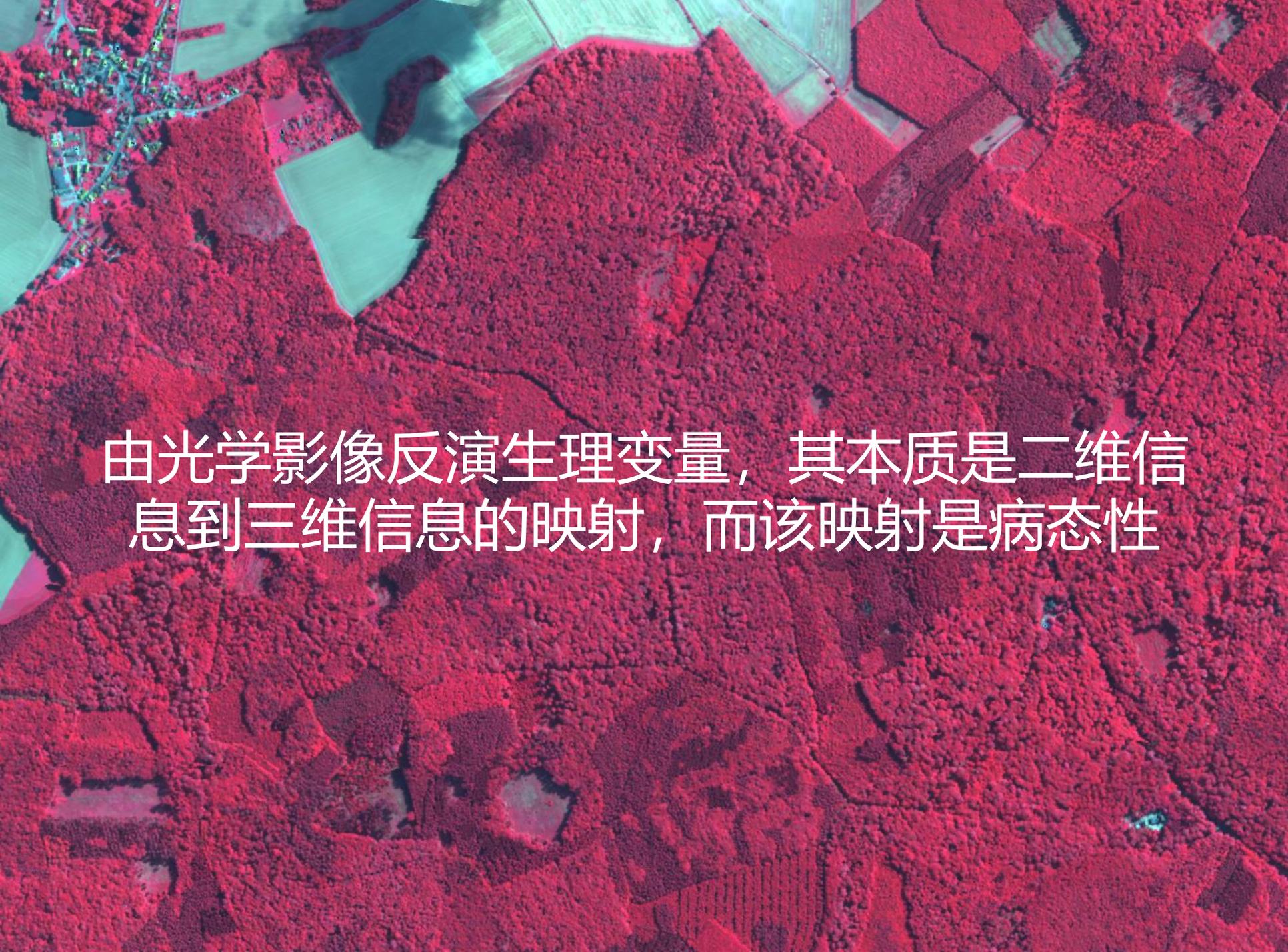
北京林业大学

# 激光雷达能够降低林分结构 对光谱遥感森林生理变量反演的干扰

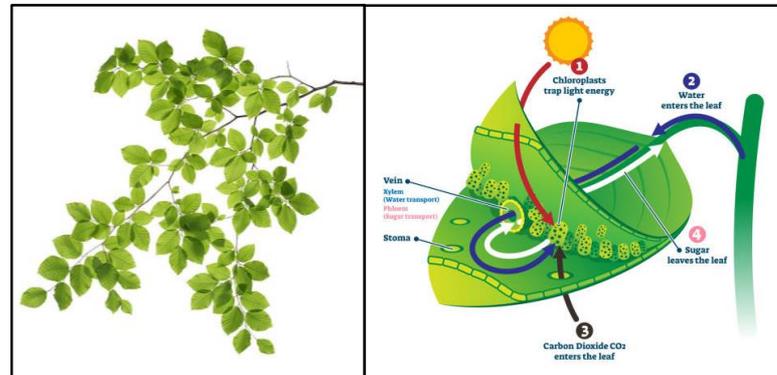
李林源

Co-contributors: 林思美、刘尚博、黄华国

[lilinyuan@bjfu.edu.cn](mailto:lilinyuan@bjfu.edu.cn)



