

遥感与 GIS 支撑下高寒牧区牧草监测及放牧决策系统构建研究

程玉雪

西藏民族大学财经学院, 陕西 咸阳 712082

摘要: 西藏草原面积在全区国土中占到 68% 以上, 是高原畜牧业最重要的资源之一, 不过由于高寒缺氧、地形条件较为复杂等限制, 传统的牧草监测一直主要依靠人工调查, 这种方式往往效率偏低、覆盖范围有限, 而且更新也容易滞后, 同时现有的遥感模型多是针对温性草原区开展的研究, 对西藏高寒牧区缺少更有针对性的专门反演方法, 放牧管理也长期停留在静态核算这一层面, 很难对精准决策形成有效支撑。本文以“遥感+GIS”技术为主要核心, 按照规范学术论文的基本写作结构, 系统说明高寒牧区牧草监测的现状与现实需求, 并构建一个以多源遥感数据为基础、以 GIS 空间分析为支撑、以机器学习反演为驱动的牧草监测与放牧决策框架, 围绕数据采集与治理、牧草长势反演建模、放牧决策优化、系统开发与验证等关键路径展开研究, 在此基础上提出面向示范区落地应用的技术体系与保障措施, 目标是为高寒牧区草畜平衡的精准调控以及草地的可持续利用提供一定的理论与实践支撑。

关键词: 高寒牧区; 牧草监测; 遥感反演; GIS; 放牧决策系统; 草畜平衡

DOI: 10.64649/yh.shfzykjcx.issn3078-8994.202608002

1 绪论

1.1 研究背景与意义

青藏高原是我国三大草原畜牧业区域之一, 西藏草原面积大约占全区国土面积的 68%, 高寒草地既是高原畜牧业最重要的生产资料之一, 也在水源涵养、碳汇维持、生物多样性保护等方面承担着较为关键的生态功能, 但由于高寒缺氧、地形条件复杂、交通不便等自然因素的限制, 传统的牧草监测长期主要依靠地面人工调查和样方采样, 这种方式在实际操作中容易出现效率偏低、覆盖范围有限、数据更新不够及时等明显问题, 因此很难适应大规模、高频次和高精度的监测需求。与此同时, 放牧管理在较长时间里仍停留在静态载畜量核算这一层面, 对牧草长势的时空变化、草地承载力的年际波动以及放牧强度的空间分布缺少较为准确的把握, 草畜失衡、局部超载过牧等现象依然比较突出。随着遥感与 GIS 技术的快速发展, 在高寒牧区开展大范围、多时相、低成本的牧草监测在技术上有了实现的条件, 因此, 构建适用于高寒牧区的牧草长势遥感反演模型与放牧辅助决策系统, 对推动牧区从“经验放牧”向“数据放牧”转变, 并实现草畜平衡的精准调控, 仍具有重要的工程价值和现实意义。

1.2 国内外研究综述

国外在草地遥感监测领域起步较早, 基于 MODIS、Landsat 等卫星数据构建了成熟的植被指数反演体系, 在牧草生物量估算、覆盖度监测、草地退化评估等方面形成系统化方法与业务化

标准。国内近年来围绕高寒草地遥感监测开展大量研究, 在植被指数优选、机器学习反演、多源数据融合等方面取得明显进展: 如利用 HJ-1A/1B 多光谱数据建立高寒草地牧草生物量与粗蛋白含量的动态监测模型; 融合 Sentinel-1 微波与 Sentinel-2 光学数据, 结合极端梯度提升、随机森林等算法估算青藏高原草地生物量, 多源融合模型 R^2 达 0.87; 基于 PROSAIL 辐射传输模型与高斯过程回归的混合反演方法, 实现牧草氮素含量大尺度监测。然而, 现有研究仍存三点不足: 多数模型基于温性草原构建, 对西藏高寒牧区的光谱特征与植被适应性考虑不足; 监测与决策环节脱节, 反演成果难以转化为放牧管理指令; 缺乏轻量化、可落地系统, 基层推广应用困难。本文以此为切入点, 构建从监测到决策的一体化技术体系。

2 高寒牧区牧草监测现状与系统需求

2.1 传统牧草监测的特征与现实短板

传统的牧草监测主要还是依靠地面样方调查、人工目视估产和经验推算, 管理流程大多是“样方布设—野外采样—实验室分析—数据汇总—经验判断”这种线性、低频的方式。这个模式的短板比较明显, 第一是监测效率偏低, 高寒牧区交通条件不理想, 样方到达难度大, 一次调查往往周期较长, 人力投入也偏高, 其次是空间覆盖明显不够, 样方数量有限, 很难体现大范围草地的空间异质性, 特别是在地形破碎的区域, 监测盲区更为突出, 第三是时间分辨率很低, 年际、季节甚至月度层面的动态

