

小时级的牧场尺度无人机草地关键参量快速生成

王东亮

中国科学院地理科学与资源研究所陆地表层格局与模拟院重点实验室, 北京 100101

摘 要: 实时的牧草分布数据对指导牧民放牧有重要意义。以呼伦贝尔优然牧业有限责任公司第一牧场为研究区, 构建了一套基于无人机的草地关键参量快速生产流程方法, 耗时 5 小时 22 分钟完成牧场牧草分布数据获取。该方法利用固定翼无人机对牧场快速航拍, 基于 ODM 开源库对影像进行快速拼接, 基于可见光植被指数 (VDVI) 计算植被覆盖度, 基于历史数据构建的生物量反演模型开展生物量反演。尽管精度有待验证, 研究对指导天然草原临场放牧有一定现实意义。呼伦贝尔优然牧业有限责任公司第一牧场无人机数据集包括: (1) 拼接后的正射影像 1 张, 影像尺寸为 94,103×56,859; (2) VDVI 图 1 张, 影像尺寸为 21,754×13,188; (3) 植被覆盖度 (FVC) 图 1 张, 影像尺寸为 21,754×13,188; (4) 生物量 (AGB) 图 1 张, 影像尺寸为 21,754×13,188。该数据集以 .shp 格式存储, 有 16 个数据文件组成, 数据量为 1.23 MB (压缩为 1 个文件, 237 KB)。

关键词: 无人机影像; 可见光植被指数; 覆盖度; 生物量

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2023.04.08>

CSTR: <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2023.04.08>

数据可用性声明:

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志 (中英文)》出版, 可获取:

<https://doi.org/10.3974/geodb.2024.02.03.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2024.02.03.V1>.

1 前言

草原上降水稀少, 植被生长慢, 土地极易沙化^[1]。逐水草兮是牧人对草原生态环境的适应方式, 通过不停地转移寻找新草场, 在不破坏草原的前提下满足牲畜食物需求, 彰显了草原人民充分利用草原和适应环境的生存智慧, 及追求人与自然和谐共生的美好憧憬和向往^[2]。

准确实时的草地牧草分布数据“逐水草兮”的前提, 长期以来这一过程主要靠肉眼估算完成, 掌握范围和精度有限。基于卫星数据的草地植被监测方法^[3], 具有观测范围广、

收稿日期: 2023-09-01; 修订日期: 2023-11-20; 出版日期: 2023-12-24

基金项目: 中华人民共和国科学技术部 (2021YFD1300501); 中国科学院 (XDA23100200)

*通讯作者: 王东亮 0000-0002-1377-8394, 中国科学院地理科学与资源研究所, wangdongliang@igsrr.ac.cn

数据引用方式: [1] 王东亮. 小时级的牧场尺度无人机草地关键参量快速生成[J]. 全球变化数据学报, 2023, 7(4): 399–405. <https://doi.org/10.3974/geodp.2023.04.08>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2023.04.08>.

[2] 王东亮, 李愈哲, 张奥冲. 草地关键参量无人机快速生成实验数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂, 2024. <https://doi.org/10.3974/geodb.2024.02.03.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2024.02.03.V1>.

历史数据丰富、成本低等特点，适合草原大面积长期动态监测，但数据分辨率粗、精度低、更新慢，不能直接用于指导牧户临场放牧。近年来出现的无人机遥感以其分辨率高、成本低、机动灵活等优势，在高精度草地垂直结构参数提取、生物量反演^[4]、动物种群数量调查^[5,6]等方面已有应用。然而，无人机遥感产品通常需要地面实测数据做验证，地面数据的采集和处理耗时费力，导致无人机遥感产品的时效性大大降低，不能提供放牧临场决策支持。

本研究在对固定翼无人机采集的无人机影像进行快速拼接的基础上，发展了可见光植被指数（VDVI）、植被覆盖度（FVC）和生物量快速制图方法。时效性分析表明提出的草地关键参数快速产生方法可满足数小时内提供牧草分布数据的放牧需求。