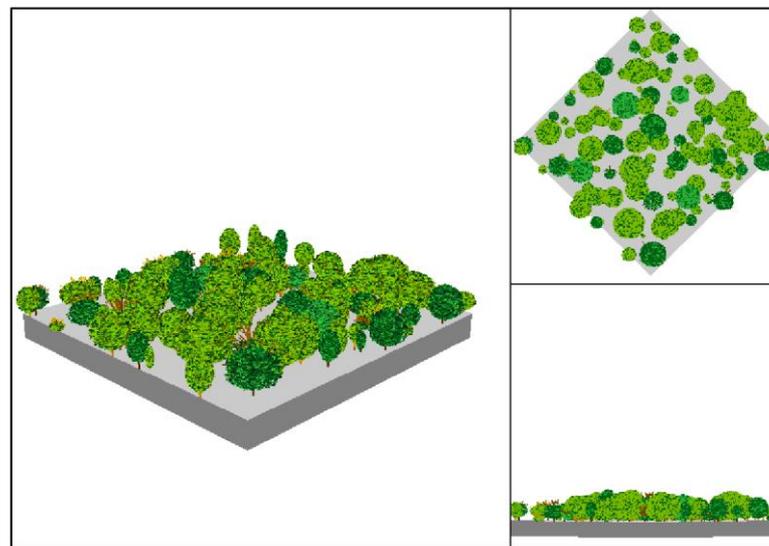
由光学影像反演生理变量，其本质是二维信息到三维信息的映射，而该映射是病态性

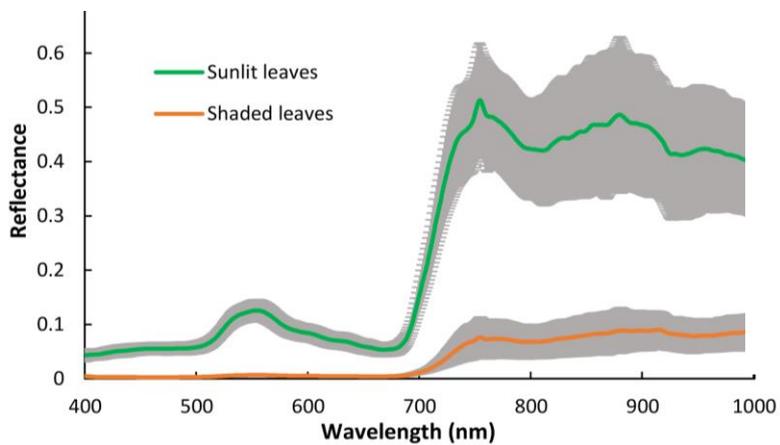


## 内部生理变量

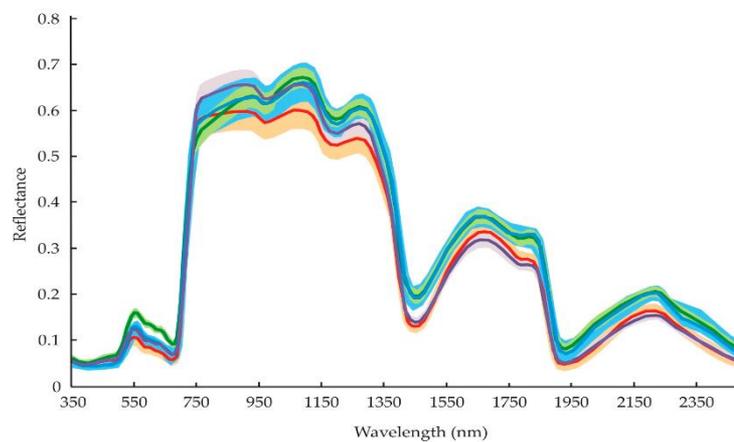


## 宏观林分结构

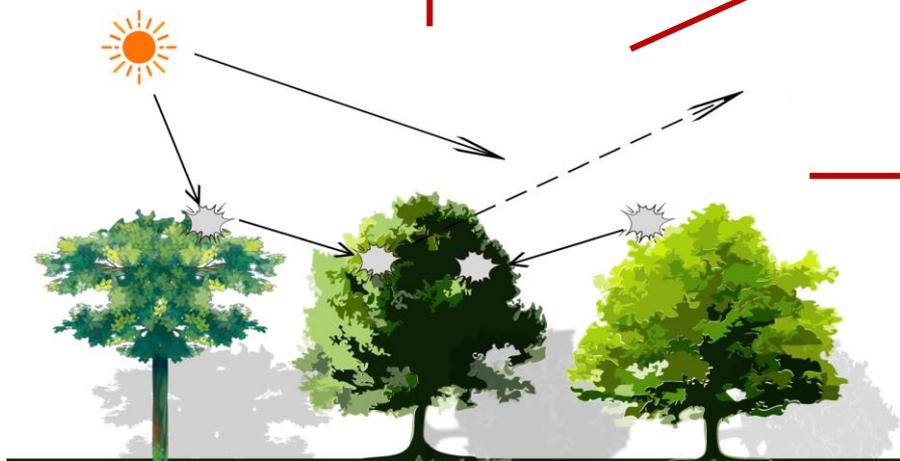




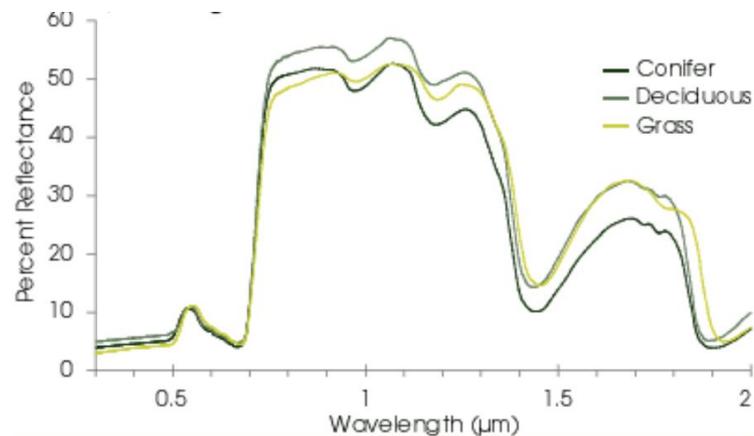
光照与阴影



邻近多次散射



垂直层次遮挡

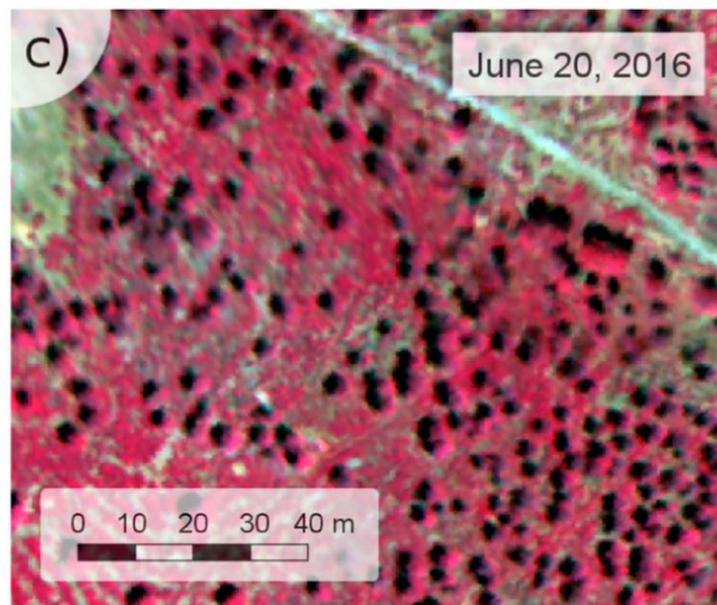


## 面向“光照与阴影”问题

# 1. 最小化阴影影响的航空遥感冠层生理变量反演

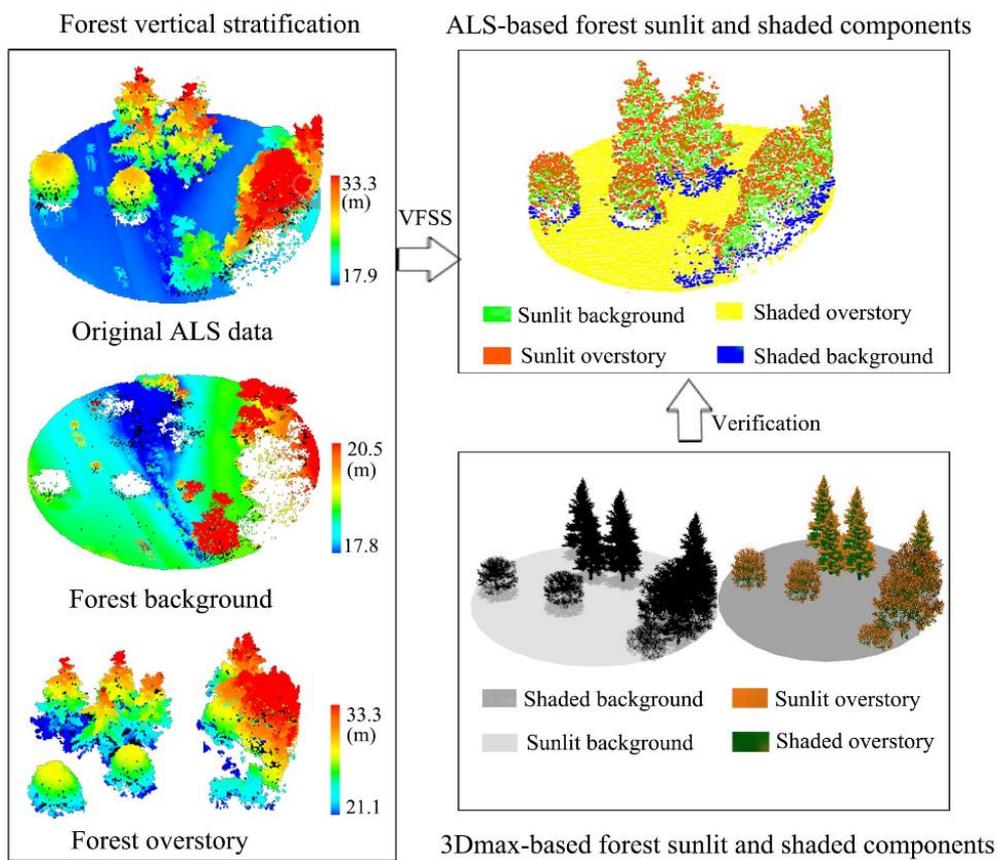
## ■ 以冠层尺度一维辐射传输模型 SAIL的反演为例

- ✓ 假设水平均匀无限的叶片随机冠层
- ✓ 光照树冠近似有效，阴影树冠无效（表观反射率与信噪比）

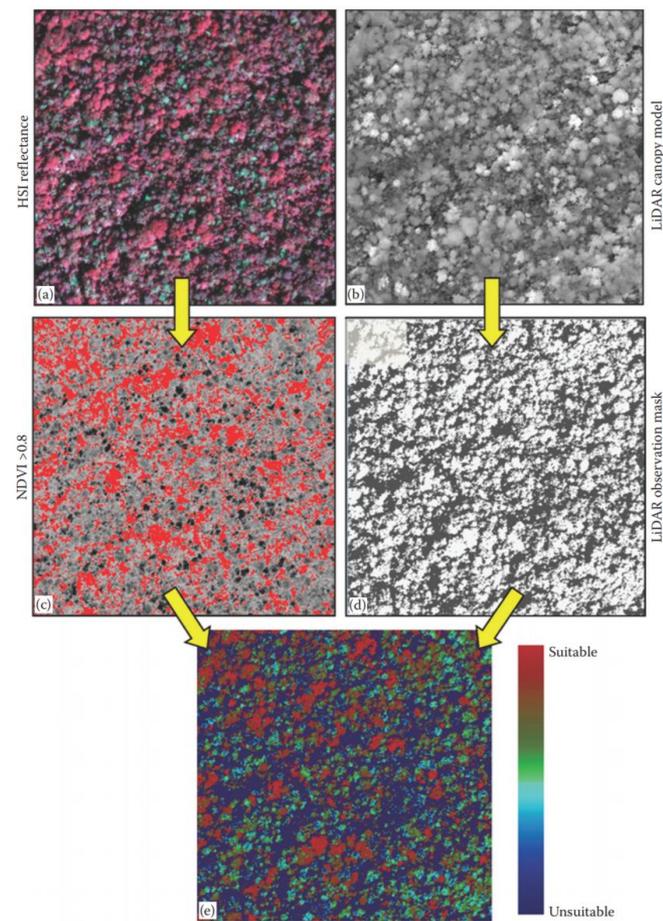


# 1 基于激光雷达点云计算光照与阴影树冠

✓ 基于光线投射算法 (ray casting) 或坐标系变换方法区分光照树冠与阴影树冠, 构建掩膜



