

基于吉林一号卫星数据的荒漠草原植被覆盖度遥感反演研究

王由志, 金额尔德木吐*, 王萨仁娜

内蒙古师范大学地理科学学院, 内蒙古 呼和浩特

收稿日期: 2023年11月29日; 录用日期: 2024年2月22日; 发布日期: 2024年2月28日

摘要

本文基于吉林一号遥感卫星高空间分辨率数据, 选择适用于荒漠草原的NDVI、MSAVI、RVI和PVI四种植被指数, 结合地面调查数据, 对牧户尺度植被覆盖度进行反演模型的构建和验证。通过对比分析得出, 基于MSAVI反演模型优于NDVI、RVI和PVI; 其中, 4×4 m样方拟合精度最高, EA为48.49%, 优于 1×1 m和 2×2 m样方。

关键词

植被指数, 遥感反演, 植被覆盖度, 吉林一号卫星数据

Remote Sensing Inversion Study on Fractional Vegetation Coverage of Desert Grassland Based on JL1 Satellite Data

Youzhi Wang, E'erdemutu Jin*, Sarena Wang

College of Geographical Science, Inner Mongolia Normal University, Hohhot Inner Mongolia

Received: Nov. 29th, 2023; accepted: Feb. 22nd, 2024; published: Feb. 28th, 2024

Abstract

This paper is based on the high spatial resolution data of JL1 remote sensing satellite. Four vegetation indices, NDVI, MSAVI, RVI and PVI, suitable for desert grasslands, were selected and combined with the ground survey data to construct and verify vegetation coverage inversion model in herds-scale. Through comparative analysis, the inversion model based on MSAVI is superior to

*通讯作者。

文章引用: 王由志, 金额尔德木吐, 王萨仁娜. 基于吉林一号卫星数据的荒漠草原植被覆盖度遥感反演研究[J]. 地理科学研究, 2024, 13(1): 34-40. DOI: 10.12677/gser.2024.131004

NDVI, RVI and PVI. Among them, 4×4 m quadrat had the highest fitting accuracy, with EA of 48.49%, which was better than 1×1 m and 2×2 m quadrat.

Keywords

Vegetation Index, Remote Sensing Inversion, Vegetation Coverage, JL1 Satellite Data

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

荒漠草原是草原向荒漠过渡的脆弱生态系统,对气候变化和人类活动的干扰具有敏感性[1],会引起植物种群和群落特征明显的变化[2] [3]。因此,气候因子、放牧方式与强度对荒漠草原植被的影响成为草地学者关注的主要内容[4] [5]。植被覆盖度是反映荒漠草原植被变化的重要指标,传统的地面数据采集是草地研究的主要手段[6]。随着遥感技术的发展,结合卫星数据监测草地资源成为重要的技术方法。目前,大、中尺度草地资源调查中,通过中、低空间分辨率卫星数据估算草地生物量[7] [8]、NPP [9]、植被盖度变化[10] [11]等的研究较多,而在小尺度草场植被的调查中,因高空间分辨率遥感数据成本高、覆盖范围有限、需要定制等因素,相关研究较少[12]。随着国产高分辨率卫星的快速发展[13],多个高空间分辨率、高光谱分辨率且费用较低的数据产品的出现,为长时间序列监测小区域草地研究提供了技术支持,有助于及时调查牧民生产活动对草原的作用。吉林一号遥感卫星具有高时间分辨率、高空间分辨率的特点,支持牧户尺度草地资源的监测。因此,构建适合于荒漠草原的植被指数构建遥感反演模型对提高植被覆盖的监测精度具有科学意义。

2. 研究区概况与研究方法

2.1. 研究区概况

研究区位于内蒙古自治区乌兰察布市四子王旗查干补力格苏木格日乐图雅嘎查,地理位置 $41^{\circ}41'14.97''N$, $111^{\circ}46'43.77''E$,牧户面积 230 hm^2 。草场平均海拔 1040 m ,为波状起伏地貌,气候属于中温带半干旱大陆性气候,草地类型为短花针茅 + 冷蒿 + 无芒隐子草荒漠草原,植被覆盖度较低。