2 数据集元数据简介

《草地关键参量无人机快速生成实验数据集》^[7]的名称、作者、地理区域、空间分辨率、数据年代、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

表 1 《草地关键参量无人机快速生成实验数据集》元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	草地关键参量无人机快速生成实验数据集
数据集短名	UAV_AGB_FVC
作者信息	王东亮 0000-0002-1377-8394, 中国科学院地理科学与资源研究所, wangdongliang@igsnrr.ac.cn 李愈哲, 中国科学院地理科学与资源研究所, liyuzhe@igsnrr.ac.cn 张奥冲, 中国科学院地理科学与资源研究所, zhangaochong0013@igsnrr.ac.cn
地理区域	呼伦贝尔优然牧业示范牧场有限责任公司第一牧场 地理范围: 49.318°N–49.334°N, 119.497°E–119°543'E
数据年代	2023 年 7 月 19 日, 14:02–14:54
空间分辨率	3 cm
数据格式	.shp
数据量	1.23 MB
数据集组成	第一牧场拼接后的正射影像、VDVI 图、FVC 图、AGB 图
基金项目	中华人民共和国科学技术部 (2021YFD1300501); 中国科学院 (XDA23100200)
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101, 中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	(1)“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放, 用户免费浏览、免费下载; (2) 最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源; (3) 增值服务用户或以任何形式散发和传播 (包括通过计算机服务器) “数据”的用户需要与《全球变化数据学报 (中英文)》编辑部签署书面协议, 获得许可; (4) 摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10%引用原则, 即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%, 同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[8]
数据和论文检索系统	DOI, CSTR, Crossref, DCI, CSCD, CNKI, SciEngine, WDS/ISC, GEOSS

3 数据研发方法

3.1 研究区概况

呼伦贝尔优然牧业有限责任公司（前身呼伦贝尔伊利畜物发展有限责任公司）第一牧场（119°30′55.40″E，49°19′05.40″N，图 1）位于呼伦贝尔草原中心地段——陈巴尔虎旗境内。陈巴尔虎旗属温带大陆性气候，平均年降水量 320 mm，无霜期 100–114 天，年平均气温约−6℃，年均降雨量 308 mm。第一牧场海拔为 595–602 m，该牧场的草场面积 5,910 亩（3.94 km²）。

