

doi: 10.6046/zrzyg.2022221

引用格式: 张士博, 胡文敏, 韩祯颖, 等. GF-6 与 Landsat8 混合像元分解的石漠化信息提取差异研究——以普定县为例[J]. 自然资源遥感, 2023, 35(3): 274-283. (Zhang S B, Hu W M, Han Z Y, et al. Differences in rocky desertification information extracted from GF-6 and Landsat8 using the pixel unmixing method: A case study of Puding County[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2023, 35(3): 274-283.)

GF-6 与 Landsat8 混合像元分解的 石漠化信息提取差异研究 ——以普定县为例

张士博^{1,2}, 胡文敏^{2,3,4}, 韩祯颖¹, 李果^{2,3}, 王忠诚¹, 高志海⁴

(1. 中南林业科技大学林学院, 长沙 410004; 2. 湖南省自然保护地风景资源大数据工程技术研究中心, 长沙 410004; 3. 中南林业科技大学风景园林学院, 长沙 410004; 4. 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100001)

摘要: 目前不同中空间分辨率遥感卫星在利用混合像元分解方法提取石漠化信息上存在效果差异, 比较不同遥感卫星在提取石漠化信息上的差异, 有助于进一步提高石漠化信息提取精度。本研究以贵州省普定县为例, 采用 GF-6 与 Landsat8 卫星数据, 利用顶点成分分析(vertex component analysis, VCA)和完全约束最小二乘法(fully constrained least squares, FCLS)相结合的混合像元分解方法进行石漠化信息提取, 探究 GF-6 与 Landsat8 在石漠化信息提取的端元特征和等级差异, 以此探索 GF-6 在提取石漠化信息的可行性与有效性。研究结果表明: ①红边波段范围上, GF-6 植被端元波谱曲线明显区别于基岩与土壤端元, 更易识别出植被端元; ②石漠化信息端元提取精度上, GF-6 和 Landsat8 提取植被端元 OA 分别为 0.63 和 0.45, Kappa 系数分别为 0.50 和 0.29, RMSE 分别为 1.19 和 1.71, GF-6 和 Landsat8 提取基岩端元 OA 分别为 0.79 和 0.61, Kappa 系数分别为 0.63 和 0.42, RMSE 分别为 0.54 和 0.88; ③石漠化等级评价上, GF-6 和 Landsat8 提取石漠化等级 OA 分别为 0.76 和 0.59, Kappa 系数分别为 0.56 和 0.38, RMSE 分别为 0.64 和 1.27。因此, GF-6 在混合像元分解提取石漠化信息精度要优于 Landsat8, 且 GF-6 的红边波段能更好地识别石漠化区域植被信息, 基于 GF-6 的混合像元分解方法可作为一种石漠化监测手段应用于实际工作中。

关键词: 石漠化; GF-6; 顶点成分分析法; 完全约束最小二乘法; 混合像元分解

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-034X(2023)03-0274-10

0 引言

石漠化是指因水土流失而导致地表土壤损失, 基岩裸露, 土地丧失农业利用价值的生态环境退化现象, 多发生于喀斯特地区^[1-5]。我国西南喀斯特地区占国土总面积 5% 以上, 境内石漠化现象频发, 对以农业生产为主要发展动力的西南省份造成巨大压力, 严重制约了社会与经济的发展^[6-8]。因此, 准确提取石漠化信息, 掌握石漠化动态变化, 对治理石漠化现象和发展西南地区社会与经济至关重要。传

统石漠化信息获取主要通过实地勘测, 其缺点为成本过高, 耗时过长, 劳动强度过大, 尤其对于多时相的大尺度监测难度更大^[9]。随着遥感技术不断发展, 遥感卫星逐步应用到石漠化监测中。

目前, 中等空间分辨率遥感影像在石漠化监测中应用较为广泛, 以美国陆地卫星 Landsat8 为例, Wang 等^[10]利用无人机和 Landsat8 卫星对兴仁县进行基岩信息提取, 得到基岩裸露率分布图, 并提出基于多尺度遥感数据的基岩暴露率定量提取方法; 王明明等^[11]利用 2 期 Landsat TM 数据与 1 期 Landsat8 数据对后寨河流域进行石漠化信息提取, 揭示

收稿日期: 2022-05-26; 修订日期: 2022-09-26

基金项目: 国家科技重大专项“高分辨率对地观测系统重大专项: 高分林业遥感应用示范系统(二期)”(编号: 21-Y30B02-9001-19/22)、湖南省教育厅科学研究重点项目“亚热带丘岗区森林生态系统碳储功能评估及其技术优化”(编号: 21A0153)和湖南省自然资源厅标准项目“国土空间资源环境开发利用生态风险本底调查与评价标准”(编号: 202259)共同资助。

第一作者: 张士博(1999-), 男, 硕士研究生, 研究方向为水土保持与荒漠化防治。Email: 747883829@qq.com。

通信作者: 胡文敏(1985-), 男, 博士, 研究方向为环境遥感技术应用。Email: wenmin115@163.com。

了该地区不同等级石漠化的时空演变规律;郑惠茹等^[12]基于Landsat8数据对重庆东北部地区进行不同类型植被信息的提取,掌握了该地区不同植被的空间分布特征与规律。上述研究都利用Landsat8数据对研究区石漠化信息进行提取,为研究区石漠化监测治理做出贡献,但其中存在一个相同问题:数据空间分辨率不高,从而导致石漠化信息获取有限,影响石漠化信息提取精度。因此,为了提高石漠化信息提取精度,更好服务于石漠化监测工作,亟需分辨率更高的卫星作为数据源。高分六号卫星(GF-6)的宽幅相机数据(wide field of view, WFV)拥有16 m的空间分辨率,且具有特殊的红边波段,能为遥感监测提供更精准信息。目前,利用GF-6提取石漠化信息的研究相对较少,将Landsat8与GF-6数据相对比,可为GF-6的石漠化提取能力和技术应用提供参考。