2.2. 研究方法

2.2.1. 数据源

遥感数据为吉林一号遥感卫星 2022 年 8 月 16 日无云数据(Level 1T)。多光谱数据空间分辨率为 2 m ,全色波段为 0.5 m 。地面调查数据为 2022 年 7 月 28、29 日采集的植被盖度数据,共采集 70 个样点、210 个样方数据,每个样点分别采集 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 、 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 、 $4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ 样方 3 组数据,每个样点使用照相机法拍摄样方照片,手持 GPS 记录样点地理坐标。研究区样点分布如图 1 所示。

2.2.2. 数据处理

1) 数据预处理

在 ENVI 软件中对遥感数据进行辐射校正、大气校正、多光谱和全色波段的融合处理,得到亚米级高空间分辨率多光谱数据;在 ArcGIS 软件中对融合数据进行投影和几何纠正。

EXCEL 中录入地面调查数据的地理坐标、海拔高度、植被覆盖度等属性数据；在 ARCGIS 软件中将属性数据转成空间数据。

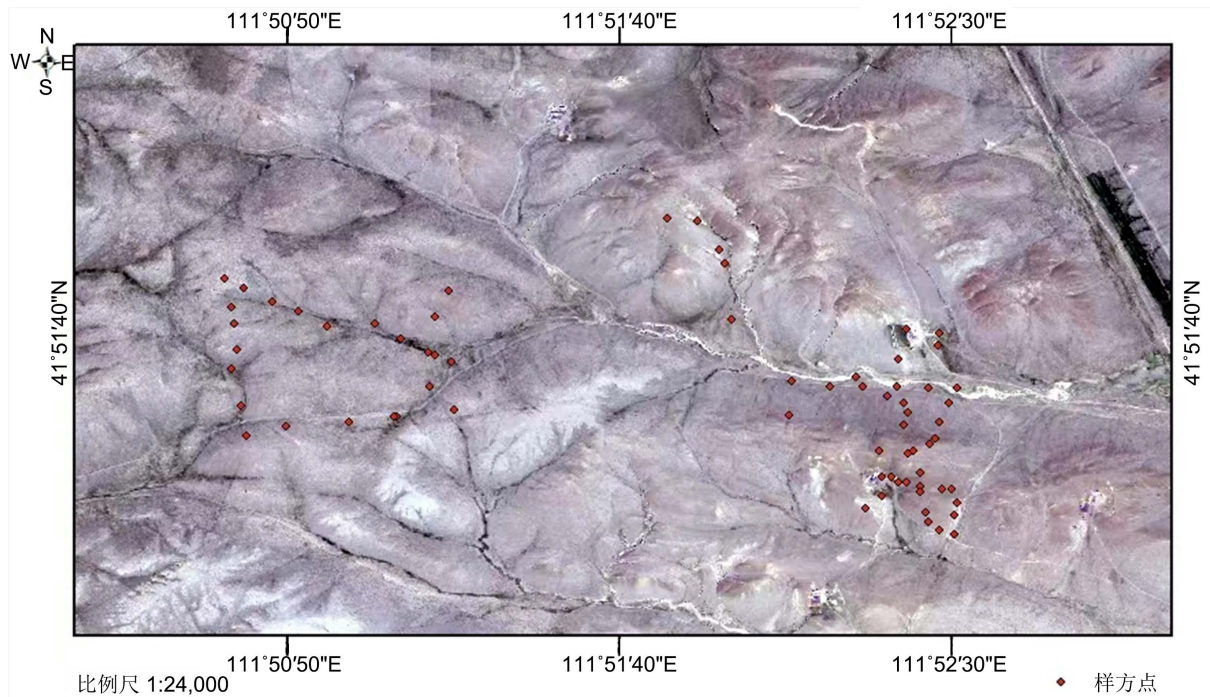


Figure 1. Distribution of sampling points in the study area

图 1. 研究区样点分布图

2) 植被指数运算

结合研究区草地植被覆盖的特征，选取适用于监测中低覆盖度植被的归一化植被指数(NDVI)、修改型调节植被指数(MSAVI)、比值植被指数(RVI)和垂直植被指数(PVI)四种植被指数模型，基于四种植被指数构建植被覆盖度反演模型。植被指数及其计算公式如下，其中 NIR 为近红外波段，RED 为红外波段。

a) NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)公式如下：

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (1)$$

b) MSAVI (Modified Soil Adjusted Vegetation Index)公式如下：

$$MSAVI = \left(2NIR + 1 - \sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8(NIR - RED)} \right) / 2 \quad (2)$$

c) 比值植被指数 RVI (Relative Vegetation Index)公式如下：

$$RVI = NIR / RED \quad (3)$$

d) PVI (Perpendicular Vegetation Index)公式如下：

$$PVI = (NIR - aRED - b) / \sqrt{a^2 + 1} \quad (4)$$

3) 精度验证

从样方数据中随机抽样 70%的地面数据与植被指数进行回归模型的建立，并利用未参与模型建立的 30%样方作为验证数据进行精度计算，计算公式如下：

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{X}_i - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{X}_i - X_i)^2}{N}} \quad (6)$$

$$EA = \left[1 - \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{X}_i - X_i)^2}{N}}}{\bar{X}} \right] \times 100\% \quad (7)$$

