

[21] 石振东.误差理论与曲线拟合[M].哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2010:108-111.

doi:10.19509/j.cnki.dzkq.2019.0331

梁丹迪,周可法,王珊珊,等.不同空间分辨率高光谱遥感数据对蚀变矿物信息提取的影响[J].地质科技情报,2019,38(3):282-289.

不同空间分辨率高光谱遥感数据 对蚀变矿物信息提取的影响

梁丹迪^{1,2,3}, 周可法^{1,2}, 王珊珊^{1,2}, 王吉林^{1,2}

(1.中国科学院新疆生态与地理研究所新疆矿产资源研究中心, 乌鲁木齐 830011; 2.新疆矿产资源与数字地质
重点实验室, 乌鲁木齐 830011; 3.中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:高光谱遥感由于其精细的光谱分辨率,在定量分析物质成分上独具优势,因此广泛应用于提取蚀变矿物信息。探讨了不同空间分辨率高光谱遥感数据对蚀变矿物信息提取的影响,采用最邻近插值法、双线性插值法和三次卷积插值法3种重采样方法对美国 Cuprite 矿区空间分辨率为 20 m 的 AVIRIS 影像做空间尺度扩展,分别扩展到空间分辨率为 25,30,35,40,45,50 m。采用 SAM 分类方法从不同空间分辨率影像中提取蚀变矿物信息,使用混淆矩阵评价提取结果。一方面比较不同重采样方法对后期蚀变矿物信息提取精度产生的影响;另一方面比较不同空间分辨率对高光谱遥感影像蚀变矿物信息提取精度的影响。结果表明:①采用不同的重采样方法做空间尺度扩展,会影响后期蚀变矿物信息提取的精度,但是数值变化相对较小。相比之下,最邻近插值法重采样下影像蚀变矿物信息提取的精度稍好一些。②在中等空间分辨率(20~50 m)范围内,基于 50 m 空间分辨率的高光谱影像,蚀变信息提取的总体精度和 Kappa 系数较 20 m 的明显下降。其中最邻近插值法重采样下的总体精度和 Kappa 系数分别下降了 7.94%,0.09;双线性插值法重采样下的总体精度和 Kappa 系数分别下降了 6.87%,0.08;三次卷积插值法重采样下的总体精度和 Kappa 系数分别下降了 6.68%,0.08。较高空间分辨率影像的总体精度和 Kappa 系数整体上均高于较低空间分辨率的情形。

关键词:高光谱遥感;AVIRIS;重采样;空间尺度扩展;蚀变矿物信息提取

中图分类号:P627 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-7849(2019)03-0282-08

Effects of Different Spatial Resolution Hyperspectral Remote Sensing Data on the Extraction of Alteration Minerals Information

Liang Dandi^{1,2,3}, Zhou Kefa^{1,2}, Wang Shanshan^{1,2}, Wang Jinlin^{1,2}

(1.Xinjiang Research Center for Mineral Resources, Xinjiang Institute of Ecology and Geography,
Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 2.Xinjiang Key Laboratory of Mineral
Resources and Digital Geology, Urumqi 830011, China;
3.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Hyperspectral remote sensing has high spectral resolution and has unique advantages in the

收稿日期:2018-06-28 **编辑:**刘江霞

基金项目:中国科学院“一带一路”团队数字地质与成矿预测项目(2017-XBZG-BR-002);国家自然科学基金项目(41602339; U1803241)

作者简介:梁丹迪(1993—),女,正在攻读地球探测与信息技术专业硕士学位,主要从事遥感地质方面的研究工作。E-mail:liang-dandi16@mailsucas.ac.cn

通信作者:周可法(1972—),男,研究员,主要从事资源环境数据库建设、地质资源遥感、地理信息系统和生态过程与演化模拟、中亚地球科学方面的研究工作。E-mail:zhoukf@ms.xjb.ac.cn

quantitative analysis of material composition. Therefore, it is widely used to identify alteration mineral information. This paper discusses the effects of different spatial resolution hyperspectral remote sensing data on the extraction of alteration minerals information. The paper applies three resampling methods of Nearest Neighbor interpolation, Bilinear interpolation and Cubic Convolution interpolation to extend the spatial scale of the AVIRIS hyperspectral image with a spatial resolution of 20 m in the Cuprite Mining District in the United States and extend it to spatial resolution image data of 25, 30, 35, 40, 45 m and 50 m. On the one hand, the paper compares the effects of different resampling methods for the accuracy of alteration information extraction. On the other hand, the paper employs the SAM (Spectral Angle Mapper) classification method to extract alteration minerals information from the different spatial resolution images and then uses a confusion matrix to verify the extraction results and compares the overall accuracy. The results show that: (1) Different resampling methods used to extent the spatial scale affect the accuracy of alteration information extraction, but the numerical changes are relatively small. Among them, the Nearest Neighbor interpolation method is slightly better. (2) In the medium spatial resolution (20—50 m) range, the Overall Accuracy and Kappa coefficient of the alteration information extraction decreases significantly. With the three resampling methods, the overall accuracy of the alteration information extraction drops by 7.94%, 6.87%, 6.68%, and the Kappa coefficient decreases by 0.09, 0.08, 0.08, respectively. The overall accuracy of alteration information extraction from higher spatial resolution image is higher than that of lower spatial resolution. This shows that although the alteration information extraction depends on the fine spectral resolution of the hyperspectral image to quantitatively identify the components of minerals, it is generally affected by the spatial resolution as well.