(Wang, et al., 2021)



(Asner, et al., 2015)

## 面向“邻近多次散射”问题

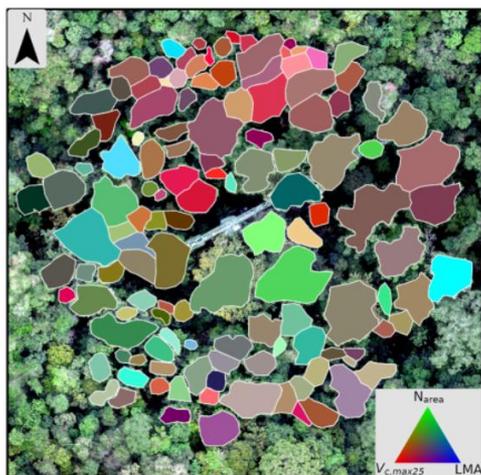
### 2. 顾及邻近约束的无人机遥感影像单木性状反演

## ■ 单木尺度生理变量是个体生理状态的重要指示因子

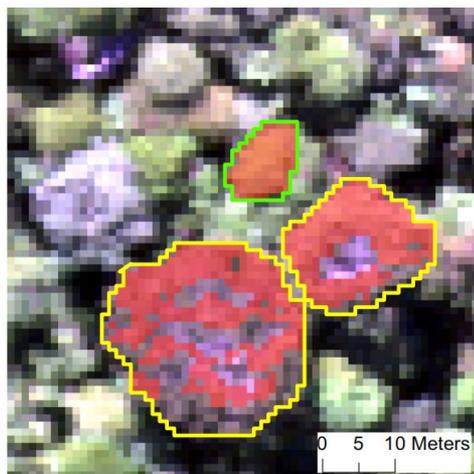
- ✓ 叶面积体密度、平均叶倾角、叶片叶绿素含量、其他色素含量、水分含量

## ■ 无人机遥感特点与优势

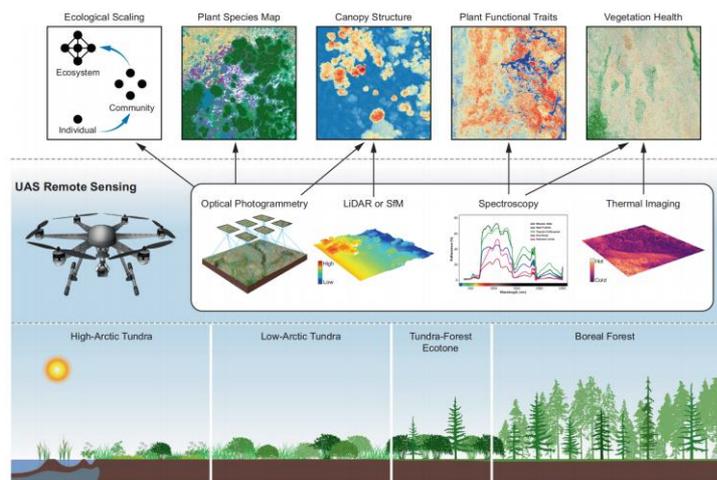
- ✓ 高效、灵活、成本低，实现“既见树木，又见森林”
- ✓ 超高空间分辨率，确保“看得清、看得细”
- ✓ 数据类型丰富多样，联合“多模态多维度数据”优势



(Liu, et al., 2023)



(Ferreira, et al., 2019)



(Yang, et al., 2022)

## 2 当前单木尺度生理变量反演关键问题

### ■ 冠层尺度一维辐射传输模型（1D RTM）理论上并不适用于单木尺度

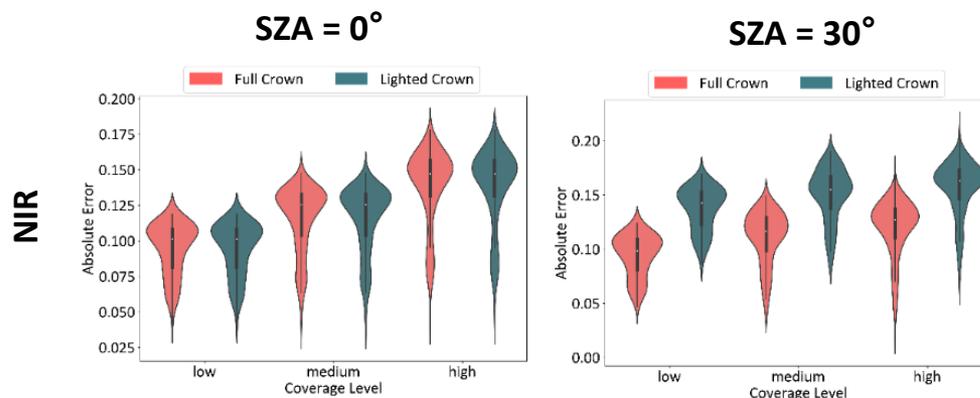
- ✓ 冠层尺度模型难以准确刻画光在单木中的辐射过程
- ✓ 一维模型难以充分刻画单木结构特性