回归系数(R^2)、均方根误差(RMSE)和精度(EA)公式中, N 表示检验样本的数量, X_i 表示实测值, \hat{X}_i 表示预测值, \bar{X} 表示实测值的均值。

3. 基于植被指数的植被覆盖度遥感反演模型的建立

3.1. 植被覆盖度反演模型的建立

选取的样点分别与像元 NDVI、MSAVI、RVI 和 PVI 构建样方 1 m、2 m 和 4 m 植被覆盖度的线性反演模型。

表 1 为四种植被指数与 1 m 样方植被覆盖度所建立的回归方程。可以看出, 植被指数与 1 m 样方植被覆盖度回归模型中基于 MSAVI 建立的线性回归模型 $y = 33.66x + 6.0177$ 拟合度最好, R^2 值为 0.1141。其次为 PVI 建立的线性回归模型 $y = 0.0305x + 8.8659$, R^2 值为 0.0849。

Table 1. Vegetation coverage regression model and fitting accuracy based on four vegetation indices (1 m × 1 m quadrat)
表 1. 基于四种植被指数的植被覆盖度回归模型及拟合精度(1 m 样方)

植被指数	曲线形式	回归方程	R^2
NDVI	线性	$y = 34.493x + 10.768$	0.0828
MSAVI		$y = 33.66x + 6.0177$	0.1141
RVI		$y = 5.6304x + 10.026$	0.0417
PVI		$y = 0.0305x + 8.8659$	0.0849

表 2 为四种植被指数与 2 m 样方植被覆盖度所建立的回归方程。可以看出, 植被指数与 2 m 样方植被覆盖度回归模型中基于 MSAVI 建立的线性回归模型 $y = 41.073x + 0.2271$ 拟合度最高, R^2 值为 0.2915。其次为 NDVI 建立的线性回归模型 $y = 45.301x + 5.1597$, R^2 值为 0.2449。

Table 2. Vegetation coverage regression model and fitting accuracy based on four vegetation indices (2 m × 2 m quadrat)
表 2. 基于四种植被指数的植被覆盖度回归模型及拟合精度(2 m 样方)

植被指数	曲线形式	回归方程	R^2
NDVI	线性	$y = 45.301x + 5.1597$	0.2449
MSAVI		$y = 41.073x + 0.2271$	0.2915
RVI		$y = 8.6709x + 1.9127$	0.1695
PVI		$y = 0.0334x + 5.0981$	0.1749

表3为四种植被指数与4 m样方植被盖度所建立的回归方程。从表中可以看出, 植被指数与4 m样方植被盖度回归模型中基于MSAVI建立的线性回归模型 $y = 41.015x + 5.1516$ 拟合精度最高, R^2 值为0.1766。其次为NDVI建立的线性回归模型 $y = 42.864x + 10.716$, R^2 值为0.1332。

Table 3. Vegetation coverage regression model and fitting accuracy based on four vegetation indices (4 m × 4 m quadrat)
表 3. 基于四种植被指数的植被覆盖度回归模型及拟合精度(4 m 样方)

植被指数	曲线形式	回归方程	R^2
NDVI	线性	$y = 42.864x + 10.716$	0.1332
MSAVI		$y = 41.015x + 5.1516$	0.1766
RVI		$y = 7.272x + 9.3033$	0.0724
PVI		$y = 0.0314x + 10.759$	0.0934

