

基于对抗迁移学习和近红外光谱预测不同物理形态和树种的 纸浆原料组分含量

张哲宇 李耀翔* 彭润东 刘晓利 钟浩 源达 王子纯

(东北林业大学机电工程学院哈尔滨 150040)

摘 要:【目的】探索对抗迁移学习策略结合近红外光谱(NIRS)分析技术在纸浆原料组分(抽提物, Klason 木质素和综纤维素)含量快速检测中应用的可行性。【方法】本研究选取代表性的 4 种常用制浆材为研究对象, 包括 2 种针叶木制浆材(云杉, 樟子松)和 2 种阔叶木制浆材(加杨, 毛白杨)。对 4 种制浆材 2 种物理形态(木块, 木粉)下的 3 种化学组分共 423 个样品组成的 NIRS 数据集进行波段分析、光谱预处理和样本集划分, 分别建立各数据集的优化偏最小二乘回归(PLSR)校正模型和一维残差网络(1D-Resnet)模型。将各 NIRS 数据集按不同物理形态和树种进行成对排列组合, 共组成 24 个数据集分组。令各分组中的数据集互为源域和目标域, 分别采用斜率/截距校正算法(SBC)、分段直接校正算法(PDS)、迁移成分分析(TCA)、测地线流式核法(GFK)、微调(Fine-tuning)域对抗神经网络(DANN)、域分离网络(DSN)和动态分布适配网络(DAAN)共 8 种方法进行模型迁移并对比了预测效果。【结果】对抗迁移学习方法(DANN, DSN, DAAN)不仅消除了木块和木粉光谱数据源(即域)之间的差异, 还在跨树种域适配方面获得了理想的预测结果, 而且迁移后模型的鲁棒性和稳定性在 24 个实验分组中均远超传统的模型传递(SBC, PDS)和迁移学习(TCA, GFK, Fine-tuning)方法。【结论】本研究引入的对抗迁移学习 NIR 模型可以有效适应多形态, 多物种的纸浆原料光谱数据, 能最大限度地降低生产成本, 提高制浆效率, 并具有扩展到其他原料属性光谱检测和反演的潜力。

关键词: 纸浆原料组分; 近红外光谱; 迁移学习; 域适配; 模型传递