### ■ 3D RTM所要求的三维仿真结构强化了反演的病态性

- ✓ 现有研究采用单一固定尺寸几何体树冠，代表性较为有限

### ■ 单木尺度的邻近交叉散射掩盖单木自身信号，是反演误差的重要来源之一

- ✓ 目前研究基本忽视这一问题
- ✓ 邻近树木多次散射的贡献经常能够达到60%以上



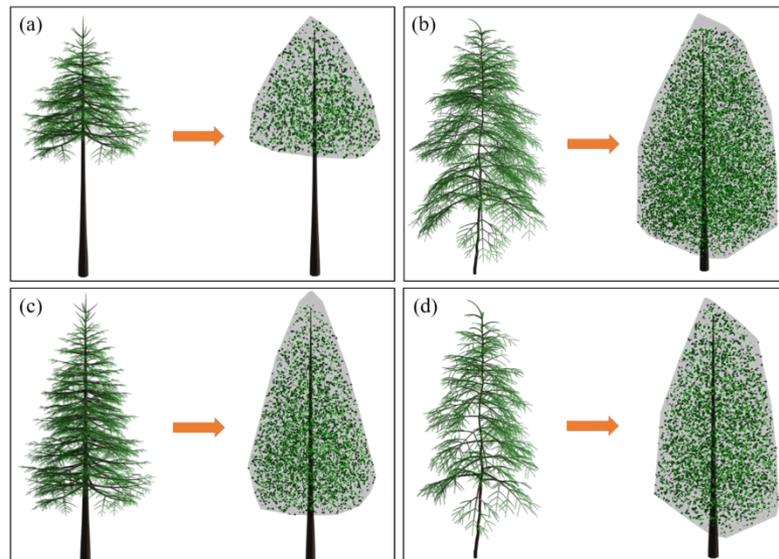
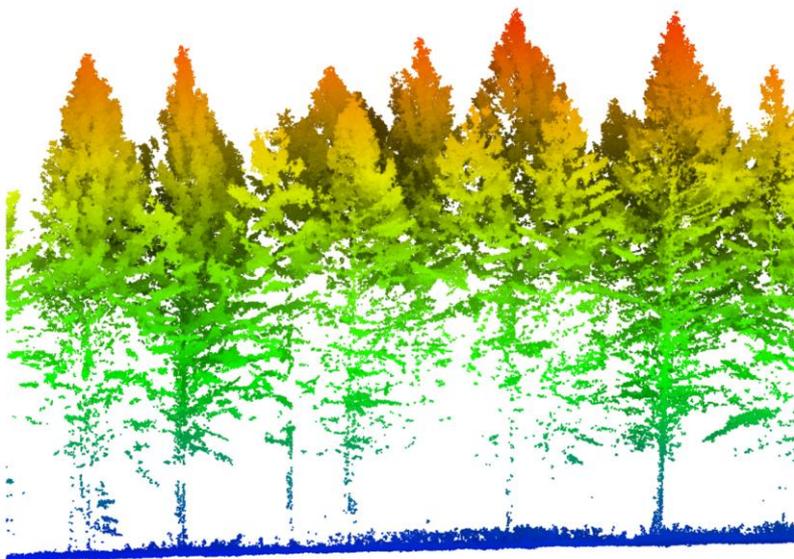
## ■ 利用航空激光雷达数据构建反演时的几何约束条件（邻近约束）