3.2. 精度验证

将预留的样点数据分别代入各样方植被盖度拟合精度最高的回归模型中, 1 m样方植被盖度拟合精度最高的回归模型为 $FVC = 33.66MSAVI + 6.0177$, 2 m样方植被盖度拟合精度最高的回归模型为 $FVC = 41.073MSAVI + 0.2271$, 4 m样方植被盖度拟合精度最高的回归模型为 $FVC = 41.015MSAVI + 5.1516$ 。结果表明(表4), 1 m样方植被盖度估算模型预测 R^2 为0.0713, RMSE为10.32, EA为42.69%; 2 m样方植被盖度估算模型预测 R^2 为0.072, RMSE为10.44, EA为35.56%; 4 m样方植被盖度估算模型预测 R^2 为0.0851, RMSE为11.13, EA为48.49%; 三种样方中4 m样方的植被盖度估算模型拟合精度最高。

Table 4. Verification result of vegetation coverage inversion model
表 4. 植被覆盖度估算模型验证表

样方植被盖度类型	验证 R^2	验证 RMSE	精度(EA)
1m 植被盖度	0.0713	10.32	42.69%
2m 植被盖度	0.072	10.44	35.56%
4m 植被盖度	0.0851	11.13	48.49%

3.3. 基于最优模型的草场植被覆盖空间分布特征

对牧户草场植被盖度划分五个等级, 分别是0%~20%为低覆盖度, 20%~40%为中低覆盖度, 40%~60%为中覆盖度, 60%~80%为高覆盖度, >80%为高覆盖度。基于模型估算结果分析可得(图2), 研究区中低值植被盖度分布面积最大, 约占总面积的61%; 其次是中植被盖度分布面积, 约占总面积的37%; 而中低植被盖度、中高覆盖度和高覆盖面积较小, 占比均不到2%。因此, 草场植被覆盖较差, 主要以低植被覆盖为主, 是典型的荒漠草原类型的草场。

4. 结论与讨论

4.1. 结论

吉林一号卫星数据具有高空间分辨率的优势, 适于反演小尺度植被覆盖情况。在荒漠草原牧户尺度草场研究区, 构建NDVI、MSAVI、RVI和PVI四种植被指数回归模型, 对比得出基于吉林一号卫星数据的MSAVI反演模型适于研究区植被盖度的估算, 精度验证得出4 m样方估算模型精度最高。

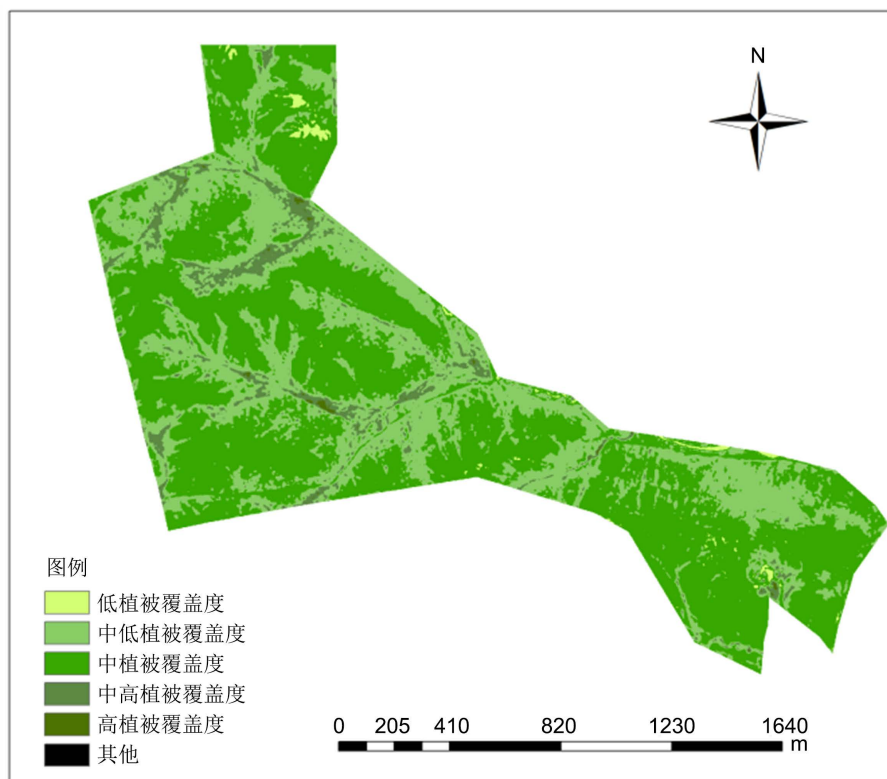


Figure 2. Spatial distribution map of vegetation coverage in the study area
图 2. 研究区植被覆盖度空间分布图