目前,遥感技术提取石漠化信息主要利用遥感影像的光谱特性构建石漠化评价因子指数,如构建归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)^[13-14]、归一化岩石指数(normalized difference rock index, NDRI)^[14]和遥感植被指数^[15]等。但上述研究中,石漠化提取方法多样,导致石漠化提取效果不统一,且石漠化提取方法无统一标准,不利于研究结果间的对比。混合像元分解能够提取纯净像元的特性,而在石漠化信息提取过程中提取的石漠化评价因子(植被与基岩)都可看作为纯净端元,因此混合像元分解可作为一种石漠化信息提取的方法。近年来,许多学者专家对混合像元分解方法进行了深入研究, Yang等^[16]利用纯净像元指数法(pure pixel index, PPI)对江汉平原2015—2017年油菜种植面积进行估算;陈姣等^[17]利用混合调谐匹配滤波法(mixture tuned matched filtering, MTMF)对不透水面特征进行提取;刘蓉姣等^[18]利用PPI对其研究区进行空间分布变化的分析;杨明星等^[19]利用PPI、连续最大角凸锥(sequential maximum angle convex cone, SMACC)和几何顶点方法对植被端元波谱进行提取,并比较了方法之间的优劣;方凌江等^[20]利用顶点成分分析法(vertex component analysis, VCA)提取端元光谱信息。相较于PPI和SMACC等端元提取方法, VCA方法具有简便高效的特征。

本研究基于GF-6与Landsat8遥感数据,利用VCA与完全约束最小二乘法(fully constrained least squares, FCLS)相结合的混合像元分解方法,提取研究区石漠化信息,探究GF-6红边波段对石漠化信息提取的影响,对比GF-6与Landsat8石漠化信息提取能力的差异,并为GF-6进行石漠化监测工作

提供技术参考。

1 研究区概况及其数据源

1.1 研究区概况

本研究选取普定县(E105°27'49"~E105°58'51", N26°26'36"~N26°31'42")为研究区(图1),其位于贵州省西南部的安顺市,约1 091 km²,属中亚热带季风湿润气候,年均气温为15.1℃,年均降水为1 378.2 mm,北部与南部地势陡峭,中部地势相对平缓,全县碳酸盐岩广泛分布,约占全县总面积的85%,喀斯特石漠化显著。据全国第三次石漠化监测公报显示,截至2016年底贵州省石漠化土地约有247.01万hm²,比2011年底的第二次石漠化监测结果减少55.37万hm²,石漠化状况得到改善,但贵州省仍是全国石漠化最为严重的省份,石漠化治理工作仍十分严峻,而普定县是贵州省石漠化最为严重的县域之一。

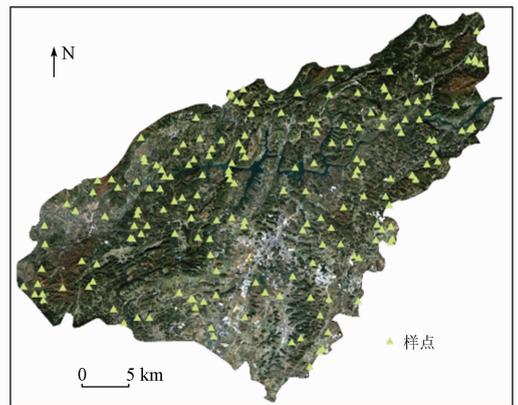


图1 普定县位置示意图

Fig.1 Location map of Puding County

1.2 数据源

选取GF-6与Landsat8卫星遥感数据(表1)

表1 GF-6与Landsat8波段对应信息

Tab.1 GF-6 and Landsat8 band correspondence information

波段编号	GF-6 WFV		Landsat8 OLI	
	波长范围/μm	空间分辨率/m	波长范围/μm	空间分辨率/m
Band1	0.45~0.52		0.433~0.453	
Band2	0.52~0.60		0.450~0.515	
Band3	0.63~0.69		0.525~0.600	
Band4	0.76~0.90		0.630~0.680	
Band5	0.69~0.73 (红边波段 I)	16	0.845~0.885	30
Band6	0.73~0.77 (红边波段 II)		1.560~1.660	
Band7	0.40~0.45		2.100~2.300	
Band8	0.59~0.63		—	

作为数据源,并结合来自国家基础地理信息中心的矢量边界,进行实验研究。考虑到植被的生长周期,同时便于实验的对比,2组数据都选择了在冬季,但是受云量与卫星运行周期的影响,未能获取拍摄日期相同或相近的影像,本研究所使用的 GF-6 WFV 与 Landsat8 OLI 遥感影像分别拍摄于 2020 年 11 月 14 日和 2019 年 12 月 17 日。

2 研究方法

本研究技术路线如图 2 所示。首先,在 ENVI5.6 软件中对 GF-6 与 Landsat8 遥感数据进行预处理,主要包括辐射定标、大气校正、正射校正与影像裁剪等操作;然后,在 PIE-HYP 平台利用混合像元分解方法对经过预处理的影像进行石漠化信息端元的提取,并结合 ArcGIS10.8 平台对端元提取结果进行等级划分,得到植被端元分布、基岩端元分布与石漠化等级分布;最后,利用混淆矩阵与均方根误差对所得结果进行精度评价。

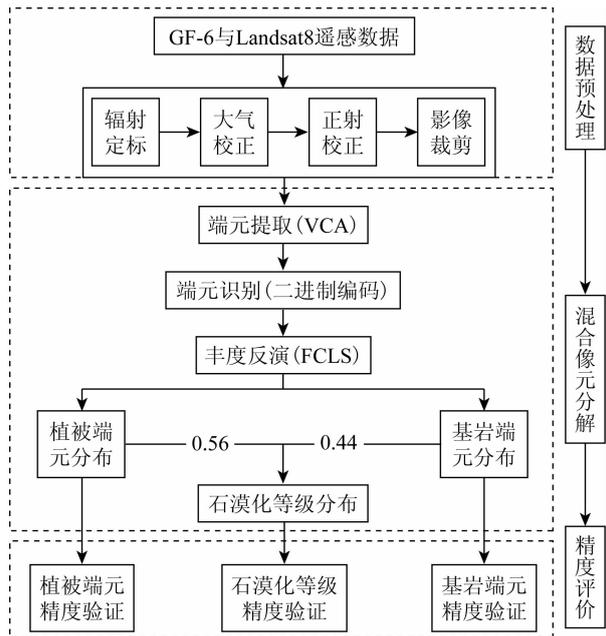


图 2 技术路线图

Fig. 2 Technology roadmap

2.1 混合像元分解

遥感卫星数据主要以栅格像元进行记录,但由于受其自身分辨率与自然界地物复杂性的影响,所获得的影像数据中含有大量混合像元,即一个像元中包含了多种地类,而纯净像元是指一个像元中只包含一种地类,因此可以通过识别纯净像元来判断地类。将一个像元内不同“组分”进行分解,求得像元中各个地类所占比例的方法叫做混合像元分解。