✓ LiDAR点云可提供目标单木树冠三维轮廓、邻近空间内树冠三维轮廓

## ■ 3D RTM模拟林分场景的BRF影像，而非单木场景的BRF影像

✓ 隐式考虑邻近多次散射效应，即单木生理变量与有邻近效应的BRF对应

✓ 针对每棵待反演单木构建各自特定的查找表，实现Tree-specific反演



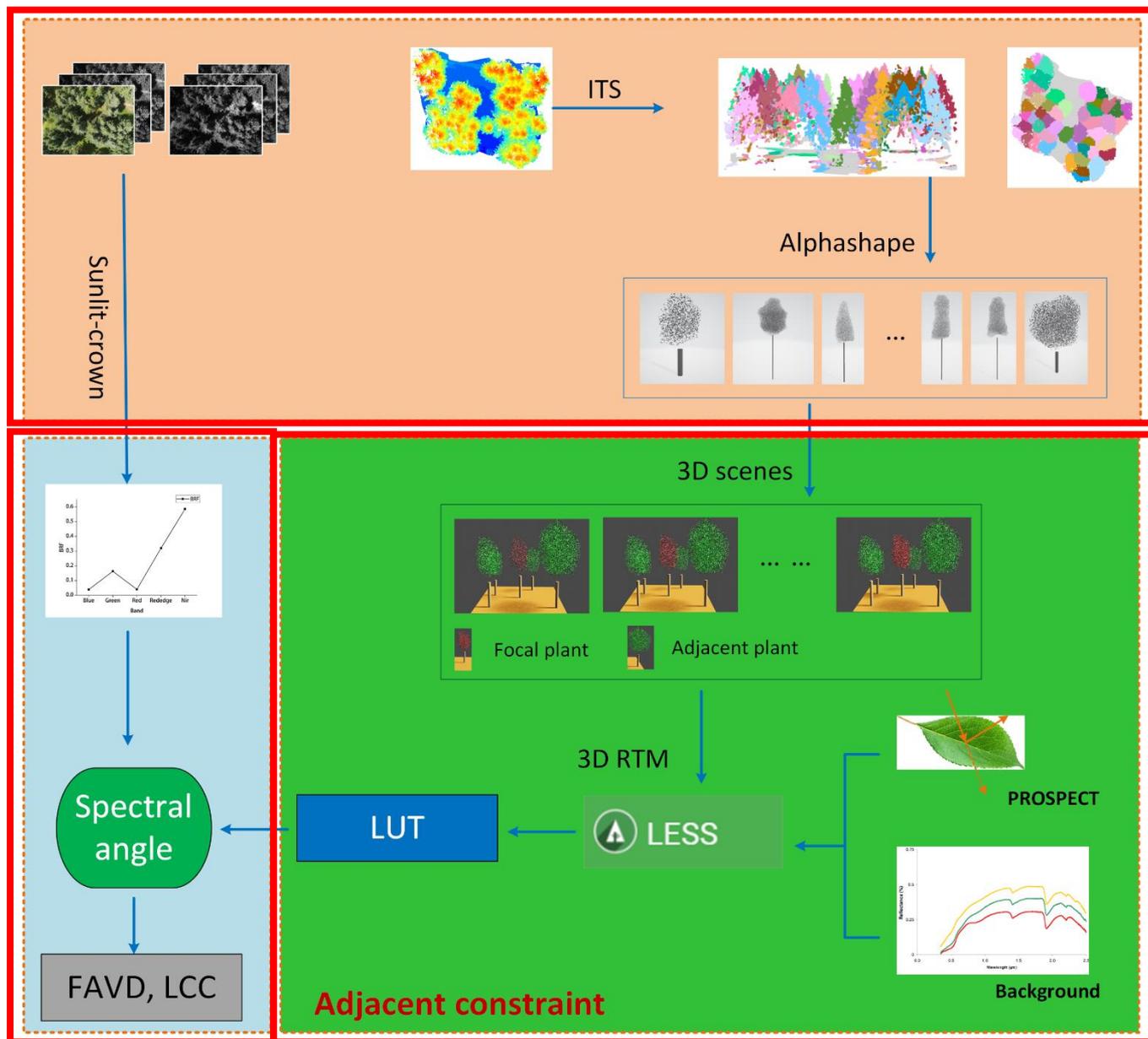
## 2 顾及邻近约束的无人机遥感影像单木性状反演流程

### 方法步骤

(1) 单木简化三维结构重建

(2) 目标单木邻域场景构建与光谱反射率影像模拟

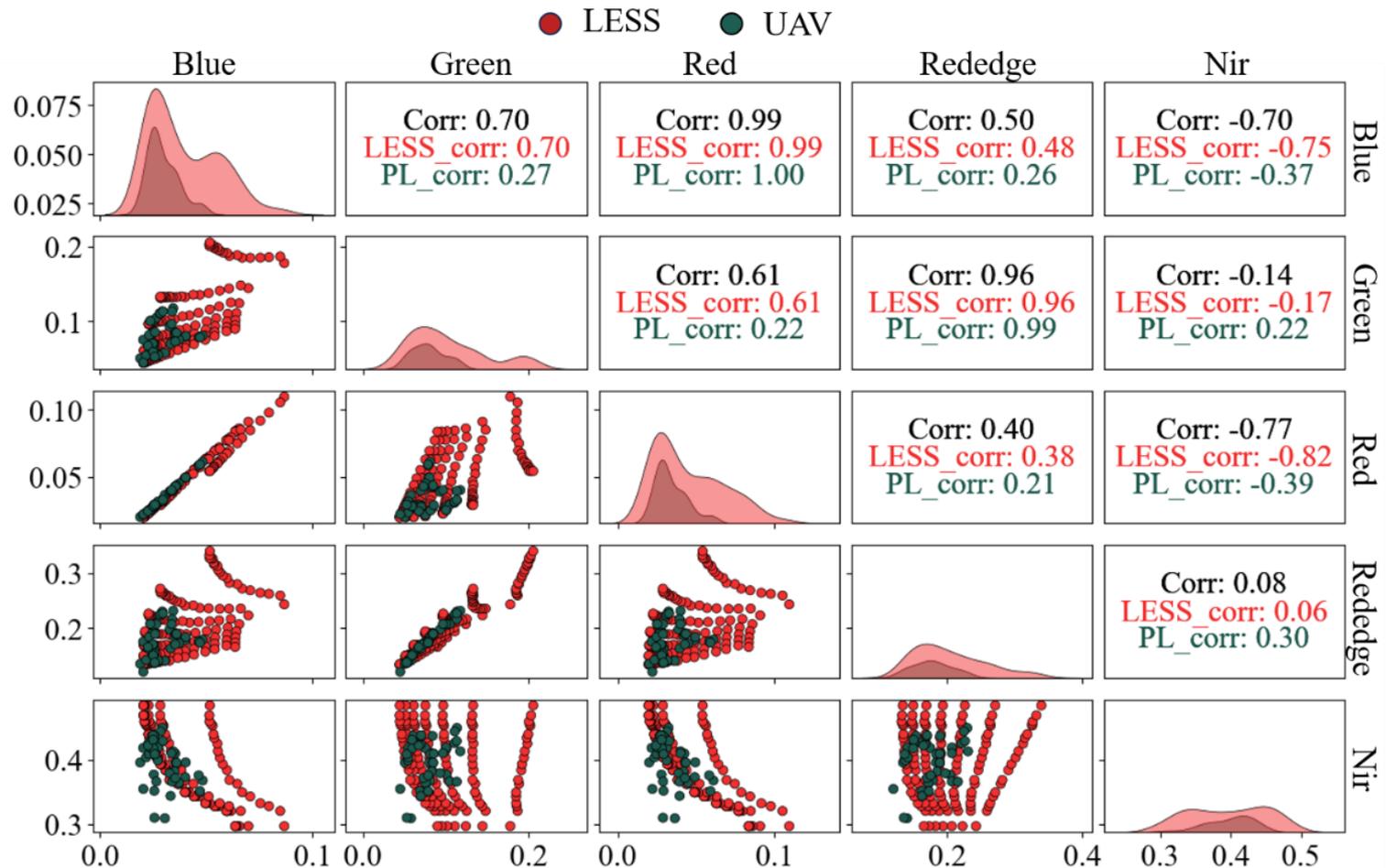
(3) 查找表构建与基于光谱角的单木性状反演



## 2 3D RTM模拟的单木BRF的代表性

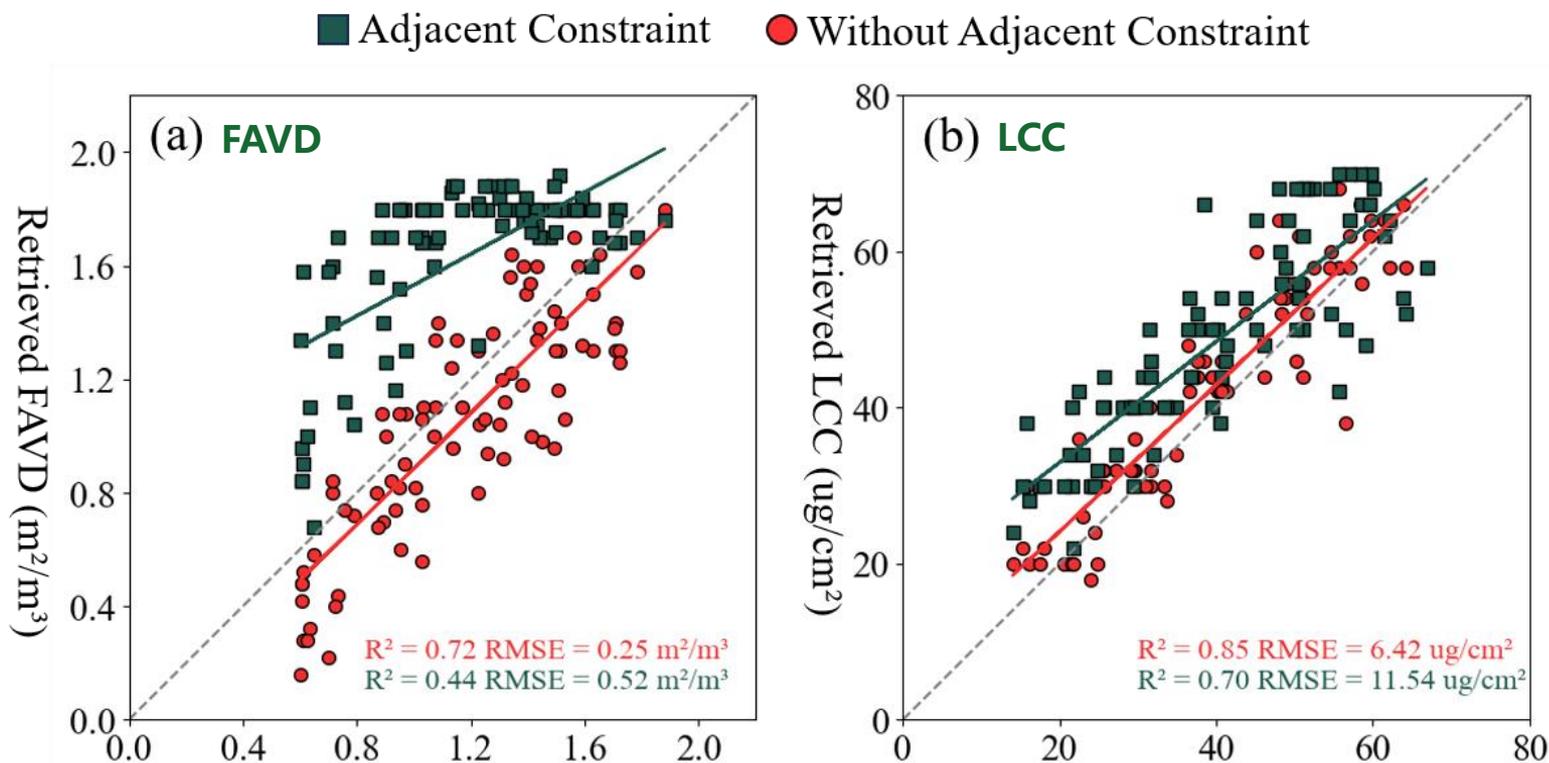
### ■ UAV实测单木BRF vs 虚拟重建场景的LESS模拟单木BRF

✓ 虚拟重建场景的LESS模拟单木BRF与UAV实测BRF有**相似的甚至更宽分布**



### ■ “带邻近几何约束”的反演 vs “无邻近几何约束”的反演

- ✓ 相对于无约束单木反演，FAVD精度有显著提高，LCC精度有较少提高
- ✓ 无邻近约束的反演存在明显高估问题，原因在于邻近散射的叠加作用
- ✓ LCC的反演精度高于FAVD反演精度，这是可以理解的