Key words: hyperspectral remote sensing; AVIRIS; resample; spatial scale extended; alteration mineral information extraction

随着遥感技术的不断发展和普及、遥感影像分辨率的不断提升,以及多源遥感数据的不断应用,遥感影像尺度效应产生的影响越来越大,诸多学者开始关注遥感数据尺度效应的一般规律,以及在各个应用领域中产生的影响^[1]。目前,有关遥感空间尺度的研究主要集中在多光谱遥感影像的应用中,如在农业领域中农作物面积遥感监测的尺度效应^[2]、森林树种识别最佳尺度,在景观格局领域中景观破碎度的尺度效应^[1],在多光谱城市影像分类中土地覆盖类型^[3]、居民地提取的空间尺度效应^[4],以及多光谱遥感多尺度纹理识别岩性等^[5]。在高光谱遥感应用中有关空间尺度效应的研究较少,且主要集中在植被物种分类及生态系统观测领域^[6-7]。

蚀变矿物是围岩蚀变的产物,而围岩蚀变是热液矿床成矿作用发生的重要标志之一^[8-9]。由于高光谱遥感在定量分析岩矿组分上独具优势,因此应用高光谱遥感提取蚀变矿物信息是找矿的有效方法。蚀变矿物信息的提取不单受到遥感影像光谱分辨率的影响,也与影像的空间分辨率有关,空间分辨率越高并不能保证遥感信息提取的精度越高^[10]。随着成像光谱技术的发展以及搭载平台的多样化,航空高光谱遥感在岩矿信息探测方面应用越来越多,可以获取多种不同空间分辨率的高光谱数据。目前,针对不同空间分辨率的高光谱数据对蚀变矿

物信息提取的影响研究较少。

笔者尝试使用 AVIRIS 高光谱数据探讨不同空间分辨率对蚀变矿物信息提取的影响,使用美国内华达州 Cuprite 矿区高光谱数据,采用重采样的方法对其做空间尺度扩展,模拟不同空间分辨率的影像。通过对不同空间分辨率影像的图像统计特征以及蚀变信息提取结果的比较分析,探讨中等空间分辨率(20~50 m)^[3]的高光谱影像对蚀变矿物信息提取的影响。这不仅为研究不同空间分辨率的高光谱数据对蚀变矿物信息提取的影响提供借鉴,也对选择合适空间分辨率的航空高光谱数据提取蚀变矿物信息有重要的参考价值,降低数据获取成本,提高航空高光谱地质填图效率。

1 研究区与数据源

1.1 数据源

研究使用机载可见光/近红外成像光谱仪 AVIRIS 获取的美国内华达州 Cuprite 铜矿区 1995 年的高光谱成像数据(图 1)。AVIRIS 高光谱遥感器的光谱范围是 400~2 500 nm,共 224 个波段,光谱分辨率为 10 nm,空间分辨率为 20 m^[11]。研究选取的数据已经过大气校正,包含短波红外连续的 50 个波段(172~221),波谱范围为 1 990.8~2 479 nm。

1.2 研究区概况

Cuprite 铜矿区位于美国内华达州 Esmeralda County, Goldfield 镇南约 15 km 处, 95 号公路从西北—东南贯穿全区。矿区热液蚀变广泛, 主要是硅化带、蛋白石化带和泥化带^[12]。硅化带在高速公路的东边广泛分布, 主要蚀变矿物为石英和少量方解石、明矾石和高岭石。蛋白石化带分布广泛, 主要为明矾石、高岭石、地开石、水铍长石和白云母等。泥化带蚀变较平缓, 分布在蛋白石化带的边缘, 主要有高岭石、蒙脱石和少量蛋白石^[13]。Cuprite 矿区矿物类型多样, 出露良好, 自 20 世纪 70 年代开始, 就是许多遥感地质研究项目的重要试验区, 已经积累了丰富的研究资料, 为研究提供了可靠的数据支持^[14]。

1.3 精度评价数据处理

为了验证不同空间分辨率影像蚀变矿物信息提取的结果, 研究参考 Clark 等^[15]对 Cuprite 矿区的填图结果图, 此图已经过 X-射线衍射分析等技术和野外检查验证。因此, 准确性较高, 为不同空间分辨率影像蚀变信息提取结果的比较提供了数据条件。在进行精度评价之前, 先将 1995 年 Cuprite 矿区填图结果图(验证数据)与 AVIRIS 原始 20 m 空间分辨率的高光谱数据进行配准, 便于后面进行遥感验证和对比分析。