2.1.1 纯净端元提取

在线性光谱混合模型中,各个混合像元都可以看作欧氏空间内的一个 N 维向量,各个波段是该欧氏空间的方向轴,并且每 2 个波段都相互正交^[21]。根据丰度向量的物理含义,丰度向量满足丰度总和为 1 约束和丰度非负约束,因此观测的像元可以构成一个以端元为顶点的单形体,而 VCA 方法正是通过反复寻找正交向量并计算图像矩阵在正交向量上的投影距离逐一提取端元,即寻找单形体的顶点^[22]。

本研究基于 PIE-HYP 平台使用 VCA 方法对纯净端元进行提取,其具体操作可分为以下 2 步:①通过 PIE-HYP 平台对经过预处理的遥感影像进行端元数目估算;②使用 PIE-HYP 平台的 VCA 模块,并输入端元的估算数目进行纯净端元的提取。

2.1.2 丰度反演

通过对纯净端元的提取,得到相应提取端元的波谱曲线,将其与 FCLS 方法相结合,对预处理影像进行丰度反演,得到植被与基岩丰度图像,最后结合分类标准将丰度图像进行重分类可得到植被端元与基岩端元的空间分布。本文选用的 FCLS 方法的约束条件为:

$$r_i = \sum_{j=1}^k S_{ij} \alpha_j + n_i, \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^k \alpha_j = 1, \quad (2)$$

$$\alpha_j \geq 0, \quad (3)$$

式中: $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, k$; m 为波段数; k 为端元数; r_i 为第 i 波段像元反射率; S_{ij} 为第 i 波段第 j 个端元的反射率; α_j 为该像元第 j 个端元的丰度; n_i 为第 i 波段的误差。

2.2 石漠化程度等级评价方法

由于研究区自然地理环境、范围大小及人为影响等方面存在差异,使得各研究区的石漠化方案不统一。本研究根据张文源等^[23]与胡顺光等^[24]的分级标准与分级方案,并结合研究区实际情况,将研究区石漠化情况划分为无石漠化、潜在石漠化、轻度石漠化、中度石漠化、重度石漠化和极重度石漠化 6 个等级,其具体的石漠化分类等级标准如表 2 所示。

表 2 石漠化等级评价指标与标准

Tab. 2 Rocky desertification grade evaluation indicators and criteria

编号	石漠化程度	植被覆盖率/%	基岩裸露率/%	等级
1	无石漠化	(70,100]	(0,20]	1
2	潜在石漠化	(50,70]	(20,30]	2
3	轻度石漠化	(30,50]	(30,50]	3

(续表)

编号	石漠化程度	植被覆盖率/%	基岩裸露率/%	等级
4	中度石漠化	(20,30]	(50,70]	4
5	重度石漠化	(10,20]	(70,90]	5
6	极重度石漠化	(0,10]	(90,100]	6

2.3 精度验证

本研究通过实地勘察获得 178 个样点(图 1), 并与 Google Earth 人工目视解译相结合, 建立遥感解译标志(表 3)。实地勘察样点过程中, 由于普定县已实施大量石漠化治理工程, 其境内石漠化状况得到明显改善。因此, 在本研究所选取的样点中, 重度与极重度石漠化样点较少。本研究利用混淆矩阵计算 Kappa 系数、总体精度(overall accuracy, OA)、制图精度(producer's accuracy, PA)、用户精度(user's accuracy, UA)并结合均方根误差(root mean squared error, RMSE)等评价指标对 GF-6 与 Landsat8 提取结果进行精度评价。其中, Kappa 系数表示预测结果与真实值之间的匹配程度; OA 能够直观地体现预测结果与真实类别之间的正确匹配情况; PA 为某一类验证样本被正确分类的概率; UA 则为某一类别预测结果正确代表实际真值的概率;

RMSE 能够表示观测值与真实值的偏差大小。其公式分别为:

$$Kappa = \frac{n \sum_{b=1}^a x_{bb} - \sum_{b=1}^a (x_{b+} x_{+b})}{n^2 - \sum_{b=1}^a (x_{b+} x_{+b})}, \quad (4)$$

$$OA = \frac{\sum_{b=1}^a x_{bb}}{n}, \quad (5)$$

$$PA = \frac{x_{bb}}{x_{+b}} \times 100\%, \quad (6)$$

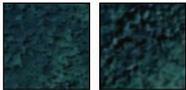
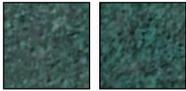
$$UA = \frac{x_{bb}}{x_{b+}} \times 100\%, \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{b=1}^a (x_{obs,b} - x_{model,b})^2}{n}}, \quad (8)$$

式中: n 为影像像元总数; a 为类别总数; x_{bb} 为提取结果与实际相同的像元总数; x_{b+} 为提取结果分类中为第 b 类的像元总数; x_{+b} 为实际分类中为第 b 类的像元总数; $x_{obs,b}$ 为观测值; $x_{model,b}$ 为真实值。