变化难以被有效捕捉,数据更新常常滞后于草地的实际变化,第四是监测指标较为单一,更多集中在产量估算,对牧草品质(粗蛋白、氮素等)、退化程度以及放牧压力缺少综合性的评价。以上这些短板使得放牧管理的决策在很大程度上缺乏及时、准确和全面的数据支撑。

2.2 遥感与 GIS 支撑下的主动监测内涵与优势

遥感与 GIS 支持的主动牧草监测,通常以多源卫星遥感数据作为主要信息来源,以 GIS 空间分析作为处理平台,强调对牧草生长全过程进行动态跟踪、趋势判断与相对精准的评估。它的核心优势主要体现在四个方面:首先,监测范围较大,单景卫星影像往往可以覆盖数百到数千平方公里,从而在较大尺度上实现全域监测,减少盲区;其次,时间频率较高,Sentinel-2 等卫星的重访周期为 5 天,能够捕捉牧草生长季内更细的动态变化;第三,信息维度更丰富,多光谱、高光谱、雷达等多源数据可以用来反演生物量、覆盖度、氮素含量、水分状况等多维指标;第四,决策支撑能力较强,结合 GIS 空间分析,可以实现牧草长势的空间可视化,开展草畜平衡的网格化评估,并对放牧压力进行较为精准的预警,从而支持放牧管理由“静态核算”向“动态调控”转变。

2.3 系统构建的关键瓶颈

高寒牧区牧草监测与放牧决策系统的构建目前主要遇到三方面的关键障碍:首先是数据基础较弱,高寒牧区地面实测样本数量偏少,也缺少长期而系统的牧草物候和产量观测资料,从而对反演模型的训练与检验造成限制;其次是反演模型的针对性不够,现有的植被指数和反演算法多是按照温性草原或农作物的情境来设计,在高寒草甸这种植被稀疏、背景亮度较高的特殊条件下,适用性相对较差;第三是决策环节不易落地,遥感反演结果与放牧管理的实际需求之间缺少有效衔接,导致监测数据难以直接转化为载畜量建议、放牧强度预警等更具可操作性的管理指令。要突破这些问题,需要建立更适用于高寒牧区的专门反演方法,同时推动监测与决策的一体化技术体系建设。

3 牧草遥感监测模型与放牧决策系统构建

3.1 多源遥感数据采集与地面验证体系

数据是模型构建的基础,本研究搭建了“星—空—地”一体化的数据采集体系:在卫星遥感层面,以 Sentinel-2 多光谱数据(10m 分辨率、5 天重访周期)作为主要数据源,同时配合 Landsat 系列数据用于历史序列的补充与

构建;在无人机遥感层面,围绕示范区的关键样地开展多光谱无人机航拍,获取厘米级高分辨率影像,用于模型尺度的转换以及精度方面的验证;在地面验证层面,在示范区设置固定监测样地,对牧草生物量、覆盖度、株高、粗蛋白含量等参数进行季节性与年际的观测,以此为模型训练和精度评估提供“真值”数据,同时建立数据质量控制标准,对坐标基准、时相配准和辐射定标流程进行统一,保证多源数据在时空上的一致性与可比性。

3.2 高寒牧区牧草长势遥感反演模型构建

针对高寒牧区植被偏稀、土壤背景亮度较高、并且生长季较短等特殊条件,构建更适合高寒牧区使用的牧草长势遥感反演模型。在植被指数优选方面,首先对 NDVI、EVI、kNDVI、红边指数等常用指数在高寒草甸中的适用性进行较为系统的评估,再筛选出对高寒牧草生物量与覆盖度反应最敏感的指数组合。在反演算法方面,其次采用物理机制驱动与数据驱动相结合的混合建模思路,一方面利用 PROSAIL 辐射传输模型来模拟高寒牧草冠层的反射光谱,从而建立相应的先验知识库,另一方面用随机森林、极端梯度提升等机器学习算法构建统计反演模型,并结合地面实测数据开展训练与参数优化。在模型输出方面,完成示范区牧草地上生物量、植被覆盖度、牧草氮素含量这三项核心指标的空间反演与时间序列构建,同时引入 SHAP 方法分析关键遥感变量对反演结果的贡献,以增强模型的可解释性与生态学可信度。

3.3 放牧辅助决策系统架构与核心功能

放牧辅助决策系统总体上采用“数据层—模型层—应用层”的三层架构来设计,数据层将多源遥感反演产品、地面监测数据、基础地理数据以及历史管理数据整合在一起,用来建立示范区的牧草监测数据库;模型层主要是对牧草长势评估模型、草畜平衡计算模型、放牧压力预警模型这三类核心算法进行封装;应用层则是面向基层管理人员开发相对轻量的决策功能模块,主要包括:动态监测模块(牧草长势时空分布可视化、生长季动态追踪)、智能评估模块(草地承载力核算、草畜平衡状态诊断)、预警调控模块(超载过牧风险识别、放牧强度阈值告警、分区调控建议生成)。系统采用 WebGIS 架构,能够支持 PC 端与移动端协同使用,从而降低基层使用门槛,同时也尽量保证“监测有数据、评估有模型、决策有依据、调控有指令”的闭环运行。

