

# CEFO 项目第三年度进展（中欧森林观测）

庞勇<sup>1,2</sup>, Juan Suárez<sup>4</sup>, James Hitchcock<sup>4</sup>, Gerrard English<sup>4</sup>, 杜黎明<sup>1,2</sup>, 英文<sup>1,2</sup>, Antony Walker<sup>4</sup>, Jacqueline Rosette<sup>3</sup>, 李增元<sup>1,2</sup>, 李世明<sup>1,2</sup>, 蒙诗栋<sup>1,2</sup>, 牛晓栋<sup>1,2</sup>, 余涛<sup>1,2</sup>, 梁晓军<sup>1,2</sup>, 闫明<sup>1,2</sup>, 吕倩<sup>1,2</sup>

1. 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091, 中国;
2. 国家林业和草原局林业遥感与信息系统重点实验室, 北京 100091, 中国;
3. Global Environmental Modelling and Earth Observation (GEMEO), Department of Geography, Swansea University, Swansea SA2 8PP, UK
4. Forest Research, Northern Research Station, Roslin, Midlothian EH25 9SY, Scotland, UK

## 摘要:

CEFO 项目第三年的进展如下:

### 1. 系统集成、多源激光雷达数据采集及其应用

我们设计并集成了一种新型机载系统, 该系统将商用波形激光雷达、热成像相机、CCD 相机和高光谱传感器集成到一个通用平台(CAF-LiTCHy)中。在此基础上, 基于该系统对普洱研究区的航空数据进行了采集, 并对各传感器获取的数据进行处理, 为进一步的数据分析提供基础。同时, 项目综合利用机载激光雷达、无人机和移动激光扫描调查产生的融合点云实现了森林清查。该方法结合生长模型、激光雷达点云分析、公共区域的小斑数据库和国家森林调查地图相结合用于私有森林。全国各地的样地都使用了无人机和移动激光扫描的来验证估计值, 阔叶树的 $R^2$ 在0.7-0.9之间, 针叶树在0.95以上。激光雷达调查的时间序列和无人机数据也被用于验证模型估计产量在时间上的增长。同时, 项目还采用GeoSlam对一些样地进行了扫描, 并对点云进行了分析, 以产生DBH和树干剖面的估计值。

### 2. 中欧卫星联合利用及中国陆地生态系统碳监测卫星数据处理

我们开发了一种考虑森林物候的无云遥感图像合成算法, 以及一种聚合多种土地覆盖产品的技术。该过程实现了普洱地区森林覆盖遥感的高精度制图, 开发了30 m分辨率的2000/2010/2020普洱森林覆盖产品。在无云影像的基础上, 利用Sentinel-2和GF-6数据、野外调查数据、航空数据和地形辅助数据, 估算了普洱市的植被覆盖度, 并进行了森林覆盖制图。为了实现森林高度和地形的测量, 对GF-7激光雷达和立体图像的应用潜力进行了评估, 并在普洱市进行了验证试验, 取得了较高的精度。为了初步评价波形激光雷达数据在复杂森林条件下的参数估计能力, 我们对普洱ALS数据进行了数据采集, 并对TECIS波形数据进行了筛选、预处理和参数提取。初步研究结果表明, 在SNR大于15时, 两轨数据ALS与TECIS数据一致性结果中,  $R^2$ 高于0.6, RMSE低于3.7 m。

### 3. 森林扰动、压力、灾害、干旱和通量监测

我们的研究采用了2015-2020年长期时间序列Landsat 8影像, 并利用连续变化检测和分类算法来检测普洱市地区的森林变化。通过对高分辨率图像和森林清查数据目视解译来评估该算法的准确性, 得出的总体精度超过88%。结果表明, 森林覆盖率的损失主要是由城市化、经济作物种植园和速生种植园的定期采伐造成的。同时, 项目提出了利用卫星遥感评估森林压力的方法。这方法采用时间序列的卫星图像来检测、量化和更好地理解英国气候和结构变

化造成的森林压力。植被指数的时间序列分析旨在消除系统噪声和历史趋势，并在像素尺度上阐述植被的物候循环模型。这些基于数据的模型用于检测与气候和结构变化相比较的新图像采集中的差异。一旦结合干旱或温度变化等气候影响，这些异常现象就被用作森林地区病害活动的指标。了解物种和品种对干旱的反应可以为未来向更耐旱的森林过渡提供信息。遥感提供了在多个空间尺度上无损监测植被健康的工具。为此，项目将锡特卡云杉放置在实验室的干旱环境中进行了八周的监测。结果表明，随着干旱的加剧，云杉表现色素的胁迫并失去了水分。不同品种之间的胁迫反应不同表明可以通过遥感可以检测到树种内的耐旱性。这项工作可以为未来的云杉育种计划提供信息，并有助于国家森林健康监测。基于普文森林通量塔的观测数据，计算了日净生态系统碳交换量(NEE)、蒸散(ET)和冠层绿度指数(GI)。我们发现热带常绿阔叶林在2月、3月和4月是一个碳汇。在这三个月中，4月份的冠层绿度指数、光合有效辐射和气温为最高，但碳汇较3月份有所减弱。可能是四月的干旱降低了总初级生产力造成的。

#### 4、基于多源激光雷达的森林林隙识别和地上生物量计算

将激光雷达生物量指数(LBI)应用于普洱市思茅松物种。在野外样地采集地面激光扫描数据和航空激光扫描数据，从单株水平到林分水平对森林地上生物量进行精确估算。利用TLS数据建立的模型， $R^2$ 为0.61，RMSE为27.04 kg。ALS数据模型的 $R^2$ 为0.83，RMSE为15.68 kg。此外，利用无人机激光雷达的点云数据导出CHM影像，并采用固定阈值法对CHM影像进行识别。利用目视解译的参考数据对林隙识别的精度进行评价。固定阈值法总体精度为92%，间隙空间分布呈聚集性。无人机激光雷达林隙信息可用于大面积GF-7卫星影像林隙的精度评估和验证。