表 3 遥感解译标志

Tab.3 Remote sensing interpretation flags

石漠化等级	遥感影像	植被覆盖度/%	基岩裸露率/%	说明	实际调查照片	样点个数
无石漠化		(70,100]	(0,20]	影像为饱和度很高的绿色, 有明显的颗粒状地物且分布密集		4
潜在石漠化		(50,70]	(20,30]	影像为饱和度较高的浅绿色, 有颗粒状地物但分布稀疏		14
轻度石漠化		(30,50]	(30,50]	影像为中度饱和度的浅绿色, 几乎无颗粒状地物分布		29
中度石漠化		(20,30]	(50,70]	影像为饱和度较低的浅绿色, 无颗粒状地物分布, 有明显的人类活动迹象		109
重度石漠化		(10,20]	(70,90]	影像为棕色, 无颗粒状地物分布, 有人类活动的迹象但不明显		20
极重度石漠化		(0,10]	(90,100]	影像颜色偏银色, 无明显地物分布, 无人类活动迹象		2

2.4 地理探测器模型

地理探测器是指利用空间分异性对空间数据及其驱动力进行分析的一种统计学方法。在空间保持一致的情况下, 通过采集各个样点上自变量与因变量的值, 利用公式计算自变量对因变量的解释能力大小^[25-26], 其公式为:

$$q_{e,f} = 1 - \frac{\sum_{l=1}^z N_l \delta_l^2}{N \delta^2}, \quad (9)$$

式中: e 为自变量, 即植被覆盖度与基岩裸露率因子等级; f 为石漠化程度等级; N 和 N_l 分别为全区和层 l 的样点总数; δ^2 和 δ_l^2 分别为全区和层 l 的栅格值

方差; l 和 z 分别为第 l 类因子等级及其等级总数。 q 取值在 $[0,1]$ 之间, q 越大说明自变量 e 对因变量 f 的解释能力越强。本研究利用全国第三次石漠化调查数据, 选取 285 个石漠化样点, 并利用分类标准将植被覆盖度、基岩裸露率与石漠化程度等级化, 利用地理探测器模型获取植被覆盖度与基岩裸露率对石漠化程度的贡献率。

3 结果与分析

3.1 石漠化信息端元波谱特征差异

图 3 表明 GF-6 与 Landsat8 在获取植被、基岩

与土壤端元上的波谱差异较为明显, 其中植被端元差异最大, 其主要原因是 GF-6 与 Landsat8 波段范围设置存在差异, 导致卫星在收集地物信息所产生的波谱不同。图 3(a) 表明在红边波段范围内($0.69 \sim 0.77 \mu\text{m}$) 内, 植被端元波谱反射率急剧升高, 该特征有利于区分植被端元与其他 2 种端元; 而在图 3(b) 中, 植被端元在红边波段范围内无明显变化, 且在 Landsat8 整个光谱范围内植被、基岩和土壤 3 种端元无明显差异特征。因此, 相较于 Landsat8, 在进行混合像元分解时, GF-6 在区分植被端元与基岩、土壤端元上更有效。

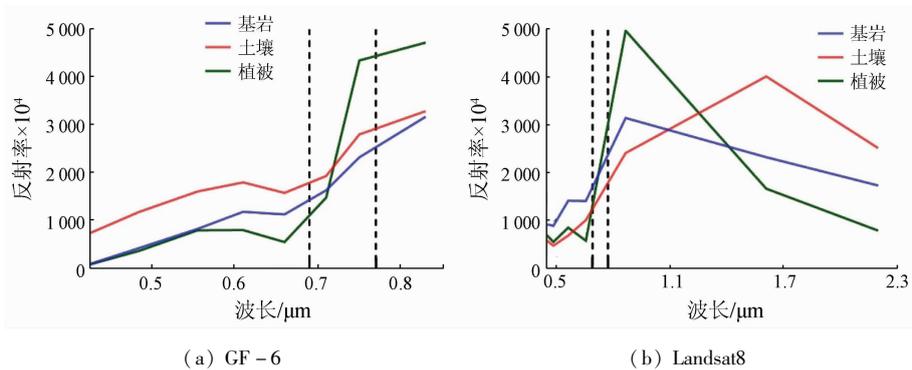


图 3 植被、基岩与土壤波谱曲线
Fig. 3 Vegetation, bedrock and soil spectral curves

3.2 石漠化信息端元空间分布特征差异与评价

3.2.1 植被端元空间分布特征差异

GF-6 和 Landsat8 植被端元分布情况如图 4 所示。通过图 4(a) 发现, GF-6 提取研究区植被覆盖度主要以 $(30, 50]\%$ 为主, 研究区中部与东部区域植被覆盖度较低, 主要以小于 50% 植被覆盖度为主, 结合遥感影像可知, 该区域为人类活动主要区域, 且在人类活动的周边区域植被覆盖度偏低, 主要

以小于 30% 为主, 而在受人类活动影响较小的西部与南部林地区域植被覆盖度主要以大于 50% 为主, 表明人类活动会影响植被的生存与生长; 通过图 4(b) 发现, Landsat8 提取研究区植被覆盖度要高于 GF-6, 其主要以 $(30, 70]\%$ 植被覆盖度为主, 这可能是由于影像获取时间不同导致, 但两者提取结果具有相似的空间分布特征。

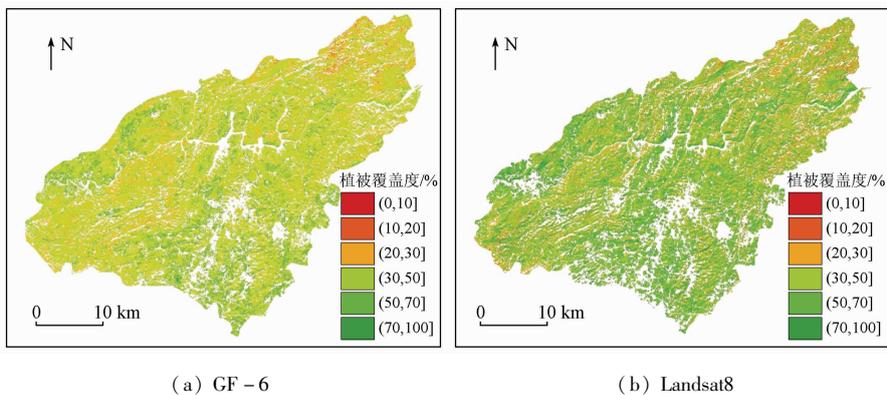


图 4 GF-6 和与 Landsat8 植被端元分布
Fig. 4 Distribution of vegetation endmembers in GF-6 and Landsat8