4.2. 讨论

在反演植被覆盖度研究中, 应用广泛的是归一化差值植被指数(NDVI), 其中利用基于 NDVI 的像元二分模型的应用研究较多[14] [15] [16]。根据荒漠草原干旱半干旱区、植被覆盖度较低的特征, MSAVI、RVI 和 PVI 也可用于植被反演。基于此, 本文进行了对比研究。但是在进行植被覆盖度遥感反演时, 高空间分辨率数据与地面样方数据匹配时会有很多不确定因素造成结果的偏差, 其中包括对实地植被覆盖度估测的误差、GPS 定位精度导致样点位置不准的误差、样点选取的数量过少造成的误差、对遥感影像做预处理时造成的误差等。本研究中 1 m 和 2 m 样方的精度低于 4 m 样方的可能原因是手持定位仪精度较低而导致。

基金项目

本文章由“内蒙古师范大学引进高层次人才科研启动经费项目(2016YJRC016)”和“内蒙古师范大学校基金项目(2015YBXM014)”基金资助。

参考文献

- [1] 李江文, 何邦印, 张晓曦, 等. 荒漠草原异常降水对不同载畜率植物群落物种组成及多样性的影响[J]. 生态学报, 2023, 43(15): 6433-6442.
- [2] 单玉梅, 温超, 陈海军, 等. 不同放牧强度下植物种群密度的季节性变化[J]. 生态科学, 2017, 36(6): 125-129.
- [3] 刘菊红. 放牧与降水对短花针茅荒漠草原植物群落稳定性的影响[D]: [博士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2019: 25-86.
- [4] Wang, Z.W., Jiao, S.Y., Han, G.D., *et al.* (2011) Impact of Stocking Rate and Rainfall on Sheep Performance in a

- Desert Steppe. *Rangeland Ecology & Management*, **64**, 249-256. <https://doi.org/10.2111/REM-D-09-00033.1>
- [5] 希吉日塔娜, 吕世杰, 卫智军, 等. 不同放牧制度下短花针茅荒漠草原植物种群作用和种间关系分析[J]. 生态环境学报, 2013(6): 976-982.
- [6] 康萨如拉, 韩国栋, 赵萌莉, 等. 放牧背景下短花针茅荒漠草原研究进展[J]. 草地学报, 2023, 31(12): 3587-3596. <https://link.cnki.net/urlid/11.3362.s.20231025.1059.002>
- [7] 朱生翠, 李国婷, 魏永林, 等. 青海湖备案天然牧草产量预测模型研究[J]. 中国农学通报, 2023, 39(25): 109-115.
- [8] 王秀梅. 内蒙古典型草原植被地上生物量遥感反演——基于多源数据的整合[D]: [博士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2022.
- [9] 李庆, 王洪涛, 刘文, 等. 以 HJ-1 卫星遥感数据估算高寒草地植被净第一性生产力的潜力评估——以若尔盖草地为例[J]. 中国沙漠, 2013(4): 1250-1255.
- [10] 沈贝贝, 魏一博, 马磊超, 等. 内蒙古草原植被覆盖度时空格局变化及驱动因素分析[J]. 农业工程学报, 2022, 12(38): 118-126.
- [11] 佟斯琴, 包玉海, 张巧凤, 等. 基于像元二分法和强度分析方法的内蒙古植被覆盖度时空变化规律分析[J]. 生态环境学报, 2016(5): 737-743.
- [12] 朱梁辉. 基于 CNN 的高空间分辨率遥感图像分类方法研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆邮电大学, 2021.
- [13] 黄露, 王爱华, 陈君, 等. 国产卫星遥感技术在自然资源调查监测中的应用[J]. 地理空间信息, 2020, 18(5): 73-76.
- [14] 阿卜杜热合曼·吾斯曼, 玉素甫江·如素力, 张发, 等. 基于遥感监测的天山新疆段草地退化时空特征及其与气候因子的关系[J]. 草业科学, 2023, 40(7): 1779-1792.
- [15] 马建明, 常晓晴, 邢艳秋, 等. 基于 Landsat TM/OLI 影像的哈尔滨市植被覆盖度与景观格局动态变化分析[J]. 森林工程, 2023, 39(5): 65-73.
- [16] 刘伟, 向莹, 李景吉, 等. 2000-2020 年四川省泸沽湖湿地自然保护区陆地植被覆盖动态变化[J]. 水土保持通报, 2023, 43(5): 203-211.