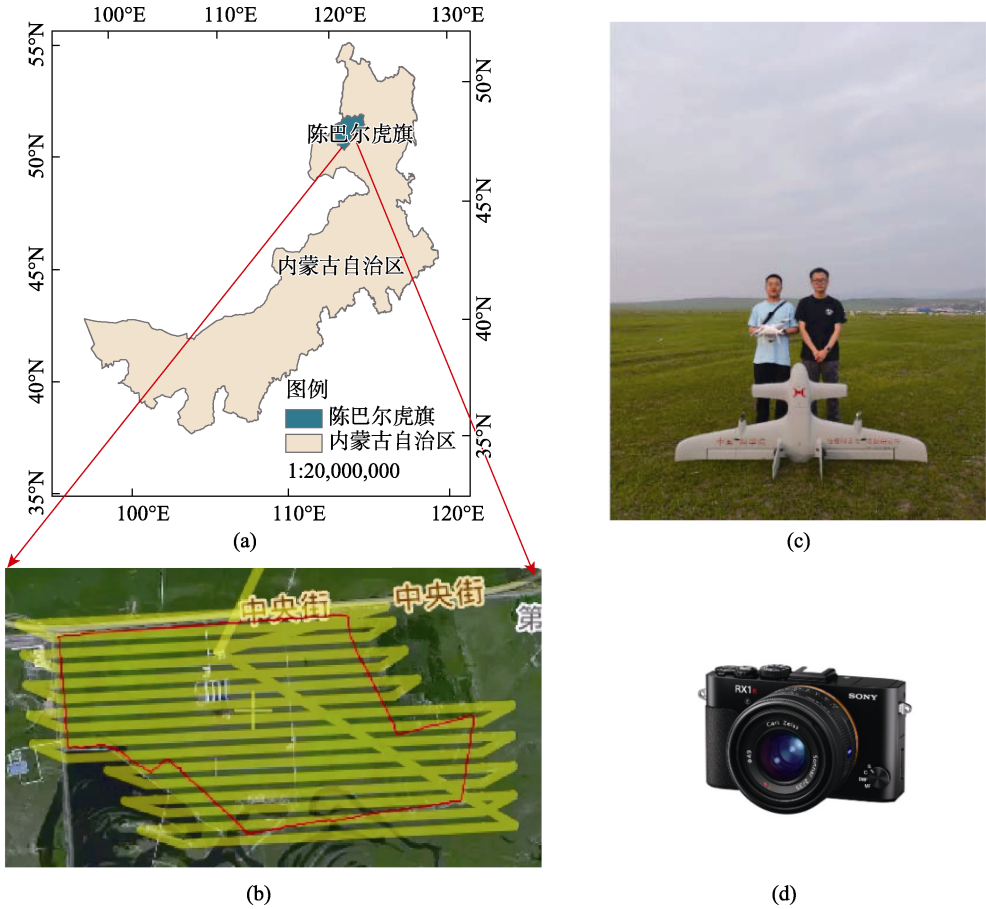


图 1 研究区域位置 (a)、飞行路线 (b)、无人机 (c) 及传感器照片 (d)

3.2 无人机数据采集

考虑到草场面积较大，使用旋翼无人机无法在当日完成数据采集。2023 年 7 月 19 日，采集定制电动垂直起降固定翼无人机（图 1）在第一牧场开展数据采集。无人机机翼翼展 2.2 m，最大载重 3 kg，最大续航时长 90 min（负载 600 g，巡航速度 72 km/h，飞行高度 500 m）。无人机搭载自动驾驶系统，能够实现从起飞到降落沿预设航线的全自动驾驶飞行系统。搭载的索尼 RX1R II 相机，可同步自动获取 RGB 影像，影像航向重叠度 80%，旁向重叠度 50%。飞行高度相对地面 300 m。航拍耗时 52 min，获取影像 1,072 张，影像分辨

率约 3 cm, 影像尺寸为 7,952×5,304, 飞行路线见图 1b。航拍面积 6.67 km²。

3.3 无人机影像拼接

ODM (OpenDroneMap) 是一个用于处理空中无人机影像的开源工具包, 可将无人机原始影像处理输出为正射成像、DEMs、三维模型和点云等数据^[9]。本文基于 ODM 开源库开发了影像快拼软件, 实现了对航拍影像的一键快拼。原 ODM 开源库无法读取本文采集的无人机影像, 拼接过程复杂, 需设置诸多参数, 本研究针对本文采集的无人机数据进行了输入、输出参数适应性改进, 能够自动读取指定文件路径的影像和相应定姿定位系统 (POS) 数据, 调用 ODM 库进行影像快拼, 并将拼接好的正射影像输出至指定输出文件路径。通过预先设置默认拼接参数, 一键拼图, 大大提高了软件的易用性和效率。

3.4 VDVI 计算

鉴于 VDVI 指数在区分绿色植被与非植被方面表现优异^[10], 利用可见光影像的蓝、绿、红三个波段计算 VDVI 指数^[11]:

$$VDVI = \frac{2 \times B_{green} - B_{blue} - B_{red}}{2 \times B_{green} + B_{blue} + B_{red}} \quad (1)$$