3.2.2 基岩端元空间分布特征差异

GF-6 和 Landsat8 基岩端元分布情况如图 5 所

示。通过图 5(a) 发现, GF-6 提取研究区整体基岩裸露程度主要以 $(30, 70]\%$ 基岩裸露率为主, 研究

区的北部与南部的林地区域基岩裸露程度较低,主要以小于30%基岩裸露率为主,而中部与东部人类活动的周边区域基岩裸露率普遍偏高,这一现象表明人类活动会加剧地表基岩裸露状况;图5(b)表

明Landsat8提取研究区整体基岩裸露程度低于GF-6提取结果,其最直观体现在研究区北部与南部的林地区域,这可能是由于影像空间分辨率不同所导致,但从整体来看两者提取的结果相差不大。

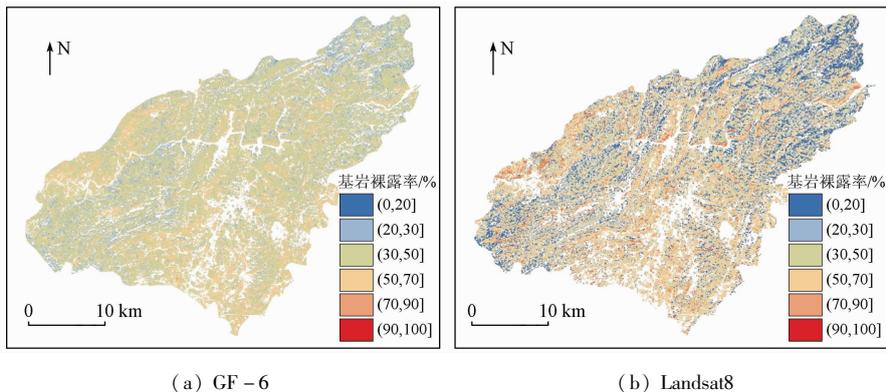


图5 GF-6和Landsat8基岩端元分布

Fig.5 Distribution of bedrock endmembers in GF-6 and Landsat8

3.2.3 石漠化信息端元评价

植被端元和基岩端元精度验证结果如图6所示。通过图6发现,GF-6提取的植被端元与基岩端元精度要优于Landsat8,这表明GF-6在石漠化信息端元提取能力强于Landsat8。单从植被端元的验证结果精度来看,GF-6和Landsat8提取结果的OA分别为0.63和0.45,Kappa系数分别为0.50和0.29, RMSE分别为1.19和1.71;

单从基岩端元精度来看,GF-6与Landsat8提取结果的OA分别为0.79和0.61,Kappa系数分别为0.63和0.42, RMSE分别为0.54和0.88。总体来说,GF-6和Landsat8提取的基岩端元精度要高于植被端元,导致这种结果的原因可能是由于目视解译存在着的人为误差以及实地勘测时间与影像拍摄时间的差异。

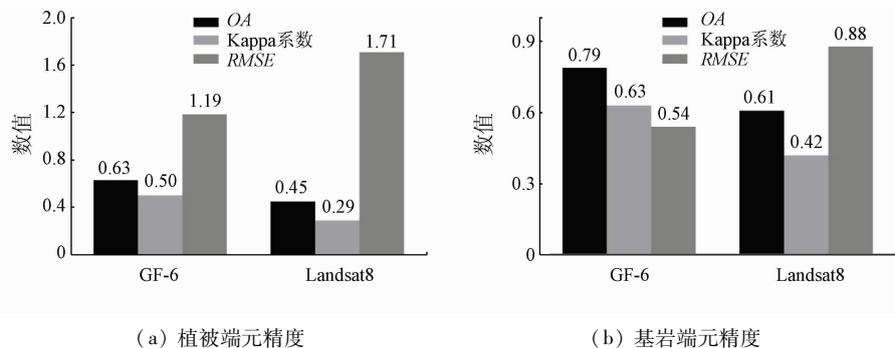


图6 植被端元和基岩端元精度验证

Fig.6 Accuracy verification of vegetation endmember and bedrock endmember

3.3 石漠化等级空间分布特征与评价

3.3.1 石漠化等级空间分布特征

通过对植被端元与基岩端元的独立分析发现,GF-6提取石漠化信息端元的精度优于Landsat8。为了进一步检验GF-6与Landsat8石漠化信息提取能力的强弱,本研究将植被端元与基岩端元相结合,利用地理探测器模型得出植被端元与基岩端元的贡献率分别为0.56与0.44,因此将植被端元与基岩端元按0.56与0.44的权重进行矢量叠加,得到研究区石漠化等级评价分布(图7),并计算出各等级石漠化的面积占比,从整体的角度对GF-6与Landsat8石漠化信息提取能力做出评价。通过图7

发现,研究区整体主要以中度石漠化为主,且石漠化程度由北向南逐渐加深,由西向东逐渐加深,且在人类活动的周边区域石漠化程度普遍偏高,其主要原因是受人类活动的影响。在图7(a)中,无石漠化区域主要分布在北部与南部且分布比较集中,但在图7(b)中,无石漠化区域分布较为零散,但也集中在北部与南部区域;在图7(a)中,研究区中部与南部主要以中度石漠化与重度石漠化为主,其中重度石漠化分布较为零散,但在图7(b)中,研究区中部与南部以中度石漠化为主,而重度石漠化在此区域分布较少。为了进一步了解GF-6与Landsat8提取石漠化等级的差异,本研究对比各等级石漠化面积