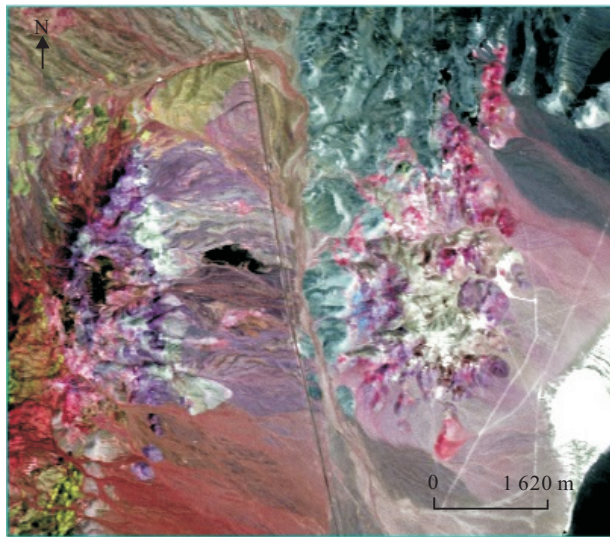


图1 Cuprite 铜矿区 AVIRIS 高光谱数据

Fig.1 AVIRIS imaging spectrometer data of Cuprite copper mining district, Nevada

2 研究方法

2.1 高光谱影像数据空间尺度扩展

研究采用重采样的方法, 对原始 AVIRIS 影像做空间尺度扩展, 实现模拟不同空间分辨率遥感影

像的目的。目前最常用的重采样方法为最邻近插值法、双线性插值法和三次卷积插值法^[16]。本次研究使用这 3 种方法分别对影像进行重采样, 实现空间尺度扩展。采用 ARCGIS10.3 软件将原始 20 m 空间分辨率的 AVIRIS 高光谱影像分别重采样, 空间尺度扩展到 25, 30, 35, 40, 45, 50 m。

2.2 蚀变矿物信息提取

2.2.1 光谱端元识别方法

当一个影像像元中只包含一种地物时, 该像元称为纯像元, 又称为端元; 当一个像元内包含多种地物时, 称为混合像元^[17]。高光谱遥感光谱分辨率高, 一个像元内往往包含多个地物信息, 每个地物都有其独特的波谱特征, 而该像元的光谱信息是包含的几种地物光谱信息的综合^[17]。因此, 使用高光谱遥感数据识别地物之前, 先要进行光谱端元的提取。纯像元指数算法(pixel purity index, 简称 PPI)是一种在高光谱影像中寻找波谱纯像元的方法。PPI 算法的实质是将端元往给定的投影线上投影, 查看端元投影的次数, 端元一般位于影像云点比较远的位置, 因而端元投影的次数就比较多, 即处于凸多面体顶点的投影次数最多, 而处于凸面体内部的端元投影次数较少^[8]。

2.2.2 蚀变矿物信息提取方法

随着高光谱遥感在岩矿信息提取方面应用的深入, 出现了多种不同的蚀变矿物信息提取方法。其中, 光谱角制图法(spectral angle mapper, 简称 SAM)是一种自动对比图像光谱和单个光谱的方法, 该算法通过计算 2 个光谱之间的光谱角度来确定 2 个光谱之间的相似性, 进而识别地物^[18]。波谱之间夹角的余弦值越小, 说明两者的相似性越大。光谱角匹配法识别能力强, 并可以减弱光照和地形的影响, 在地质填图中应用广泛^[19]。

SAM 两矢量广义夹角余弦公式为:

$$\cos\alpha = \frac{X \cdot Y}{|X| \cdot |Y|} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot y_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n y_i^2}}$$

式中: n 为波段数; $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ 分别表示 2 个光谱向量在 n 波段上的响应值; α 为光谱夹角。

2.3 蚀变矿物信息提取精度验证

精度评价是对提取结果的判对率或判错率进行分析, 是对提取结果的好坏作出判断的一种验证^[4]。混淆矩阵是用来表示精度评价的一种标准格式, 从中可以清楚地看到每个地物正确分类的个数(或百分比)以及被错分的类别和个数。本次研究选取混淆矩阵衍生出来的指标的总精度和 Kappa 系数来进行

评价。其中,总体精度是指被正确分类的类别像元数与总的类别个数的比值,可以很好地表征分类精度。

3 分析与讨论

3.1 不同空间分辨率对蚀变矿物信息提取的影响

3.1.1 SAM提取不同空间分辨率影像的蚀变矿物信息及精度评价

高光谱遥感波段众多,为了从中有效提取端元,提高数据处理效率,通常需要降低原始数据的维数,分离数据中的噪声^[20]。首先,使用最小噪声分离变换(MNF)方法对 AVIRIS 数据做变换,实现数据降维和去噪。其次,使用 PPI 算法从 MNF 变换的结果中提取纯像元,生成纯像元影像。然后,将 PPI 结果导入到 N 维可视化器中,本研究选取 MNF 变换后的前 10 个波段作为空间维数。从 N 维可视化器中交互式选取有多个点集群或者集群拐角的一个或者多个像素点,定义为端元^[21]。最后,通过 ENVI 的波谱分析工具,将提取的端元光谱与 USGS 光谱库中已知的波谱曲线进行匹配,根据匹配度识别端元光谱的蚀变矿物类别。