式中, B_{red} 、 B_{green} 、 B_{blue} 分别代表蓝、绿、红三个波段。

3.5 FVC 计算

采用像元二分模型^[11], 基于 VDVI 计算研究区的 FVC:

$$FVC = \frac{VDVI - VDVI_{soil}}{VDVI_{veg} - VDVI_{soil}} \quad (2)$$

式中, $VDVI_{soil}$ 为土壤部分的 VDVI 值, $VDVI_{veg}$ 为植被部分的 VDVI 值。实测数据表明 $VDVI_{soil}$ 和 $VDVI_{veg}$ 分别为 0.007,404 和 0.212,268。

3.6 AGB 计算

利用 Wang 等 2015 年 8 月在研究区附近采集的 66 个地面实测样方数据^[12], 构建了植被覆盖度-生物量反演的经验公式 ($R^2=0.440,7$):

$$AGB = 678.625 \times FVC^{4.2653} \quad (0\% \leq FVC \leq 100\%) \quad (3)$$

4 数据结果与验证

4.1 数据集组成

数据集包括: (1) 拼接后的正射影像 1 张; (2) 可见光植被指数 (VDVI) 图 1 张; (3) 植被覆盖度 (FVC) 图 1 张; (4) 生物量图 1 张。

4.2 数据产品与验证

基于快拼软件模块对无人机影像进行快拼获得了正射影像。分别基于式(1)–(3)计算了 VDVI、FVC 和 AGB。拼接后的正射影像面积 6.67 km², 见图 2a。VDVI、FVC 和 AGB 分别见图 2b–2d。

本文旨在快速生成临场放牧亟需的正射影像、植被覆盖度和生物量等数据, 临场放牧对牧场分布的整体趋势 (相对精度) 和时效性要求高, 对数据绝对精度要求较低, 即更需

要掌握哪里牧草更为丰富以便“逐”，因此基于目视检查的方式对结果进行验证。目视检查发现拼接后的正射影像中房屋、道路、和围栏等未出现被拼接线截断现象，未发现明显几何变形，植被覆盖度和生物量的整体趋势与地面观测一致，能满足临场放牧需求。