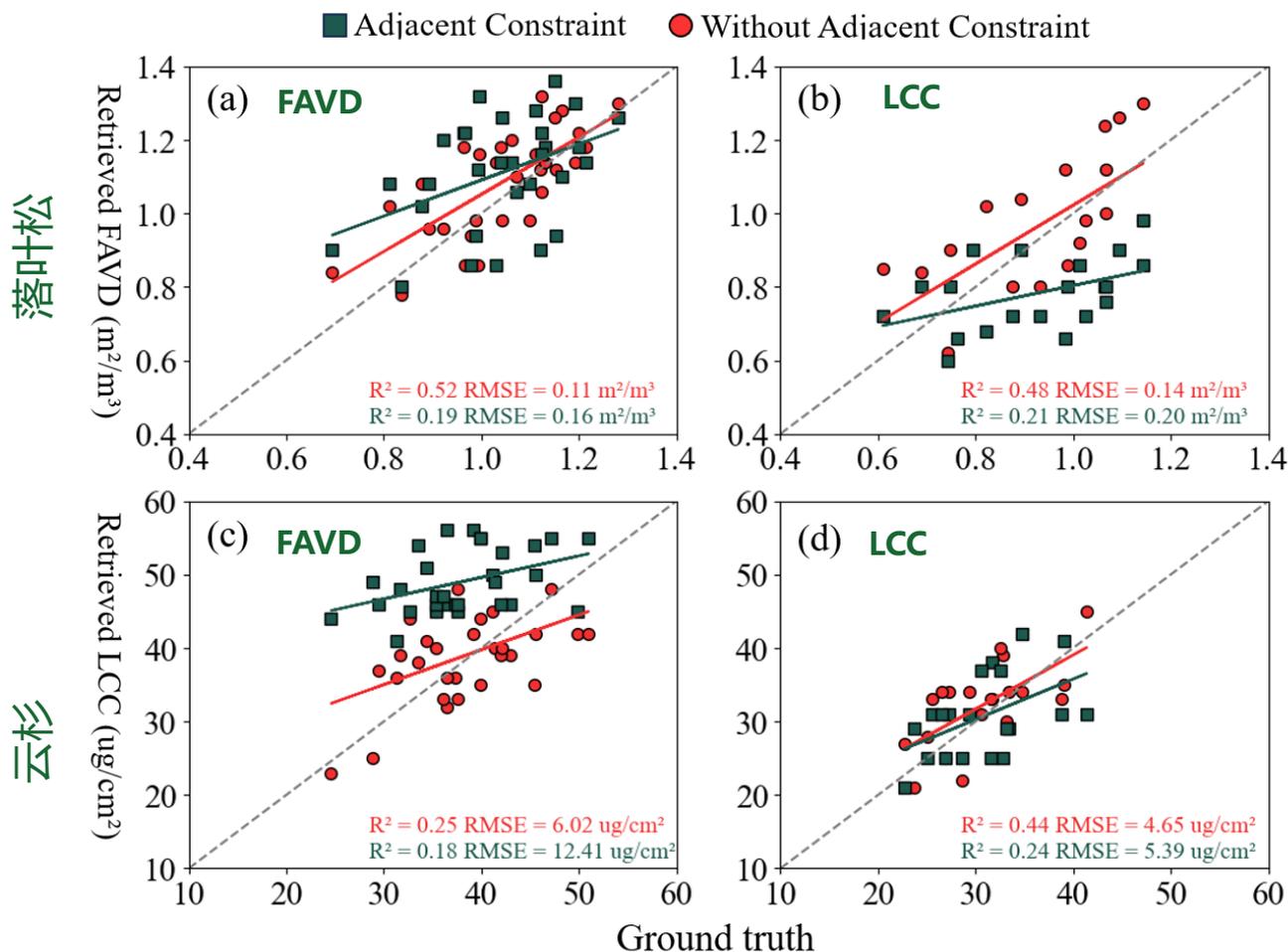
### ■ 单木性状反演评估

✓ 以落叶松与云杉为例

✓ 带邻近约束的FAVD与LCC反演精度更高

✓ FAVD的RMSE小于 $0.13 \text{ m}^{-1}$

✓ LCC的RMSE小于 $7 \text{ mg/m}^2$



## 面向“垂直层次遮挡”问题

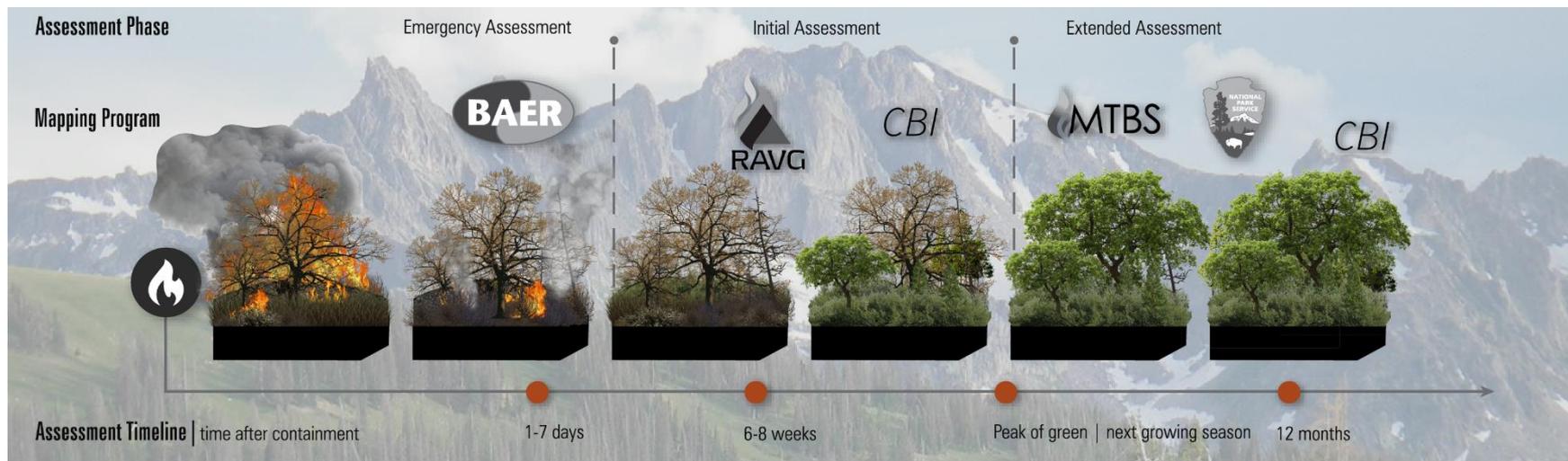
### 3. 联合卫星波形与光谱的森林分层燃烧烈度制图

## ■ 燃烧烈度 (burn severity) 对量化火灾对关键生态过程的影响十分关键

✓ 定义为相对于火灾前景观模式的结构和生化组分的变化

## ■ 燃烧烈度准确量化评估需要考虑多个地层中许多因素的平均条件

✓ 由于燃料特性、天气条件和地形之间的复杂相互作用，不同森林地层的燃烧严重程度存在显著差异