为了便于说明问题,本次研究最后确定提取 Cuprite 矿区的 5 种匹配得分高、易区分的端元光谱(图 2),分别是明矾石(alunite)、白云母(muscovite)、高岭石(kaolinite)、水铍长石(buddingtonite)和地开石(dickite)。5 种端元光谱作为端元光谱集,使用 SAM 分类算法对 AVIRIS 影像进行蚀变矿物信息提取。在 SAM 算法的分类中,波谱角的阈值直接影响地物识别、分类精度,即选取过大或者过小的波谱角阈值都会导致目标地物被错分或者漏分^[22]。根据相关的文献^[8,22],将波谱角阈值设置为

0.1 rad(5.73°,下同)。为了保证蚀变矿物信息提取结果的可比性,对不同分辨率的影像均采用相同的端元波谱,且 SAM 算法波谱角阈值 α 均设置为 0.1 rad。

在 Cuprite 矿区 1995 年的填图结果图^[15]上分别选取明矾石、白云母、高岭石、水铍长石和地开石 5 种矿物的感兴趣区,作为验证 SAM 蚀变矿物信息提取精度的样本。同样地,为了保证蚀变矿物信息提取精度的可比性,利用同一验证样本对不同空间分辨率的影像蚀变矿物信息提取精度进行验证。验证样本如表 1 所示。

表 1 精度验证样本

Table 1 Verification samples

类别	验证样本像元个数
明矾石	349
白云母	386
高岭石	704
水铍长石	18
地开石	40

3.1.2 不同空间分辨率下蚀变矿物信息提取结果比较

SAM 算法分别提取了 3 种重采样方法获得的 7 个空间分辨率下 AVIRIS 影像的蚀变矿物信息,选取了其中 20, 30, 40, 50 m 的提取结果。最邻近插值法、双线性插值法和三次卷积插值法重采样获得的影像蚀变矿物信息提取结果分别如图 3~5 所示,从中选取了 1~4 处轮廓清晰的提取区域,定性地进行目视效果对比。

对比 A, B, C, D 4 个空间分辨率的提取效果,从图 3~5 中整体目视效果来看:20 m 空间分辨率的蚀变矿物信息提取图目视效果更好,提取的信息更精细,而 30, 40, 50 m 空间分辨率的提取效果更粗糙。

(1)如图 3 中 1 处提取的蚀变矿物主要是明矾石和白云母。图 3-A 中明矾石(紫色区域)的提取结果与验证图^[15]中吻合很好,轮廓清晰准确。随着图 3-B, C, D 空间分辨率的降低,明矾石和白云母的提取结果出现明显的相互错分,有些是白云母(橘色区域)的像元,被错误地识别成明矾石(紫色区域)。

(2)如图 3 中 2 处提取的蚀变矿物主要是高岭石和白云母,但在验证图^[15]中 2 处是高岭石,相比之下图 3-A 中提取结果不太理想,原本是高岭石的像元被错分成了白云母,这与蚀变矿物信息提取的方法有关^[8]。但是随着图 3-A~D 空间分辨率的降低,高岭石(黄色区域)的轮廓范围在变小,这种错误分类成白云母的情况越来越严重,说明随着空间分

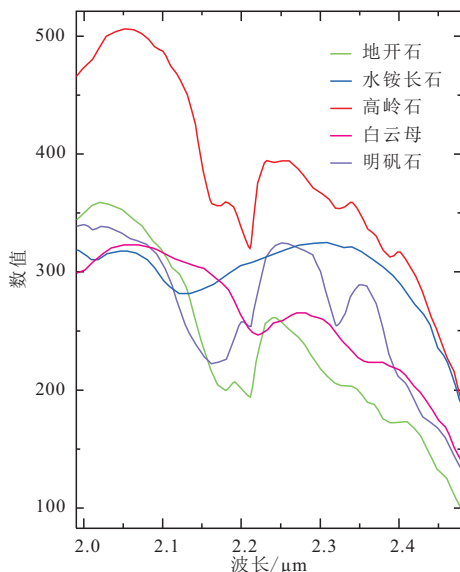


图 2 从图像中提取的端元波谱

Fig.2 Endmembers extracted from AVIRIS image

分辨率的降低,蚀变矿物信息提取的准确性在下降。

(3)如图4中3处提取的蚀变矿物主要是白云

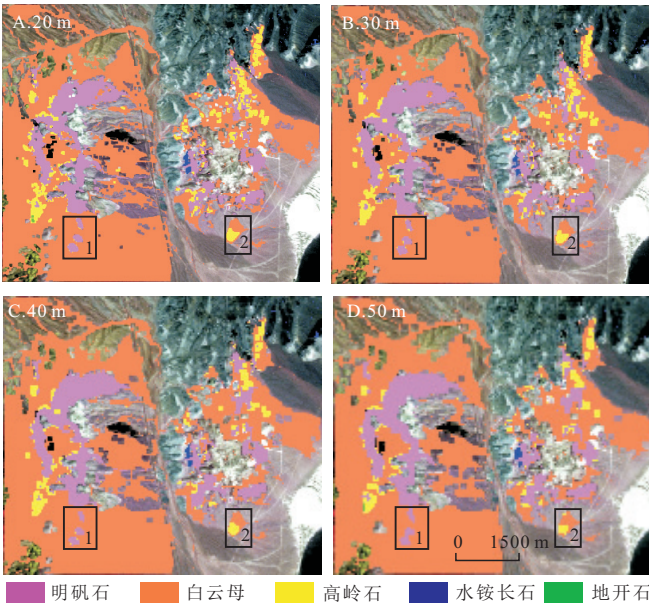


图 3 最邻近插值法重采样下不同空间分辨率的 AVIRIS 影像蚀变矿物信息提取结果(1,2 为选取区域编号)