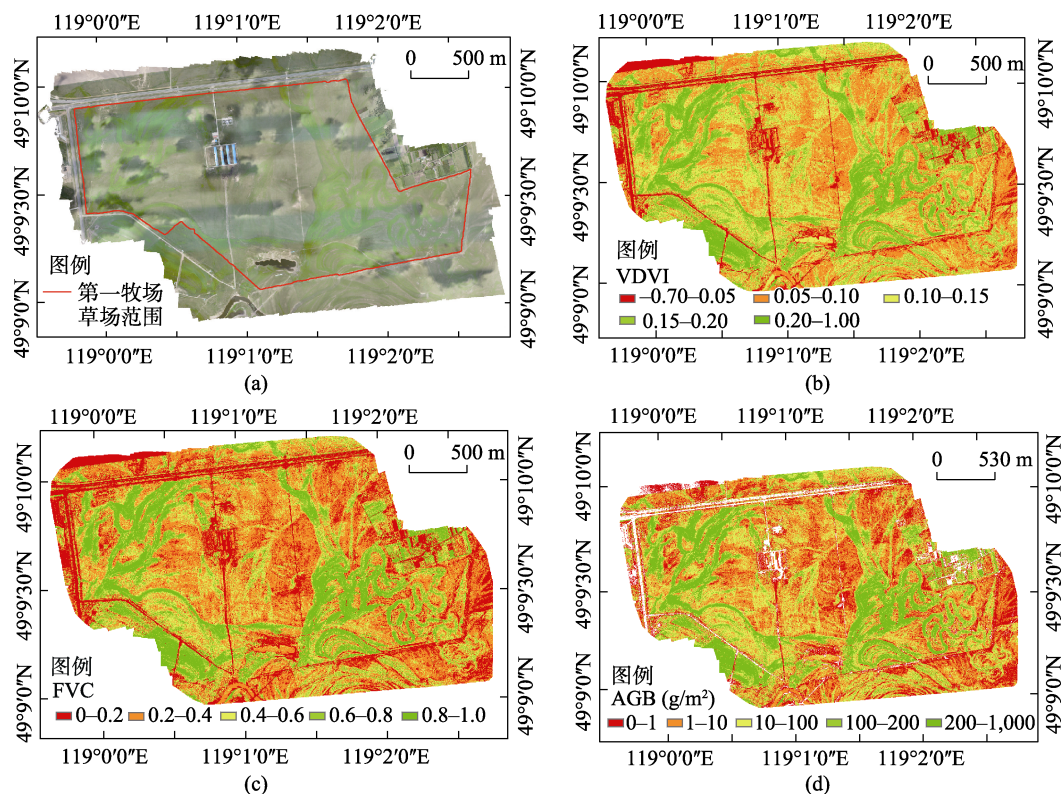


图2 第一牧场的影像拼接结果(a)、VDVI (b)、FVC (c)和 AGB (d)

植被覆盖度和生物量反演模型精度分析：本文使用的图像快拼方法可实现不同季节的牧场无人机数据拼接，然而，植被覆盖度提取使用的公式(2)中的 $VDVI_{soil}$ 和 $VDVI_{veg}$ 的阈值根据图像中的土壤和植被测量获得，不同光照条件下该阈值可能发生变化，可能需要重新测定。另外，本次实验是在7月份进行，本文使用的生物量反演模型是根据7月采集的样本构建的，春夏秋3个季节的牧草生长情况有所不同，冬季的牧草完全枯萎或凋落，不同季节的生物量反演模型可能有差异，进行生物量反演时可能需要使用当月采集的样方数据重新训练公式(3)或构建新的生物量反演模型。

方法优缺点分析：本文提出的基于固定翼无人机的草地关键参量快速生产方法仅使用不到5个半小时即完成了呼伦贝尔优然牧业有限责任公司第一牧场无人机影像采集到植被覆盖度和生物量反演等全过程，产生的牧场草地关键参量具有很高的时效性，可用于指导临场放牧，对未来发展智慧畜牧业具有较高的应用价值。然而，本文采用的固定翼无人机作业易受到天气和地形影响，多云天气时无人机可在云下进行作业，但在雨雪和大风等恶劣气象条件下无法进行数据采集工作，作业点地形不适合固定翼无人机起降时可能需要更换旋翼无人机；再者，受到无人机电池容量的约束，无法进行长时间的一次性作业，如本

文使用的固定翼无人机单次作业面积约为 10 km^2 ，更大面积的数据采集需要更换电池或采用多架无人机同步作业，以保证数据的时效性。

5 讨论和总结

为实现呼伦贝尔优然牧业有限责任公司第一牧场的无人机数据小时频率获取和处理，研究构建了一套基于无人机的草地关键参量快速生产方法，通过以下方法缩短时间：1) 考虑到第一牧场草场面积超过 3.94 km^2 ，采用旋翼无人机无法在当天完成数据覆盖，研究利用全新定制的垂直起降新型固定翼无人机对牧场进行快速航拍。该无人机通过垂直方式起降减少了对起降场地的依赖，在空中使用固定翼水平飞行大大减小巡航阶段的空气阻力，因而兼具旋翼无人机垂直起降和固定翼无人机航时长、航速高等优势，在同样起飞重量、翼展、电池能量密度和电池重量情况下，航时领先其他构型，是内蒙古高原等复杂地形区域野外环境航拍的高效解决方案^[13]。2) 为加快影像拼接速度，本研究基于 ODM 开源库开发了一键快拼软件进行影像快拼，大大缩短了拼接时间。3) 最后，基于可见光植被指数计算了植被覆盖度，基于历史样方数据构建的生物量反演模型开展生物量反演，由于省略了地面实测样方数据采集和处理环节，产品制图时间大大缩短了。