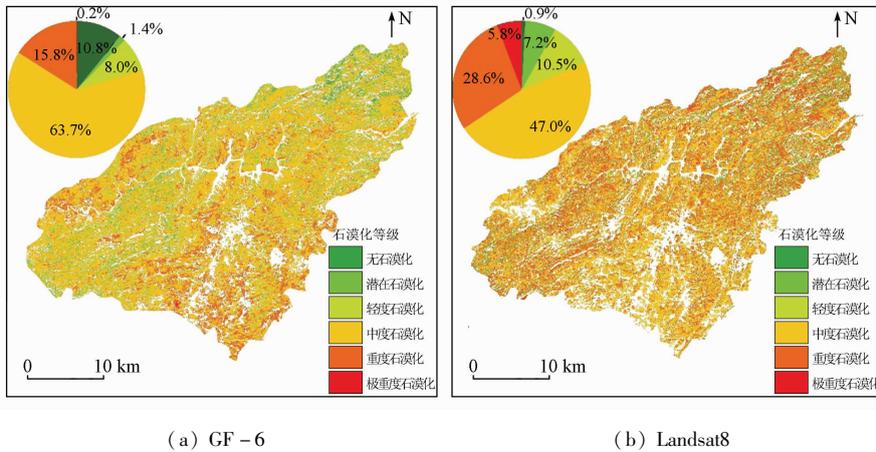


图7 GF-6 和 Landsat8 各等级石漠化分布与石漠化面积占比

Fig. 7 Distribution of grade and the percentage of rocky desertification area in GF-6 and Landsat8

发现,2种遥感数据源提取中度石漠化面积差异最大,GF-6提取面积比Landsat8提取面积高16.7百分点,约为165.99 km²;轻度石漠化面积差异最小,GF-6提取面积比Landsat8提取面积低2.5百分点,约为16.14 km²。

3.3.2 石漠化等级评价

为了检验各级石漠化分类精度,本研究利用实际样点对石漠化等级分布进行了精度评价,如表4所示。由于在对研究区石漠化等级评价过程中发现,极重度石漠化区域面积占比很小,且分布零散。因此,本研究在对石漠化等级提取精度分析过程中,

未考虑极重度石漠化状况。通过表4可知,GF-6提取结果OA为0.76,Kappa系数为0.56,而Landsat8提取结果OA为0.59,Kappa系数为0.38,且GF-6提取结果的RMSE要低于Landsat8,这说明GF-6石漠化信息提取能力要优于Landsat8。在表4中,GF-6提取中度石漠化的UA最高为0.87,而重度石漠化的UA最低为0.45,无石漠化的PA最高为1,重度石漠化的PA最低为0.38;Landsat8提取中度石漠化的UA最高为0.65,而无石漠化的UA最低为0.25,无石漠化的PA最高为1,重度石漠化的PA最低为0.26。

表4 GF-6 与 Landsat8 各等级石漠化精度评价

Tab. 4 Accuracy evaluation of rocky desertification at various levels in GF-6 and Landsat8

石漠化等级	GF-6					Landsat8				
	UA	PA	OA	Kappa系数	RMSE	UA	PA	OA	Kappa系数	RMSE
无石漠化	0.75	1.00				0.25	1.00			
潜在石漠化	0.79	0.61				0.36	0.71			
轻度石漠化	0.59	0.94	0.76	0.56	0.64	0.48	0.70	0.59	0.38	1.27
中度石漠化	0.87	0.84				0.65	0.86			
重度石漠化	0.45	0.38				0.64	0.26			

4 讨论

本研究基于GF-6与Landsat8遥感数据和混合像元分解方法对贵州省普定县进行石漠化信息的提取,结果表明GF-6石漠化信息评价能力要优于Landsat8,其中GF-6植被端元识别的能力尤为突出,且混合像元分解方法可以作为一种石漠化监测手段应用于实际,但本研究仍有改进之处。

1)从混合像元分解提取方法上看,研究是基于线性混合模型,将VCA与FCLS相结合对遥感数据进行石漠化信息的提取。VCA是一种纯数学的方法,在混合像元分解的过程中易忽略影像的空间信

息从而造成误差,后续的研究中可以采用何晓宁等^[27]提出的改良后的VCA或者其他端元提取方法,如PPI和SMACC等,来提高提取的精度。

2)从GF-6的红边波段上看,本研究通过对比提取植被、基岩与土壤端元波谱曲线,发现GF-6植被端元波谱曲线在红边波段范围内相较于土壤、基岩端元有显著变化趋势,而Landsat8植被端元波谱曲线在相应的波谱范围内无变化趋势,因此GF-6相较于Landsat8更容易识别出植被端元。本研究未对GF-6搭载的红边波段的具体作用做出量化评价,GF-6植被端元提取精度要高于Landsat8,但GF-6空间分辨率高于Landsat8,无法判断出红边波段对植被端元提取精度影响的大小。在后

续的研究中可以利用红边波段构建植被指数,并与其他卫星波段构成的植被指数相比较,研究其在植被信息提取方面的差异,从而做出更为精准的评价。

3)从石漠化信息端元上看,植被与基岩端元在空间分布上具有相似的特征,但提取精度上,GF-6所提取的植被端元OA与Kappa系数分别比Landsat8提取精度高0.18与0.21, RMSE低0.52, GF-6所提取的基岩端元OA比Landsat8高0.18, Kappa系数高0.21, RMSE低0.34,即GF-6石漠化信息端元提取精度要优于Landsat8,而这与Pu等^[28]得出的结果恰恰相反。从植被端元看,GF-6加入了红边波段使得其提取结果精度大大提高;从基岩端元看,Landsat8有进行碳酸盐岩识别的短波红外波段,能更好地提取基岩端元,但其提取精度却不如GF-6提取结果,这可能是由于卫星的空间分辨率与影像的拍摄时间所导致,但其具体原因还需进行进一步的研究。

4)从石漠化等级评价上看,本研究将混合像元分解所得到的植被与基岩端元分布图按0.56与0.44的权重进行矢量叠加,得到石漠化等级分布情况,发现GF-6提取石漠化等级精度要优于Landsat8。本研究只考虑植被覆盖度与基岩裸露率2种因子对石漠化状况的影响,而实际中影响石漠化状况的因子还有土壤和坡度等。习慧鹏等^[26]在进行石漠化等级评价时加入了坡度表征因子,其OA达到了80%,高于本研究提取结果。在后续研究中可以加入其他影响石漠化状况的因子,从而提高石漠化提取精度。

5 结论

本研究利用混合像元分解方法对GF-6和Landsat8提取石漠化信息能力进行比较与评价得到以下结论:

1)在红边波段范围内,GF-6植被端元波谱变化明显区别于基岩与土壤端元,而Landsat8植被、基岩与土壤端元在此范围内无明显差异特征。因此在混合像元分解时,GF-6在区分植被、基岩与土壤端元上更有效。