Fig.3 Results of AVIRIS image alteration information extraction with 20 m(A),30 m(B),40 m(C), and 50 m(D) spatial resolution obtained by the Nearest Neighbor interpolation resampling

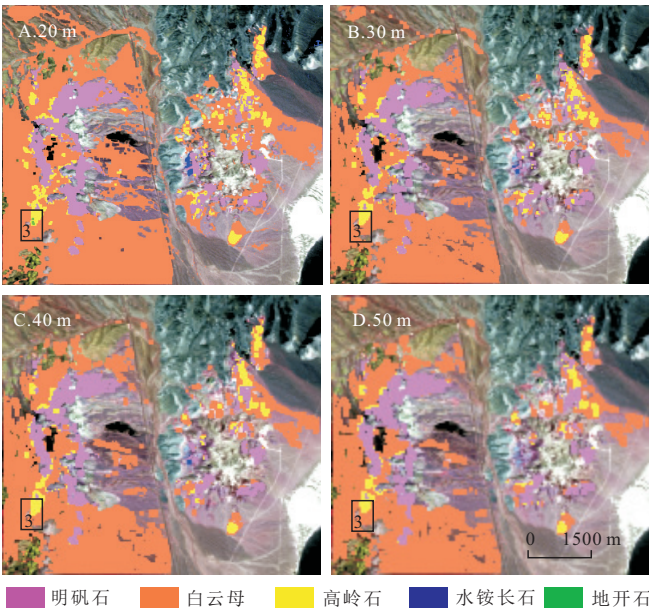


图 4 双线性插值法重采样下不同空间分辨率的 AVIRIS 影像蚀变矿物信息提取结果(3 为选取区域编号)

Fig.4 Results of AVIRIS image alteration information extraction with 20 m(A),30 m(B),40 m(C), and 50 m(D) spatial resolution obtained by the Bilinear interpolation resampling

母、高岭石和地开石。图 4-A 中的提取结果与验证图^[15]中较吻合,但随着图 4-B~D 空间分辨率的降低,地开石(绿色区域)未提取出来,提取结果只有白云母和高岭石。

(4)图 5-A 中蓝色区域提取的蚀变矿物为水铍长石,与验证图^[15]较为吻合。随着图 5-B~D 空间分辨率的降低,在图 5-D 中未提取出水铍长石(蓝色

区域)。
3.2 重采样方法和空间分辨率对蚀变矿物信息提取精度的影响

本次研究采用 3 种不同的重采样方法对遥感影像进行空间尺度扩展,之后分别做蚀变矿物信息提取。通过精度验证得到总体精度和 Kappa 系数随空间分辨率的变化情况,如图 6~8 所示。可以比较

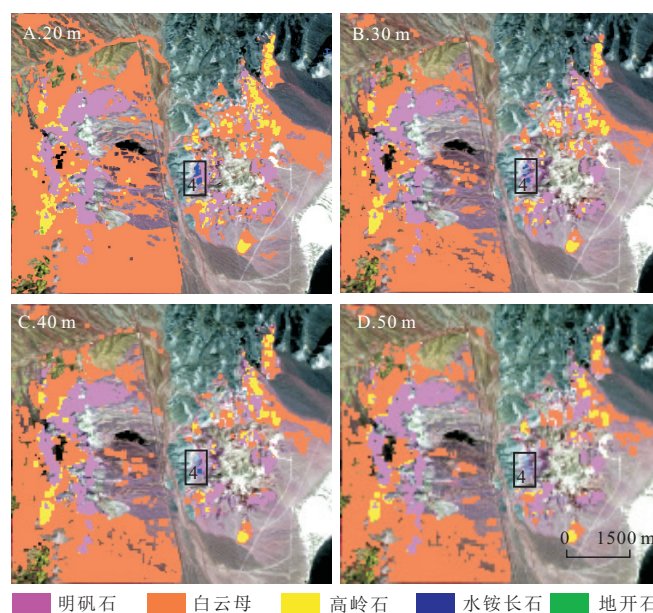


图 5 三次卷积插值法重采样下不同空间分辨率的 AVIRIS 影像蚀变矿物信息提取结果(4 为选取区域编号)

Fig.5 Results of AVIRIS image alteration information extraction with 20 m(A), 30 m(B), 40 m(C), and 50 m(D) spatial resolution obtained by the Cubic Convolution interpolation resampling