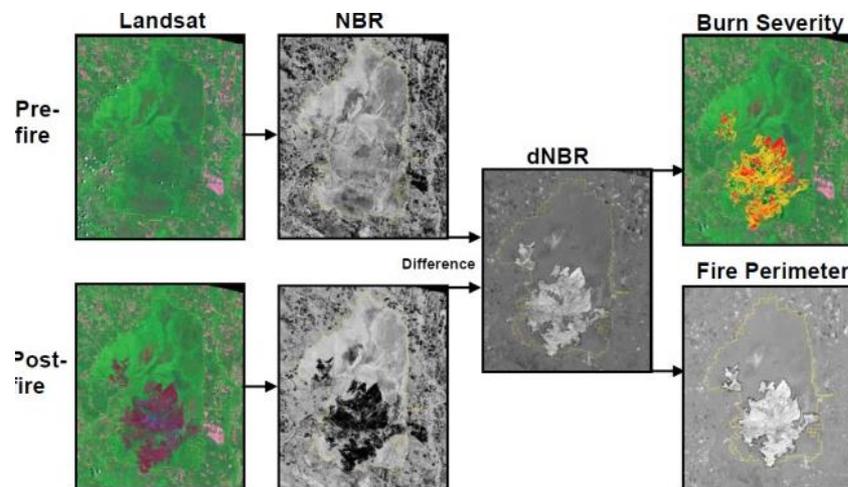
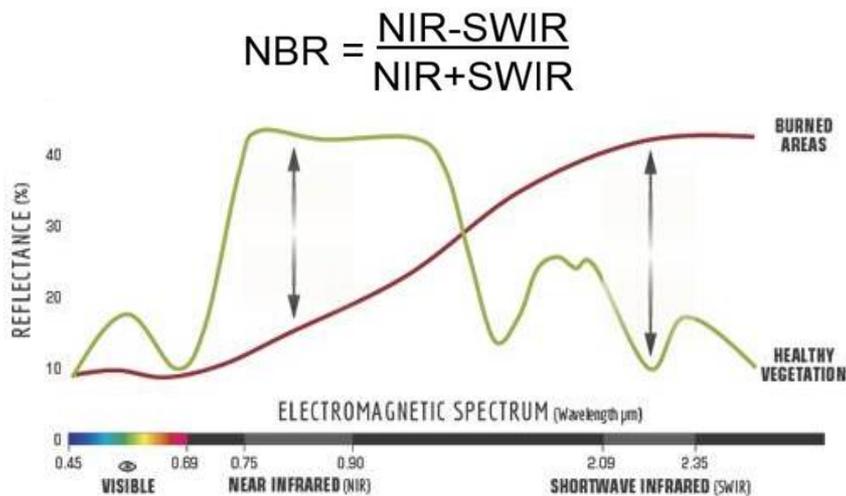
### 3 当前森林分层燃烧烈度的关键问题

#### ■ 地面现场调查的综合火灾指数（CBI）存在较多主观性，且范围有限

- ✓ 根据5个林层的半定量视觉解释计算，通过考虑火灾对生态系统的综合影响和火灾后恢复，能够最全面地评估火灾严重程度

#### ■ 光学遥感难以良好表征森林分层特征，且反射率易受外部因素影响

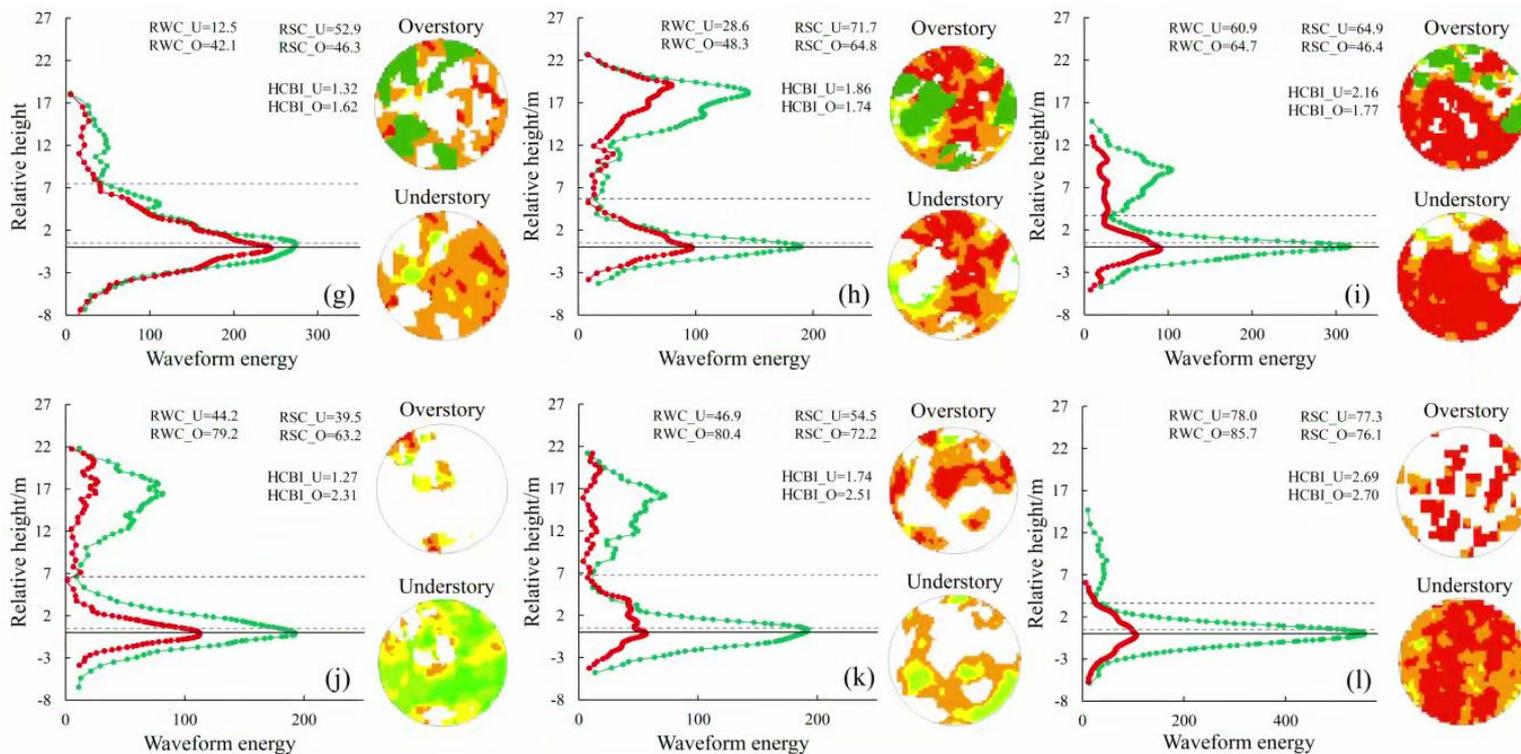
- ✓ 被动光学影像本质上是将三维信息压缩到二维空间，层次之间存在强遮挡



## ■ 量化波形与光谱变化

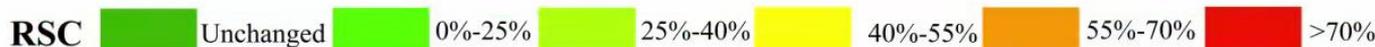
**波形变化**  $RWC_i = \frac{CE_{pre} - CE_{post}}{CE_{pre}}$