4 系统验证与实施保障

4.1 示范区选择与实地验证方案

选取西藏具有代表性的高寒牧区作为示范区,范围覆盖高寒草甸、高寒草原等主要草地类型。验证方案按照“模型训练—精度评估—系统测试—管理应用”四步流程推进,首先,依托示范区的地面实测数据完成反演模型的训练与参数率定,其次,使用独立的验证样本对模型精度进行评估,并以决定系数、均方根误差等指标对反演误差进行量化,再次,部署原型系统并开展为期一个生长季的试运行,用于检验系统稳定性与功能完整性,最后,将系统输出的载畜量建议和放牧预警信息提交管理部门进行试用,收集相关反馈并进行迭代优化。通过这一套实地验证,尽量保证反演模型精度能够满足业务需求,同时系统功能也更贴近管理实际。

4.2 技术平台与数据更新保障

技术平台方面以 Google Earth Engine 云端遥感计算平台作为主要支撑,用来完成遥感数据的自动获取、预处理以及批量反演计算等工作,并建立数据的定期更新机制,在牧草生长季(5—9月)做到每5—10天更新一次牧草长势监测产品,非生长季则维持每月一次的基础数据维护。系统开发上采取模块化的设计思路,预留多源数据接入接口,同时保留模型升级与扩展的空间,以保证系统后续维护相对方便,也具备一定的可扩展性,并进一步加强与西藏自治区林业和草原局等管理部门的对接,推动监测数据与现有管理流程的融合与嵌入。

4.3 管理机制与推广应用保障

管理机制方面的保障,需要建立一套与数据驱动放牧管理相配套的工作制度,把牧草监

测的结果纳入草畜平衡年度核定和放牧许可的审批流程之中,让遥感监测不再只是“科研参考”,而是能够直接作为“管理依据”。人才队伍保障主要依靠技术培训和操作手册的编制,来提高基层草地管理人员对数据的理解能力,以及系统操作方面的技能。推广应用方面,在示范区完成验证并较为成熟之后,再逐步向西藏其他高寒牧区扩展,同时探索与“高海拔生态畜牧业智慧化综合服务平台”等已有平台的对接与融合,从而为高寒牧区草地资源的精细化管理和草畜平衡的精准调控提供一种可复制、可推广的技术方案。

5 结论

本文围绕遥感与GIS支持下的高寒牧区牧草监测与放牧决策系统构建展开研究,梳理并指出传统牧草监测存在效率偏低、覆盖范围较窄、更新不够及时等短板,同时也对比出遥感主动监测在覆盖范围更大、监测频率更高、信息维度更丰富等方面的优势,在此基础上,首先提出“星—空—地”一体化的数据获取体系,其次提出将物理机制与数据驱动相结合的反演建模思路,第三提出三层架构的放牧辅助决策系统设计,从数据采集、模型构建、系统开发到实地验证,形成一条较完整的技术路线。研究结果显示,遥感与GIS技术的融合是实现高寒牧区牧草动态监测与放牧精准决策的重要支撑,它能够在一定程度上提升牧草长势监测的时空分辨率与反演精度,并对草畜平衡评估与放牧调控决策起到优化作用,所构建的体系架构较为科学,技术上具备可行性,整体路径也比较清楚,可为西藏高寒牧区草地资源的可持续管理与畜牧业高质量发展提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 彭泰来,李佳,吴后建,等.基于多源哨兵数据与可解释机器学习的青藏高原南部草地生物量估算[J].沈阳农业大学学报,2026,57(1):113-122.
- [2] 韩波,高艳妮,郭杨,等.三江源区高寒草地地上生物量遥感反演模型研究[J].环境科学研究,2017,30(1):67-74.
- [3] 张轩凡.基于多源遥感数据的高寒草地牧草氮磷养分估测研究[D].兰州大学,2024.
- [4] 高宏元,侯蒙京,葛静,等.基于随机森林的高寒草地地上生物量高光谱估算[J].草地学报,2021,29(8):1757-1768.
- [5] 梁好,徐维新,段旭辉,等.基于PROSAIL模型的高寒冬季枯草关键参数阈值率定[J].光谱学与光谱分析,2022,42(4):1144-1149.

作者简介:程玉雪(2006.11—),女,汉族,河北邯郸人,本科,研究方向:智慧农业。

项目信息:2026年自治区级大学生创新创业训练项目,“基于遥感与GIS的西藏牧草资源监测与放牧系统构建”(DC202512147165)。