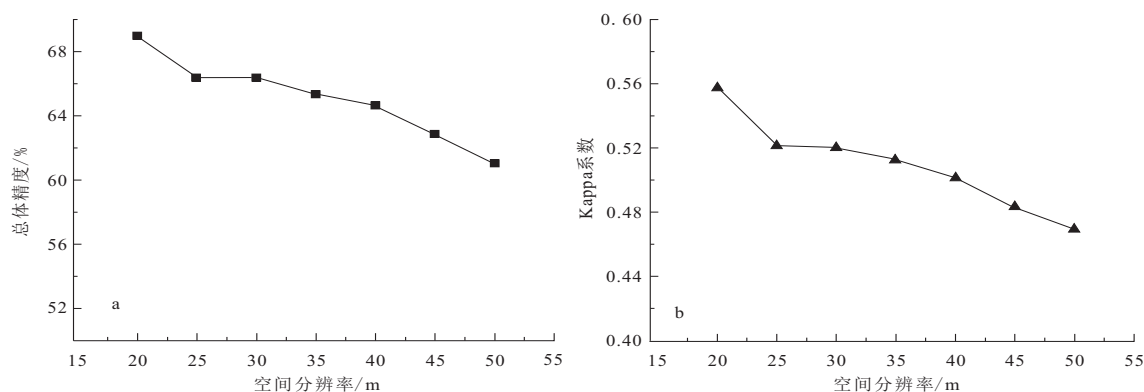


图 6 最近邻插值法重采样获得的不同空间分辨率 AVIRIS 高光谱影像蚀变矿物信息提取的总体精度(a)和 Kappa 系数(b)的变化趋势

Fig.6 Overall Accuracy (a) and Kappa coefficient (b) of extracting alteration information from AVIRIS image with different spatial resolution obtained by the Nearest Neighbor interpolation resampling

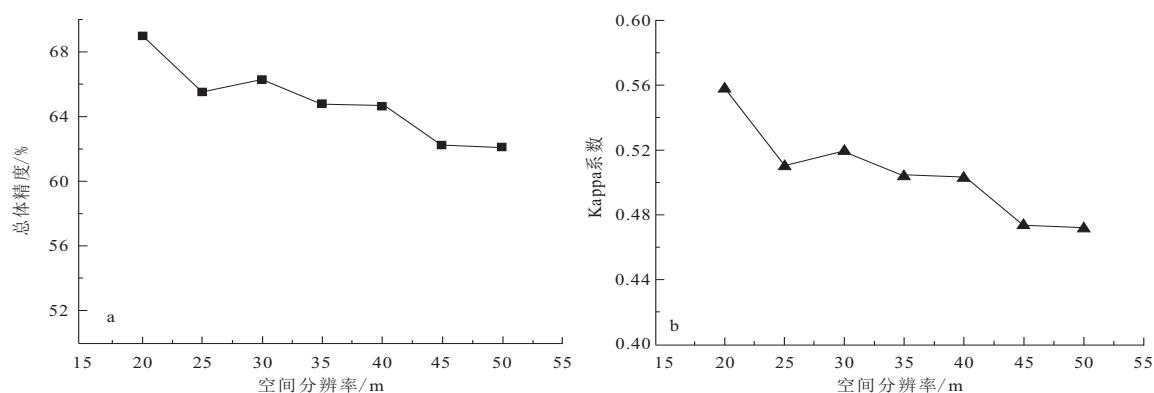


图 7 双线性插值法重采样获得的不同空间分辨率 AVIRIS 高光谱影像蚀变矿物信息提取的总体精度(a)和 Kappa 系数(b)的变化趋势

Fig.7 Overall Accuracy (a) and Kappa coefficient (b) of extracting alteration information from AVIRIS image with different spatial resolution obtained by the Bilinear interpolation resampling

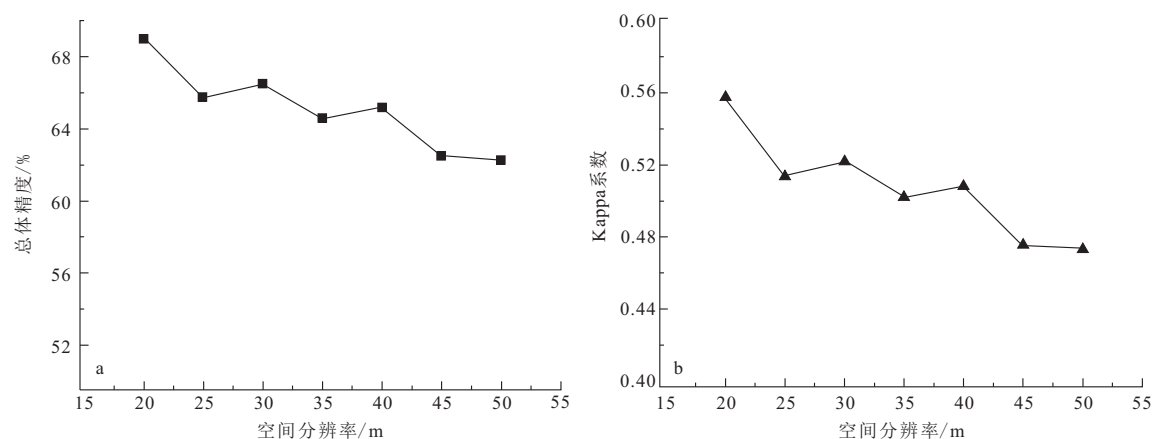


图8 三次卷积插值法重采样获得的不同空间分辨率 AVIRIS 高光谱影像蚀变矿物信息提取的总体精度(a)和 Kappa 系数(b)的变化趋势

Fig.8 Overall Accuracy (a) and Kappa coefficient (b) of extracting alteration information from AVIRIS image with different spatial resolution obtained by the Cubic Convolution interpolation resampling

