

**ID.59257: 服务于森林可持续经营的基于卫星数据融合的森林参数与毁林制图**

欧洲 PI: **Johan Fransson**, 瑞典农业科学大学森林资源管理系

中国 PI: **张晓丽**教授, 北京林业大学林学院

欧洲调查人员: **Langning Huo, Henrik Persson, Eva Lindberg, Ivan Huuva**

中国调查人员: **张凝, 王月婷, 李霓雯, 柴国奇, 雷令婷, 陈龙, 贾翔, 姚宗琦**

森林在地球生态系统中起着至关重要的作用, 并对环境产生强烈的影响。在全球气候变化的威胁下, 遥感技术为更好地了解森林生态系统、早期发现森林虫害以及快速和持续监测森林灾害提供了信息。本项目涉及生态系统专题, 并涵盖子专题森林质量参数的协同估计和森林和草原灾害监测。目的是研究和探索多源遥感技术在森林参数提取、森林灾害监测及其归因方面的应用, 特别是卫星影像、无人机 LiDAR 和高光谱影像数据融合。研究内容主要包括树种分类、森林参数估计和森林虫害检测。

#### 1. 已开展的工作:

通过 ESA 和中国科技部申请并获取了卫星影像, 包括 RADARSAT-2、WorldView、Sentinel 和 Gaofeng 系列数据。这些数据覆盖中国和瑞典多个研究区, 包括中国的高峰、烟台、抚顺、六安、旺业甸、根河和普洱以及瑞典的雷宁斯托普; 针对不同研究内容, 开展了高峰、抚顺、六安和雷宁斯托普的野外调查工作; 此外, 结合获取的无人机多光谱、高光谱和 LiDAR 数据开展相关研究。

##### (1) 卫星数据:

中国研究区域的卫星数据为:

- RADARSAT-2, 1 景覆盖抚顺, 1 景覆盖清远。
- Sentinel-1, 2019 - 2021 年覆盖高峰、旺业甸的时间序列数据。
- Sentinel-2, 2019 - 2021 年覆盖高峰、六安、旺业甸、根河和普洱的无云时间序列数据。
- GF-1/2/6, 2020 - 2021 年覆盖高峰、根河和普洱的 295 景数据。

瑞典雷宁斯托普的卫星数据为:

- WorldView-3, 1 景 SWIR 影像 (2021 年 6 月)
- Sentinel-2, 2018 - 2021 年的时间序列无云数据。

- RADARSAT-2, 2020 和 2021 年各 1 景。
- Pleiades, 1 景 2021 年 4 月 29 日的影像。

(2) 调查数据:

- 开展了高峰研究区森林参数的野外调查, 获得了胸径 (>5cm)、树高、枝下高和样地坐标等数据。

- 采集了抚顺、六安研究区松材线虫受害森林不同阶段的受害木和健康树木的光谱信息。

- 更新了雷宁斯托普研究区样地的森林信息。进行了云杉小蠹虫染病的对照实验, 并记录了染病林木的症状信息。

(3) 技术进展:

- 树种分类: 利用无人机高光谱数据, 提出了改进的原型网络 (IPrNet)、原型网络结合注意力机制的 CBAM-P-Net 模型和结合数据增强策略的 Proto-MaxUp+CBAM-P-Net 模型 3 个深度学习模型; 利用无人机 LiDAR 和 RGB 影像, 开发了基于注意力机制、边缘检测和区域的实例分割算法: ACE R-CNN, 实现了单木树种准确识别, 在高峰研究区证明了这些模型的良好性能。发展了基于多时相 Sentinel-2 数据的树种分类方法与单时相数据分类效果进行对比, 在雷宁斯托普验证了性能。

- 森林参数提取: 利用无人机倾斜摄影数据, 提出了基于冠层属性的均值漂移单木树冠分割方法, 并开发了融合多维特征的单木生物量估算模型, 在高峰研究区具有良好表现。提出结合 ZY-3 立体影像和 DEM 自动提取高空间分辨率树高产品的方法, 并开发了树高结合 Sentinel-2 数据的森林地上生物量估算模型, 在旺业甸研究区获得了准确的森林地上生物量分布图。在瑞典南部一个实验区, 利用 RADARSAT-2 和 TerraSAR-X 获取的 C 波段、X 波段的极化合成孔径雷达 (PolSAR) 数据研究了偏振极化分解方法及其在估测森林地上生物量的应用潜力。此外, 还探索了使用时间序列 TanDEM-X 相位高度数据来监测森林生长的潜力, 提出了一种疏伐和清砍相位高度定量方法以用于检测森林造林。

- 森林生物干扰检测: 针对油松毛虫 (*D. tabulaeformis*), 提出了一种基于无人机高光谱影像与 RGB 影像相结合的光谱空间分类框架, 以实现更详细的分类和受害木树冠的自动提取。对于松材线虫 (*Bursaphelenchus xylophilus*), 分析了

威海和抚顺研究区赤松和红松在不同感病阶段的光谱特征和生理参数变化，通过光谱降维得到了可用于感病检测的敏感波段并构建了检测模型，为识别松材线虫病感染阶段提供有效方法。对于欧洲云杉小蠹虫 (*Ips typographus* [L.]) 虫害，提出了基于多光谱无人机数据的早期识别方法，还对比了 Sentinel-2 影像及 WorldView-3 SWIR 影像对早期感病症状的敏感程度。

#### (4) 合作研究

- 联合培养 1 名博士研究生。
- 以合作发表 2 篇学术论文，1 篇在《*Ecological Indicators*》发表、1 篇会议论文 (IGARSS 2022)，此外还有 1 篇正在撰写。

## 2. 下一步计划:

### (1) 数据获取:

申请覆盖旺业甸、威海、根河、普洱研究区的 TanDEM-X 数据，以及覆盖高峰、抚顺、根河和普洱的 WorldView-3 数据。计划获取覆盖雷宁斯托普的无人机多光谱和高光谱影像以及林木感病地面监测数据。

### (2) 研究内容:

- 树种分类方面: 利用获取的 WorldView-3 和 Sentinel-2 影像，进一步探索单木-林分尺度树种分类深度学习模型。
- 森林参数提取部分: 探索结合卫星影像和 LiDAR 数据的树冠提取方法，并进一步结合 Sentinel-1 SAR 数据开展区域生物量动态监测。开发一种基于 RADARSAT-2 影像的区域森林生物量变化检测方法。
- 森林生物干扰检测方面: 利用已获取的无人机高光谱数据，进一步探索松材线虫病早期识别方法。研究基于无人机多光谱、高光谱数据的云杉小蠹虫害早期识别方法。

### (3) 合作计划:

- 联合培养博士研究生 1~2 名。
- 合作研究和出版论文 2~3 篇。
- 联合举办融合多模态遥感数据的森林参数与毁林制图国际暑期学校 1 次。