2)石漠化信息端元提取精度上,GF-6和Landsat8提取植被端元OA分别为0.63和0.45, Kappa系数分别为0.50和0.29, RMSE分别为1.19和1.71; GF-6和Landsat8提取基岩端元OA分别为0.79和0.61, Kappa系数分别为0.63和0.42, RMSE分别为0.54和0.88,表明GF-6提取石漠化信息端元精度高于Landsat8。

3)石漠化等级评价上,GF-6和Landsat8提取石漠化等级OA分别为0.76和0.59, Kappa系数分别为0.56和0.38, RMSE分别为0.64和1.27,表明GF-6提取石漠化等级精度高于Landsat8。在后续研究中可以利用SMACC和PPI等端元提取方法和增加其他石漠化影响因子提高石漠化提取精度,利用红边波段构建植被指数对GF-6红边波段进行定量评价。

参考文献(References):

- [1] 王世杰. 喀斯特石漠化概念演绎及其科学内涵的探讨[J]. 中国岩溶, 2002(2): 31-35.
Wang S J. Concept deduction and its connotation of Karst rocky desertification[J]. *Carsologica Sinica*, 2002(2): 31-35.
- [2] 姚永慧. 中国西南喀斯特石漠化研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 2014, 33(1): 76-84.
Yao Y H. Progress and prospect of Karst rocky desertification research in Southwest China[J]. *Progress in Geography*, 2014, 33(1): 76-84.
- [3] Qian C, Qiang H, Wang F, et al. Optimization of rocky desertification classification model based on vegetation type and seasonal characteristic[J]. *Remote Sensing*, 2021, 13(15): 2935.
- [4] Zhang J Y, Dai M H, Wang L C, et al. The challenge and future of rocky desertification control in Karst areas in southwest China[J]. *Solid Earth*, 2016, 7(1): 83-91.
- [5] Zhang J, Liu M, Liu X, et al. Spectral analysis of seasonal rock and vegetation changes for detecting Karst rocky desertification in southwest China[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2021, 100: 102337.
- [6] 种国双, 海月, 郑华, 等. 中国西南喀斯特石漠化治理现状及对策[J]. 长江科学院院报, 2021, 38(11): 38-43.
Zhong G S, Hai Y, Zheng H, et al. Current situation and measures of Karst rocky desertification control in Southwest China[J]. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2021, 38(11): 38-43.
- [7] 杜文鹏, 闫慧敏, 甄霖, 等. 西南岩溶地区石漠化综合治理研究[J]. 生态学报, 2019, 39(16): 5798-5808.
Du W P, Yan H M, Zhen L, et al. The experience and practice of desertification control in Karst region of southwest China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(16): 5798-5808.
- [8] Li Y, Xie J, Luo G, et al. The evolution of a Karst rocky desertification land ecosystem and its driving forces in the Houzhaihe area, China[J]. *Open Journal of Ecology*, 2015, 5(10): 501-512.
- [9] Tong X, Wang K, Yue Y, et al. Quantifying the effectiveness of ecological restoration projects on long-term vegetation dynamics in the Karst regions of Southwest China[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2017, 54: 105-113.
- [10] Wang H, Li Q, Du X, et al. Quantitative extraction of the bedrock exposure rate based on unmanned aerial vehicle data and Landsat8 OLI image in a Karst environment[J]. *Frontiers of Earth Science*,