由图 2 可知，可见光植被指数 VDV1 值被分为 5 类，其值范围是 $-0.68-0.87$ ，VDV1 值 < 0.05 的区域主要集中在建筑物、道路、水以及裸土，在图中表现颜色为红色。VDV1 值在 $0.05-0.15$ 之间的区域主要是生物量较低的草地，以黄色或者浅绿色标注。这一范围的区域主要为生物量较高的草地，多处于远离建筑物与靠近水资源等区域，在图中表现为绿色。植被覆盖度和地上生物量值同样被分为 5 类，低值区域多为建筑物与道路以及水资源部分，高值区域大部分与草量丰富的草地区域重合。从无人机数据采集到完成草地关键参量制图总计耗时 5 小时 22 分钟，其中数据采集、快拼和草地关键参量制图分别耗时 52 分钟、4 小时、30 分钟。生成的数据产品能够满足天然草原牧民临场放牧对牧草分布数据相对精度和时效性要求，具有重要的理论意义和可预期的应用前景。

尽管本文生成的数据目视检查精度相对性较高，但考虑到本文生成的植被覆盖度和生物量数据等成果未进行实地验证。今后，将使用实地数据进行验证，以提高模型精度。此外，将优化图像拼接算法，进一步提升拼接速度，并开展影像实时拼接研究，满足更高效性的临场放牧和应急救援要求。

致谢：本次无人机航拍得到呼伦贝尔优然牧业示范牧场有限责任公司的大力支持，李申龙、谢骏锴、张奥冲等人在当地工作人员协助下，采集和处理了无人机影像，在此表示衷心的感谢！

利益冲突声明：本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献

- [1] 李博. 中国北方草地退化及其防治对策[J]. 中国农业科学, 1997, 30(6): 2-10.

- [2] 唐根杰, 包庆德. 游牧文明: 生存发展智慧及其生态维度研究[J]. 黑龙江民族丛刊, 2023(1): 137–143.
- [3] 沈海花, 朱言坤, 赵霞等. 中国草地资源的现状分析[J]. 科学通报, 2016, 61(2): 139–154.
- [4] Wang, D., Xin, X., Shao, Q., *et al.* Modeling aboveground biomass in hulunber grassland ecosystem by using unmanned aerial vehicle discrete lidar [J]. *Sensors*, 2017, 17(1): 180.
- [5] 王东亮, 廖小罕, 张扬建等. 基于无人机视频流的草原放牧家畜在线检测和体重估算[J]. 生态学杂志, 2021, 40(12): 4099–4108.
- [6] Wang, D., Song, Q., Liao, X., *et al.* Integrating satellite and unmanned aircraft system (uas) imagery to model livestock population dynamics in the longbao wetland national nature reserve, China [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 746: 140327.
- [7] 王东亮, 李愈哲, 张奥冲. 草地关键参量无人机快速生成实验数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2024. <https://doi.org/10.3974/geodb.2024.02.03.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2024.02.03.V1>.
- [8] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策 [OL]. <https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05> (2017 年更新).
- [9] 王旭, 左小清. 基于 odm 和 cesium 的无人机倾斜摄影建模及可视化[J]. 软件, 2020, 41(4): 124–129.
- [10] 汪小钦, 王苗苗, 王绍强等. 基于可见光波段无人机遥感的植被信息提取[J]. 农业工程学报, 2015, 31(5): 152–158.
- [11] Du, M. M., Noboru, N., Atsushi, I., *et al.* Multi-temporal monitoring of wheat growth by using images from satellite and unmanned aerial vehicle [J]. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2017, 10(5): 1–13.
- [12] 周婕, 张珂, 杜涛. 基于卫星遥感的水库库区植被覆盖变化研究: 以三河口水库为例[J]. 水利水电技术, 2023, 1(1): 1–12.
- [13] Wang, Y., Ma, L., Wang, Q., *et al.* A lightweight and high-accuracy deep learning method for grassland grazing livestock detection using uav imagery [J]. *Remote Sensing*, 2023, 15(6): 1593.