

生态遥感在森林物候监测与环境质量评价领域的应用

王韵晟⁵, 宋妍^{1, 2, 3, 4*}, 王思佳¹, Mariana Batista Campos⁵, 孙杰^{1, 4}, Eetu Puttonen⁵

1. 中国地质大学（武汉），地理与信息工程学院，武汉 430074，中国
2. 中国地质大学（武汉），公共管理学院，武汉 430074，中国
3. 中国地质大学（武汉），地质探测与评估教育部重点实验室，武汉 430074，中国
4. 中国地质大学（武汉），GIS 工程中心，武汉 430074，中国
5. 芬兰国家测绘局地理空间信息研究所（FGI）

关键词：森林物候 近距离遥感 激光雷达 时间序列 生态环境质量 地理探测器 空间自相关 PCA RSEI

摘要：高空轨道卫星提供可覆盖全球的重复观测，因此具备大范围对地观测的潜力，在森林植被关键物候事件监测、生态系统环境监测等领域有广泛的应用。然而，受限于时间与空间分辨率的限制，遥感技术在对地观测应用中面临许多挑战。例如当前卫星影像数据难以直接反映关键物候事件的发生与发展过程。此外，使用不同方法间接估计生态指标往往得到差异甚远的估测结果，这为正确解释和理解物候变化与生态系统及气候变化之间的相关关系带来巨大的困难(Richardson et al., 2018; Berra et al., 2021)。总而言之，基于卫星影像的生态事件监测和研究需要可靠的地面参考数据，而相关地面物候事件观测参考信息的缺乏是目前领域内公认的主要瓶颈。

在森林物候监测领域，依据卫星观测评估物候事件如树叶的萌发与脱落的确切日期面临许多技术挑战，本研究旨在探索基于激光雷达高时空分辨率长期森林观测时序研究森林关键物候事件发生期间植被光照反射率的变化特征，并依据相关特征优化卫星物候事件监测精度的可行性。该研究借助由芬兰国家测绘局地理空间信息研究所（FGI）所建立的 LiPhe（激光雷达物候监测）平台及相关数据。2020 年 2 月，LiPhe 平台设立于芬兰拥有 111 年历史的国家实验森林区（Hyttiälä 61° 51' N, 24° 17' E）。LiPhe 平台主要包括一台 Riegl VZ-2000 地基激光雷达扫描仪（TLS），以及相关边缘计算和远程控制设施。扫描仪安装在 1995 年建立的 SMEAR II 气象观测塔上，距地面 30 米，扫描范围覆盖塔周大约 10 公顷面积的森林。自 2020 年 4 月起，扫描仪每半小时采集数据一次，不间断连续提供高空间分辨率（百米距离 1 厘米三维点距）点云数据。截至 2021 年 10 月，共获取一年半的高时空分辨率三维点云观测序列(Campos et al. 2021)。

本研究展示了相关数据作为准确物候地面观测参考数据，支持树木级物候变化机理研究以及优化卫星影像物候事件监测结果的重要潜力。借助机器学习方法，比较了基于 LiPhe 数据和卫星数据对于同一森林地区关键物候事件发生时间预期结果，并分析了影响物候事件发生时间预估的关键参数。相关比较揭示了由森林结构动态变化及其相关物理特性变化引发的森林光反射率变化特征，并演示了相关特征对于卫星光谱信息物候事件解译的优化作用。

在生态环境质量评价领域，学者们深入研究得以获悉地面生态系统复杂多样的特性，简单地使用单一指标进行生态质量评价有着天然的缺陷。依靠着遥感数据的简单易得、大面积、多时相观测的优势，学者们提出多种综合生态遥感反演模型，耦合多种生态指标反映生态环境质量。其中徐涵秋提出的 RSEI 模型耦合绿色度、湿度、热度、干度四个指标，并利用主成分分析法自适应性地确定指标权重，排除了层次分析法（AHP）专家经验确认权重的主观因素过强的风险，在生态遥感领域有着广泛的应用，本文基于 RSEI 模型研究山西省在 2013-

* 通讯作者

2019 七年的生态环境质量。具体地,通过 Google Earth Engine(GEE)云平台编码得到 2013-2019 年冬季 RSEI 结果,并研究山西省冬季的生态环境的时空分异特征,实验过程大部分基于 GEE 云平台,对山西省、乃至全国的生态环境保护都有着重要的研究意义。