3种重采样方法获得的高光谱影像蚀变矿物信息提取的精度,进而定量地分析空间分辨率对提取精度的影响。

(1)图6~8分别显示了采用3种重采样方法获得的不同空间分辨率的高光谱遥感影像蚀变矿物信息提取的总体精度和 Kappa 系数变化趋势,直观地表明,使用不同的重采样方法对高光谱影像做空间尺度扩展,会对最终蚀变矿物信息提取的精度产生影响。对比发现,双线性插值法重采样下蚀变矿物信息提取的总体精度和 Kappa 系数在 25~45 m 空间分辨率之间约等于或者略微低于最邻近插值法重采样下的值。三次卷积插值法重采样在 30, 40 m 空间分辨率处蚀变矿物信息提取的总体精度比最邻近插值法重采样下的值略微高 0.13% 和 0.53%, Kappa 系数仅在 40 m 空间分辨率下略高 0.01, 其在 25, 35, 45 m 空间分辨率的蚀变矿物信息提取的总体精度和 Kappa 系数均略低于最邻近插值法重采样下的值,说明使用不同的重采样方法对后期蚀变矿物信息提取的精度产生影响,但数值变化相对较小。总体上,最邻近插值法重采样下影像蚀变矿物信息提取的精度稍好,这与文献[16, 23]中的结论相似。

(2)不同空间尺度遥感影像对地物信息提取结果有重要的影响。从图6~8中整体来看:空间分辨率从 20 m 降低至 50 m, 蚀变矿物信息提取的总体精度和 Kappa 系数明显下降。其中最邻近插值法重采样下的总体精度和 Kappa 系数分别下降了 7.94%, 0.09; 双线性插值法重采样下的总体精度和 Kappa 系数分别下降了 6.87%, 0.08; 三次卷积插值法重采样下的总体精度和 Kappa 系数分别下降了 6.68%, 0.08。综上所述,较高空间分辨率影像的总

体精度和 Kappa 系数整体上均高于较低空间分辨率的值,表明不同空间分辨率对蚀变矿物信息提取结果的影响较大,且较高空间分辨率的影像蚀变矿物信息提取有更好地效果。

(3)从图6~8的曲线变化趋势来看,蚀变矿物信息提取的总体精度在 20~25 m 空间分辨率之间分别降低了 2.64%, 3.49% 和 3.2%, 之后每等间隔降 5 m 空间分辨率的总体精度下降相对较缓。其中,最邻近插值法重采样下 25~30 m 空间分辨率的总体精度仅仅相差 0.03%, 几乎没有变化。这表明在空间分辨率变化的过程中蚀变矿物信息提取的总体精度并不都是明显降低的,有可能相近的较低空间分辨率的影像也能达到相同的较好的提取效果。同时,双线性插值法重采样下 30 m 空间分辨率的总体精度比 25 m 的略高 0.79%, 之后蚀变矿物信息提取的精度随着空间分辨率的降低逐渐下降;三次卷积插值法重采样下在 25~40 m 空间分辨率之间,蚀变矿物信息提取的精度呈上下波动趋势,30 m 空间分辨率的提取精度最高。这表明高光谱遥感影像并不是空间分辨率越高,蚀变矿物信息提取的精度就越高。这可能与影像提取类型及验证样本的空间识别尺度有关,这种结果与文献[3, 7]中的研究结果相似。由图6~8可以看出,在 40~50 m 空间分辨率之间精度下降趋势明显,分别降低了 3.62%, 2.92% 和 2.63%, 表明蚀变矿物信息提取的精度在较低的空间分辨率范围内严重下降。

4 结论与展望

(1)使用不同的重采样方法对高光谱影像做空间尺度扩展,会对后期蚀变矿物信息提取的精度产

生影响,但数值变化相对较小。相比之下,最邻近插值法重采样下影像蚀变信息提取的精度稍好。

(2)整体上,高光谱影像空间尺度降低,蚀变矿物信息提取的总体精度和 Kappa 系数下降明显。在3种重采样方法下,基于50 m空间分辨率的高光谱影像蚀变矿物信息提取的总体精度较20 m的最大降低了约7.94%,Kappa系数最大下降了0.09。整体上较高空间分辨率影像的蚀变矿物信息提取的总体精度均高于较低空间分辨率的值,且在较低的空间分辨率范围内蚀变矿物信息提取的精度严重下降。