- 2018, 12(3):481-490.
- [11] 王明明, 王世杰, 白晓永, 等. 典型小流域喀斯特石漠化演变特征及其关键表征因子与驱动因素[J]. 生态学报, 2019, 39(16):6083-6097.
Wang M M, Wang S J, Bai X Y, et al. Evolution characteristics of Karst rocky desertification in typical small watershed and the key characterization factor and driving factor[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(16):6083-6097.
- [12] 郑惠茹, 罗红霞, 向海燕, 等. 基于面向对象的石漠化山区植被信息提取及分布特征研究[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(3):648-657.
Zheng H R, Luo H X, Xiang H Y, et al. Research on vegetation information extraction and distribution characteristics of rocky desertification area by means of object oriented approach[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2018, 27(3):648-657.
- [13] 周迪, 倪忠云, 杨振宇. 面向对象的喀斯特地区石漠化遥感信息提取研究——以贵州省大方地区为例[J]. 地质力学学报, 2018, 24(2):263-273.
Zhou D, Ni Z Y, Yang Z Y. Object-oriented remote sensing information extraction method for rocky desertification in Karst area: A case study of Dafang County, Guizhou[J]. *Journal of Geomechanics*, 2018, 24(2):263-273.
- [14] 徐红枫, 王妍, 刘云根, 等. 基于 Google Earth Engine 的典型峰丛洼地石漠化时空演变与驱动因子分析——以西畴县为例[J]. 水土保持研究, 2022, 29(4):407-414.
Xu H F, Wang Y, Liu Y G, et al. Analysis of the spatial and temporal evolution and driving factors of rocky desertification in typical cluster depression areas in the past 30 years based on Google Earth Engine: Taking Xichou County as an example[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2022, 29(4):407-414.
- [15] 叶杰, 张斌, 许军强, 等. 遥感植被指数增强石漠化信息研究[J]. 地理空间信息, 2021, 19(9):14-18, 157.
Ye J, Zhang B, Xu J Q, et al. Research on the enhancement of stony desertification information by remote sensing vegetation indexes[J]. *Geospatial Information*, 2021, 19(9):14-18, 157.
- [16] Yang H, Deng F, Fu H C, et al. Estimation of rape-cultivated area based on decision tree and mixed pixel decomposition[J]. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 2021, 49: 1285-1292.
- [17] 陈姣, 黄远程, 李朋飞. 多季相混合像元部分分解特征的不透水面积分类[J]. 测绘科学, 2021, 46(4):90-99.
Chen J, Huang Y C, Li P F. Impervious surface area classification based on partial unmixing of multi-season mixed pixels[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2021, 46(4):90-99.
- [18] 刘蓉姣, 张加龙, 陈培高. 基于混合像元分解的香格里拉市高山松空间分布变化研究[J]. 西北林学院学报, 2021, 36(1):9-17.
Liu R J, Zhang J L, Chen P G. Spatial distribution changes of the pinus densata forests in Shangrila City based on mixed pixel decomposition[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2021, 36(1):9-17.
- [19] 杨明星, 张加龙, 曹影, 等. 基于 Landsat8 的云南松光谱端元选择与评价研究[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2017, 37(3):165-169.
Yang M X, Zhang J L, Cao Y, et al. Evaluation on spectral end-member of pinus yunnanensis based on Landsat8[J]. *Journal of Southwest Forestry University (Natural Sciences)*, 2017, 37(3):165-169.
- [20] 方凌江, 粘永健, 雷树涛, 等. 基于顶点成分分析的高光谱图像端元提取算法[J]. 舰船电子工程, 2014, 34(8):154-157, 181.
Fang L J, Zhan Y J, Lei S T, et al. Endmembers extraction for hyperspectral images based on vertex component analysis[J]. *Ship Electronic Engineering*, 2014, 34(8):154-157, 181.
- [21] 王丽, 王威, 刘勃妮. 顶点成分分析法应用于高光谱图像端元提取[J]. 信息技术, 2022(1):37-43.
Wang L, Wang W, Liu B N. Application of vertex component analysis in end member extraction for hyperspectral image[J]. *Information Technology*, 2022(1):37-43.
- [22] 王忠良. 基于线性混合模型的高光谱图像压缩感知研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2015.
Wang Z L. Study on compressive sensing of hyperspectral imagery based on linear mixing models[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2015.
- [23] 张文源, 王百田. 贵州喀斯特石漠化分类分级探讨[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2015, 39(2):148-154.
Zhang W Y, Wang B T. Discussion on classification and gradation of Karst rocky desertification in Guizhou Province[J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2015, 39(2):148-154.
- [24] 胡顺光, 张增祥, 夏奎菊. 遥感石漠化信息的提取[J]. 地球信息科学学报, 2010, 12(6):870-879.
Hu S G, Zhang Z X, Xia K J. Information extraction of Karst rocky desertification using remote sensing[J]. *Journal of Geo-Information Science*, 2010, 12(6):870-879.
- [25] 王睿卿, 蒋晓辉, 聂桐. 基于地理探测器的珠江流域 NDVI 时空变化及驱动力分析[J]. 人民珠江, 2022, 43(7):61-73.
Wang R Q, Jiang X H, Nie T. Spatiotemporal variation NDVI and its driving forces in the Pearl River basin based on geodetector[J]. *Pearl River*, 2022, 43(7):61-73.
- [26] 刁慧鹏, 王世杰, 白晓永, 等. 西南典型喀斯特地区石漠化时空演变特征——以贵州省普定县为例[J]. 生态学报, 2018, 38(24):8919-8933.
Xi H P, Wang S J, Bai X Y, et al. Spatio-temporal characteristics of rocky desertification in typical Karst area of Southwest China: A case study of Puding County, Guizhou Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(24):8919-8933.
- [27] 何晓宁, 曹建农, 高坡, 等. 基于顶点成分分析法的端元提取改进算法[J]. 测绘通报, 2013(7):30-34, 81.
He X N, Cao J N, Gao P, et al. An improved algorithm of endmember extraction based on vertex component analysis[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2013(7):30-34, 81.
- [28] Pu J, Zhao X, Dong P, et al. Extracting information on rocky desertification from satellite images: A comparative study[J]. *Remote Sensing*, 2021, 13(13):2497.

Differences in rocky desertification information extracted from GF-6 and Landsat8 using the pixel unmixing method: A case study of Puding County

ZHANG Shibo^{1,2}, HU Wenmin^{2,3,4}, HAN Zhenying¹, LI Guo^{2,3}, WANG Zhongcheng¹, GAO Zhihai⁴

(1. College of Forestry, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China; 2. Engineering Technology

Research Center of Big Data for Landscape Resources in Natural Protected Areas of Hunan Province, Changsha 410004, China;

3. Department of Landscape Architecture, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China;

4. Institute of Forest Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100001, China)

Abstract: Different moderate-resolution remote sensing satellites exhibit various effects in extracting rocky desertification information using the pixel unmixing method. Comparing these various effects can help further improve the extraction accuracy of rocky desertification information. By extracting information on rocky desertification in Puding County, Guizhou Province from GF-6 and Landsat8 using the pixel unmixing method, this study investigated the end member characteristics and desertification grade differences between GF-6 and Landsat8. Furthermore, this study explored the feasibility and effectiveness of GF-6 in extracting rocky desertification information. The results are as follows: ① Within the red-edge band of GF-6 data, the vegetation end member exhibited significantly different spectrum curves from bedrock and soil end members, making it easier to identify the vegetation end member. ② In terms of end member extraction accuracy of rocky desertification information, GF-6 and Landsat8 yielded overall accuracy (OA) of 0.63 and 0.45 in extracting the vegetation end member, respectively, corresponding to Kappa coefficients of 0.50 and 0.29 and RMSEs of 1.19 and 1.71, respectively. Moreover, GF-6 and Landsat8 yielded OA of 0.79 and 0.61 in extracting the bedrock end member, respectively, corresponding to Kappa coefficients of 0.63 and 0.42 and RMSEs of 0.54 and 0.88, respectively. ③ In the evaluation of rocky desertification grades, GF-6 and Landsat8 yielded OA of 0.76 and 0.59 in extracting rocky desertification grades, respectively, corresponding to Kappa coefficients of 0.56 and 0.38 and RMSEs of 0.64 and 1.27. Therefore, GF-6 outperforms Landsat8 in the accuracy of extracting rocky desertification information using the pixel unmixing method. In addition, the red-edge band of GF-6 data can effectively identify the vegetation information in areas with rocky desertification. In summary, the pixel unmixing method based on GF-6 data can be practically applied to rocky desertification monitoring.

Keywords: rocky desertification; GF-6; vertex component analysis method; fully constrained least squares method; pixel unmixing

(责任编辑: 陈昊旻)