**光谱变化**  $RSC_i = \frac{MSAVI_{pre} - MSAVI_{post}}{MSAVI_{pre}}$



GEDI

WV-2



### 3 森林分层燃烧烈度量化指数HCBI

#### ■ HCBI分层的燃烧烈度等级评分表

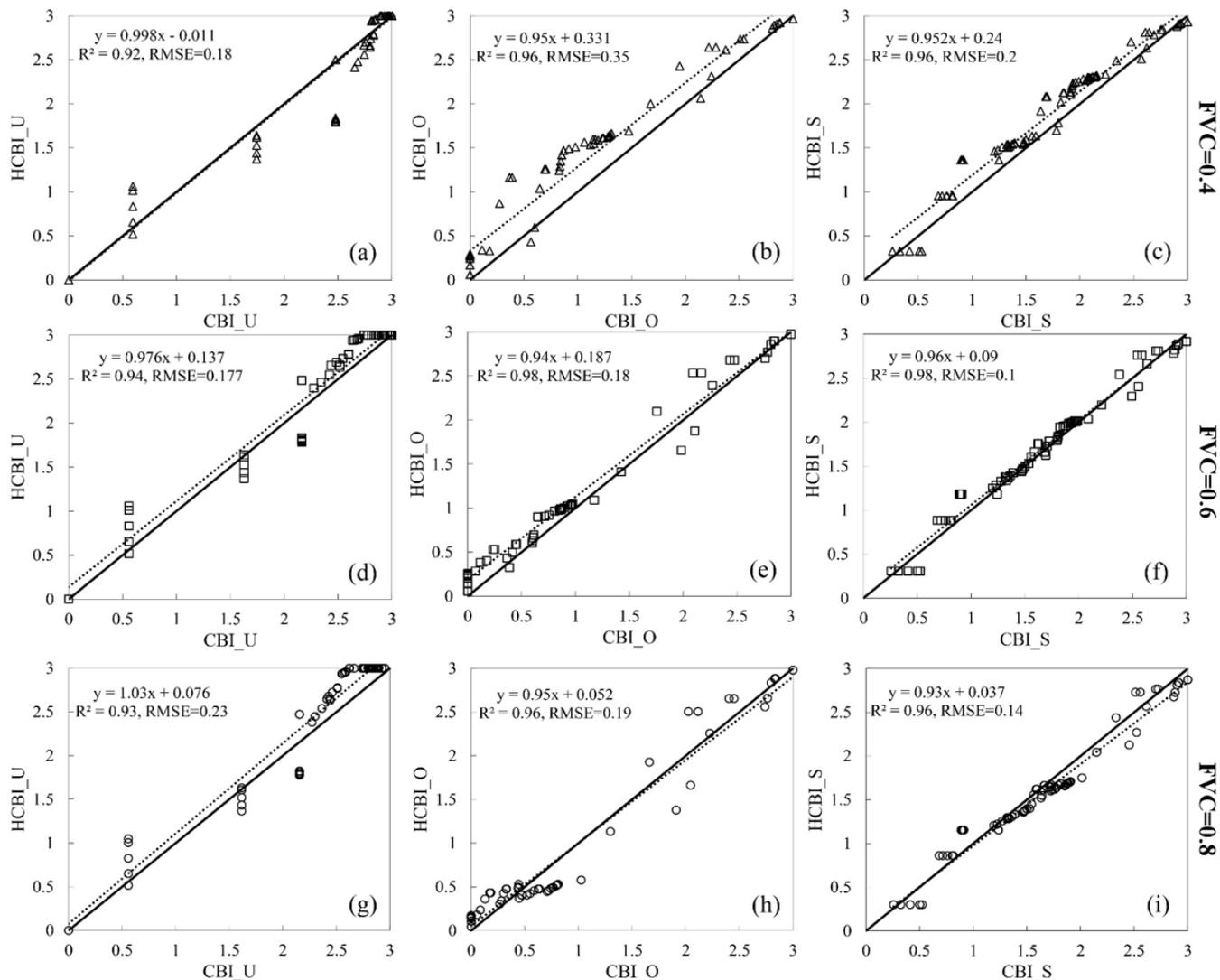
$$HCBI_i = (Score_{RSC_i} + Score_{RWC_i})$$

STRATA	BURN SEVERITY SCALE						
	Unburned	Low		Moderate		High	
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
<b>A Understory</b>							
<b>RWC</b>	Unchanged	17%	36%	50%	65%	82%	>90%
<b>RSC</b>	Unchanged	9%	16%	25%	38%	55%	>70%
<b>B Overstory</b>							
<b>RWC</b>	Unchanged	20%	38%	53%	67%	80%	>90%
<b>RSC</b>	Unchanged	20%	33%	46%	60%	72%	>85%

### 3 森林分层HCBI与地面观测CBI的一致性

#### ■ 基于仿真数据的评估

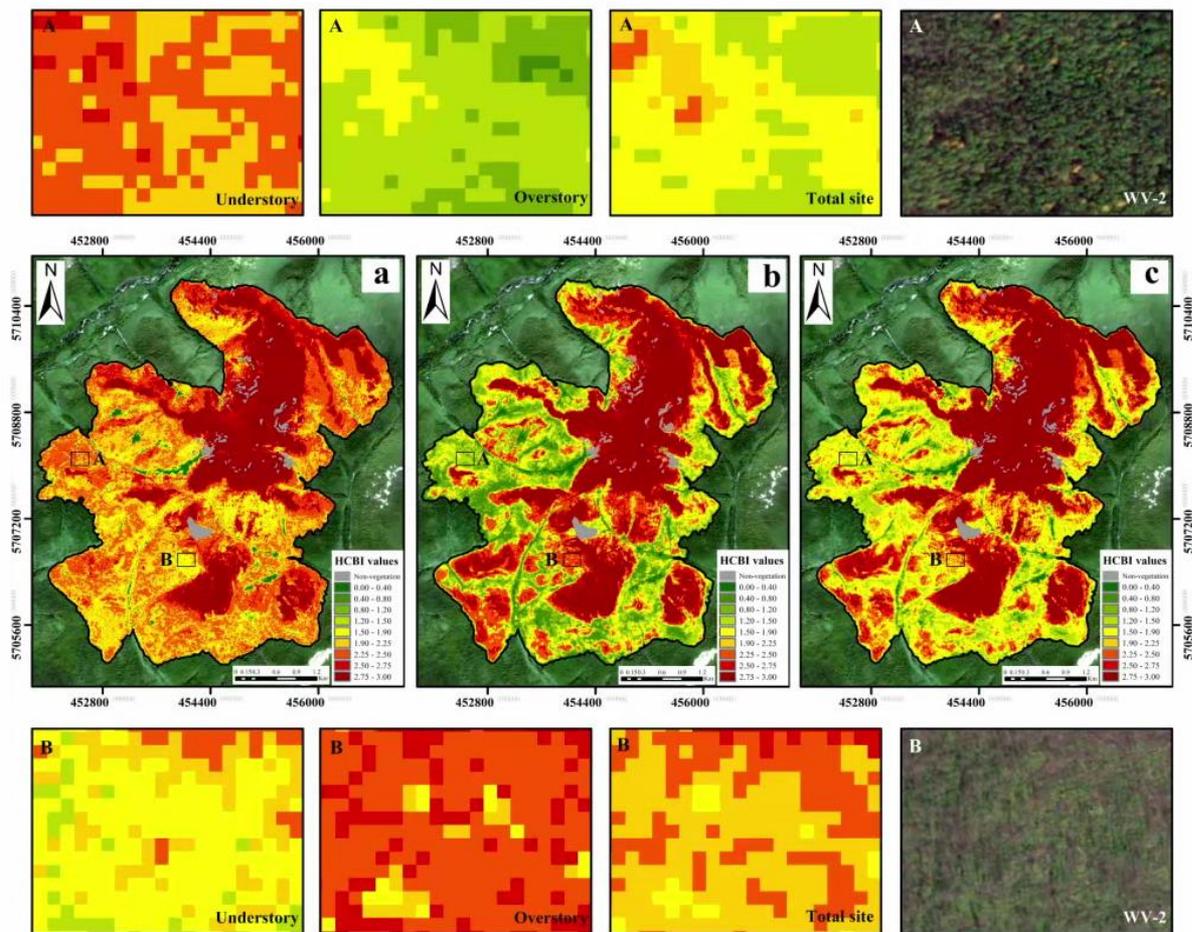
✓ 在三种冠层覆盖情景中，HCBI与CBI在林分水平的R<sup>2</sup>值最高，其次是林上层和林下层，其 R<sup>2</sup>>0.92，RMSE<0.35



### 3 大兴安岭地区某2019年火灾区域的1年后燃烧烈度评估

- ✓ 火烧迹地大部分地区为高烧伤严重程度，HCBI大于2.25，特别是在高海拔，平缓坡和火灾前植被类型的灌木/草的情况下。这是因为这些因素通常会促进风和火的蔓延。

- ✓ 除了这些高度烧伤的区域外，总体而言，与林上相比，林下的烧伤严重程度更高。但是，也有一些区域的 HCBI 在林下低于林上。



# 总结

- ✓ 光谱反演森林生理变量反演受到林分结构的影响主要在于三个方面
- ✓ 激光雷达获取的林分结构信息作为约束条件，可提升光谱遥感生理变量反演精度
- ✓ 充分利用激光雷达与光谱融合数据是提升各自应用能力的关键



北京林业大学

# 感谢您的倾听! 提问?

李林源

<http://www.rs-lilinyuan.com/>

