

草地退化驱动因素识别及其复杂关系解译-以锡林郭勒盟为例

巴图娜存¹, 孙斌², 长安¹, 萨楚拉¹, 包玉海¹, 包山虎¹, 胡云锋³, 玉山¹, 朝莉雅¹, 永梅¹, 包正义¹, 王亚欣²

¹ 内蒙古师范大学

² 中国林业科学研究院资源信息研究所

³ 中国科学院地理科学与资源研究所

过去 20 年来, 人工智能领域的技术进步给地理空间相关领域研究的智能化发展和融合创新带来了新机遇和新挑战, 特别是深度学习模型和开发框架的不断涌现及其在专业领域的应用促使了地理空间人工智能 (Geospatial Artificial Intelligence, GeoAI) 迅速发展。

然而, GeoAI 的发展面临两个重要困扰: 模型的可解释性较弱和解释结果的验证不足。首先, 传统“黑盒子”模型在应用于解决地球系统科学、人文社会科学领域的地理空间推断、预测等问题时, 则面临决策过程不透明、不可解释等难题; 其次, 可解释的人工智能技术的迅猛发展逐步弥补了 AI 不可解释的缺陷, 但对可解释结果的验证和评估提出了新的挑战, 由此也严重影响了模型的可信赖程度。因此, 推动传统黑箱模型的可解释性, 强调解释结果的评估, 将可以增强地理事件与现象的因果分析水平, 提升人类对地理问题的认识、模拟和预测能力。

草地退化关键驱动因素的识别及解译是草地退化/恢复过程中的关键性研究问题, 而本研究聚焦于应用现代数理统计方法和现代人工智能技术, 开展草地驱动因素识别和驱动机理阐释研究, 对于干旱半干旱区域草地恢复和可持续发展至关重要。本研究旨在全面且系统地理解蒙古高原土地退化的过程及其决定因素。综合考虑锡林郭勒盟广阔的草原覆盖, 以及该地区经历了中国实施的几乎所有生态政策, 本研究选择锡林郭勒作为典型研究区, 识别解译该区域引起草地退化的关键驱动因素, 并对草地退化和关键驱动因素的复杂关系进行深入研究。

基于旗县尺度的引起草地退化的关键驱动因素为: 第一研究时段 (1980-2000 年), 土地退化成为主要锡林郭勒盟的首要土地利用变化过程, 占总面积的 11.4%。在这一时段, 人类活动是研究区内八个旗县退化的主要原因; 水资源状况研究区六个旗县草地退化的关键驱动因素。第二阶段 (2000-2015 年), 土地恢复面积增加 (占总面积的 12.0%), 尽管退化仍在继续, 导致又有 9.5% 的土地退化。在这一研究时段, 城市化是研究区七个旗县土地退化的首要驱动因素, 2000 年后人类干扰和水资源对于草地退化的影响减少。

确定退化的主要驱动因素后, 耦合人工智能方法和可解释的人工智能模型, 可视化、定量化展示、厘清驱动因素与草原退化之间的复杂关系。基于像元尺度的研究结果显示, 距离高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地和牲畜密度是导致草原退化动态的关键因素。且研究区优质草地区域面临更高的退化风险。

本研究采用偏序理论和哈斯图技术, 充分考虑驱动因素的整体性、协同性等特征, 识别研究区不同研究时段内土地利用变化主导驱动因素, 构建基于多指标比较模型的关键驱动因素识别框架; 其次, 应用可解释的人工智能技术, 通过构建用于破解黑箱模型的多级模型解释器, 充分理解黑箱模型“输入 (驱动因素) → 输出 (土地利用变化)”之间的逻辑决策过程, 总结土地利用变化和驱动因素之间的非线性响应模式, 从局部和全局尺度理解研究区土地利用变化的驱动机理。