# 无人机验证卫星产品尺度转换研究以及基于辐射传输模型的冠层指标反演

张永军 [1], Jadunandan Dash [2], 唐虎 [1], 郭雪蕊 [2,3], 龚龑 [1], Booker Ogutu[2],方圣辉 [1],Harry Morris[4,2], 李彦胜 [1],Luke A. Brown[5,2], Gareth Roberts[2], Niall Origo[4], Joanne Nightingale[4], 李成秀 [7,2], 张洪艳 [6]

[1]武汉大学遥感信息工程学院，中国，武汉

[2]南安普敦大学地理与环境科学学院，英国，南安普顿

[3]于利息研究中心地球生物所 3，德国，于利息

[4]国家物理实验室，英国，特丁顿，汉普顿路

[5]索尔福德大学环境学院，英国，索尔福德

[6]武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室，中国，武汉

[7]清华大学地球系统科学系，中国，北京

叶面积指数（LAI）是大区域碳、水循环、气候等定量化研究模型中的重要参数，验证叶面积指数（LAI）产品在地球观测中的准确性和可靠性是当前遥感科学领域面临的重要挑战。地面测量数据作为“真值” ，是遥感产品验证过程的重要指标。基于地面实测点的直接验证方法往往需要地面大范围的匀质地物与卫星产品像元进行对应，但在实际遥感观测及应用中，大面积的匀质地物目标测量点往往很难找到，因此，如何在地表地物不均一的条件下对于卫星产品验证是需要解决的问题。而另一方面，定量遥感产品反演模型都是建立在一定空间尺度效应上的，地面与卫星的尺度同样会影响 LAI 产品的质量，并且这些数据的不确定性会在验证过程中传递给待检验的 LAI 产品。

无人机影像具有较高分辨率和较灵活的重访周期，被认为是有力的可以替代地面采集的验证工具，然而基于无人机影像的 LAI 制图通常是由加强光谱特征的植被指数建立的经验模型，并未考虑复杂冠层的辐射机理。另一方面，Sentinel-2 卫星和高分 6 号卫星的 LAI 产品和反演都有加入辐射传输的模块，不同平台的差异反演也为 LAI 验证贡献了不稳定性。

本研究分别对于 LAI 产品验证的尺度转换和基于辐射传输模型的无人机尺度的 LAI 反演进行实验。在产品验证方法上，我们将地面测量“点”数据和预计植被指数的无人机 LAI“面”数据分别与 Sentinel-2 卫星像元尺度进行对应，从而验证地面数据和无人机数据与卫星产品在尺度上的一致性。在尺度转换上，我们比较了基于植被指数的无人机 LAI 地图升尺度到 10m 的三种方法，即区域均值法，点扩散函数（PSF）法，和结合了前两者的点扩散函数改进模型（PSFI），验证由 Sentinel-2 反演得到的 LAI 产品，并与传统的直接比较卫星 LAI 反演结果和地面测量验证方法进行对比。在基于无人机的冠层指标反演

中，我们结合辐射传输模型 PROSAIL 的查找表的方法对高分辨率的无人机影像进行逐像元 LAI 反演，并与先前基于植被指数的预估结果作比较

结果显示，无人机升尺度到 10m 的 LAI 地图相较于传统地面测量，与卫星的 LAI 产品具有更好的一致性，$R^2$ 由 0.55 升为 0.64，RMSE 由 0.49 降为 0.44，在 15%误差以内像元的数量由 56.6%升为 60.9%，证明了无人机基于植被指数反演的 LAI 地图作为真值验证其他卫星产品，如 Gaofen-6 的可能性。相较于基于植被指数的 LAI 反演，利用辐射传输模型在较低 LAI 时（0<LAI<2）有较高的精度，$R^2$ 为 0.63，RMSE 为 0.48。但对密集森林的 LAI 预估有明显低估，原因是我们用实测 LAI 的范围来限制查找表的生成，导致混合林中较高 LAI 的像元被忽视。

在后续研究中，我们将更加着重于无人机 LAI 产品在时间上与卫星产品的一致性检验，探索无人机 LAI 产品验证其他 LAI 产品的可能性。并研究如何限制辐射传输模型用于 LAI 反演。