(3)在中等空间尺度(20~50 m)范围内,蚀变矿物信息的提取依赖于精细的光谱分辨率来定量识别组分的同时,其受空间分辨率的影响也较大。因此,在高光谱数据提取蚀变矿物信息的过程中也要考虑到空间分辨率的影响。在研究高光谱遥感影像空间分辨率对蚀变矿物信息提取影像的过程中,结果对比上也要考虑到高光谱数据的特点,其不同于多光谱影像对一般地物的影响。

通过重采样做空间尺度扩展模拟不同空间分辨率的高光谱影像,会使影像的光谱信息发生一定程度的扭曲,进而对研究结果产生影响。此外,随着航空高光谱的发展,高光谱数据的空间分辨率也在提高。因此,下一步研究将探讨真实的较高空间分辨率高光谱影像数据在不同空间尺度上,对图像光谱特征和蚀变矿物信息提取的影响。有关岩矿信息探测中,空间分辨率的选择问题也需要进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 王利民,刘佳,高建孟,等.冬小麦面积遥感识别精度与空间分辨率的关系[J].农业工程学报,2016,32(23):152-160.
- [2] 张焕雪,李强子.空间分辨率对作物识别及种植面积估算的影响研究[J].遥感信息,2014,29(2):36-40,46.
- [3] 徐凯健,田庆久,杨闫君,等.遥感土地覆被分类的空间尺度响应研究[J].地球信息科学学报,2018,20(2):246-253.
- [4] 汪权方,许纪承,陈媛媛,等.遥感影像空间分辨率对居民地信息提取的影响[J].资源科学,2012,34(1):159-165.
- [5] 张翠芬,余健,郝利娜,等.多尺度纹理及多光谱影像协同的遥感岩性识别方法[J].地质科技情报,2017,36(4):236-243.
- [6] Underwood E C, Ustin S L, Ramirez C M. A comparison of spatial and spectral image resolution for mapping invasive plants in coastal California[J]. Environmental Management, 2007, 39(1):63-83.
- [7] Roth K L, Roberts D A, Dennison P E, et al. The impact of spatial resolution on the classification of plant species and functional types within imaging spectrometer data[J]. Remote Sensing of Environment, 2015, 171:45-57.
- [8] 阎继宁,周可法,王金林,等.基于SAM与SVM的高光谱遥感蚀变信息提取[J].计算机工程与应用,2013,49(19):141-146.
- [9] 唐超,周可法,张楠楠,等.基于Landsat-8 OLI和ASTER数据集成和融合的矿化蚀变信息提取:以包古图斑岩型铜矿为例[J].地质科技情报,2018,37(6):211-217.
- [10] 杨闫君,田庆久,占玉林,等.空间分辨率与纹理特征对多光谱遥感分类的影响[J].地球信息科学学报,2018,20(1):99-107.
- [11] Chen X, Warner T A, Campagna D J. Integrating visible, near-infrared and short-wave infrared hyperspectral and multispectral thermal imagery for geological mapping at Cuprite, Nevada[J]. Remote Sensing of Environment, 2007, 110(3):344-356.
- [12] Meero F V D, Bakker W. Cross correlogram spectral matching: Application to surface mineralogical mapping by using AVIRIS data from Cuprite, Nevada[J]. Remote Sensing of Environment, 1997, 61(3):371-382.
- [13] Ashley R P, Abrams M J. Alteration mapping using multispectral images: Cuprite mining district, Esmeralda County, Nevada[J]. Applied & Environmental Microbiology, 1980, 39(1):261.
- [14] 林娜.高光谱遥感岩矿特征提取与分类方法研究[D].成都:成都理工大学,2011.
- [15] Clark R N, Swayze G A, Livo K E, et al. Imaging spectroscopy: Earth and planetary remote sensing with the USGS Tetracorder and expert systems[J]. Journal of Geophysical Research: Planets, 2003, 108(E12):1-44.
- [16] 张周威,余涛,孟庆岩,等.空间重采样方法对遥感影像信息影响研究[J].华中师范大学学报:自然科学版,2013,47(3):426-430.
- [17] 梁繁.云南中甸地区高光谱遥感矿物信息提取[D].成都:成都理工大学,2017.
- [18] Zazi L, Boutaleb A, Guettouche M S. Identification and mapping of clay minerals in the region of Djebel Meni (Northwestern Algeria) using hyperspectral imaging, EO-1 Hyperion sensor[J]. Arabian Journal of Geosciences, 2017, 10(11):252.
- [19] 何中海,何彬彬.基于权重光谱角制图的高光谱矿物填图方法[J].光谱学与光谱分析,2011,31(8):2200-2204.
- [20] Molan Y E, Refahi D, Tarashti A H. Mineral mapping in the Maherabad area, eastern Iran, using the HyMap remote sensing data[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2014, 27(B):117-127.
- [21] 林娜,杨武年,刘汉湖.基于高光谱遥感的岩矿端元识别及信息提取研究[J].遥感信息,2011,26(5):114-117,99.
- [22] 湛国毅,湛青青,吴玲,等.基于SAM分类方法遥感矿物信息提取研究[J].湖北民族学院学报:自然科学版,2016,34(1):84-86.
- [23] Chen D, Stow D A, Gong P. Examining the effect of spatial resolution and texture window size on classification accuracy: An urban environment case[J]. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(11):2177-2192.