

# 积雪-荒漠植被及其组合反射光谱特征观测实验及分析

刘艳<sup>1</sup>, 杨耘<sup>2</sup>, 聂磊<sup>3</sup>, 李帅<sup>1</sup>

1. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 新疆 乌鲁木齐 830002
2. 长安大学地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054
3. 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430079

**摘要** 光谱混合机制研究对混合像元解算具有一定指导意义。利用全波段光谱仪累积期和消融期对规则和非规则分布模式下积雪-荒漠植被混合像元及纯净积雪和荒漠植被像元控制式采集反射光谱。K-均值法计算采集影像积雪和荒漠植被面积比并分析其对应混合像元光谱变化特征以获取更加精细的光谱特征信息, 准同步 Tetracam ADC3(Agricultural Digital Camera 3)采集图像并计算典型指数, 从微观尺度上证实了混合像元主要出现在地类边界处。结果发现, 1 456~1 697 nm 粗粒径冻结雪反射光谱高于新雪反射光谱, 新雪反射光谱明显高于陈雪; 因冻结覆冰, 荒漠植被光谱为积雪、冰晶和植被枝干混合光谱信息, 新降积雪覆盖植被光谱特征为积雪和植被枝干的混合光谱信息, 不存在常规绿色植被“红边”效应; 采集角度为 5°和 10°时光谱低于垂直角度采集光谱, 角度大于 10°随角度增加荒漠植被光谱逐渐增大。像元内各个组成物质的面积比及所处像元的位置、采集角度和方向都会影响混合像元的光谱组合信息。

**关键词** 光谱混合机制; 积雪-荒漠植被; 控制式采集; K-均值法; 吸收特征; 微观尺度

**中图分类号:** TP751.2 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2019)02-0506-11

## 引言

卫星传感器空间分辨率限制和被探测目标的多样性造成遥感影像中存在大量混合像元<sup>[1]</sup>, 亦指一个像元内存在不同类型的地物<sup>[2]</sup>。混合像元分析是遥感影像处理的一个重要方向, 各类地物在混合像元内所占比例的分析技术称为“光谱解混”<sup>[3]</sup>。Adams, Roberts等将线性混合模型引入遥感开启了遥感影像的亚像元处理模式<sup>[4-5]</sup>, Boardman将凸面几何学和单形体概念引入遥感和 Craig, Berman等将优化思想引入混合像元分析开启了端元选择和生成的新方向<sup>[6-7]</sup>。根据混合像元光谱产生机理建立了许多分解模型, 主要包括线性、非线性分解、模糊监督和神经网络等模型。其中线性分解模型物理含义明确, 建模简单, 得到了较为广泛的应用<sup>[8-10]</sup>。这些模型是基于遥感影像这类宏观尺度数据建立的, 遥感影像波段范围相对固定。随着地基光谱采集仪研发技术发展, 目前拥有成像光谱仪和非成像光谱仪两种采集仪, 更能从微小的光谱差异中提取更多、更精确的地物特征信息<sup>[11]</sup>。本文基于控制实验, 构建不同面积比的积雪-荒漠植被混合像元, 包括规则分布和非规则分布两种模式, 使用美国分析光谱仪

器公司 ASD(analytical spectral devices) FiledSpec 全波段便携式光谱仪控制式采集纯净荒漠植被、不同类型积雪光谱及不同面积比混合积雪-植被反射光谱数据, 分析不同面积比积雪-植被混合像元光谱响应变化特征, 为稀疏植被覆盖区积雪-植被高光影像分类和解译提供判别依据。利用 Tetracam's LCD-Equipped Agricultural Digital Camera 多光谱相机准同步拍摄影像, 进行归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)、归一化绿波段差值植被指数(green normalized difference vegetation index, GNDVI)和红边/近红外比值参数(NIR/G)计算, 微观尺度下分析植被-积雪混合像元边界特征。

## 1 实验部分

### 1.1 数据采集

观测对象为荒漠植被, 植被高度 15 cm 左右, 类型为荒漠梭梭(如图 1 所示), 枝干比较紧凑。积雪类型为干雪, 密度  $0.15 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 粒径大小均匀。实验场地为水泥地面。采用纵向、横向和圆内不规则三种模式进行像元混合。试验在每日晴朗无云的正午时段进行, 利用 ASD FiledSpec 光谱仪

收稿日期: 2017-02-22, 修订日期: 2017-09-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(41505077, 41301386)资助

作者简介: 刘艳, 女, 1978年生, 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所副研究员 e-mail: Liuyan@idm.cn

(波长范围为 350~2 500 nm; 350~1 000 nm 之间光谱采样间隔为 1.4 nm, 光谱分辨率 3 nm; 1 000~2 500 nm 之间采样间隔为 2 nm, 光谱分辨率 10 nm; 光谱仪最后将数据重采样为 1 nm)采集光谱。首先用标准校正板对 ASD 进行标定, 然后进行积雪和荒漠植被及其混合物的测量, 测量时光谱辐射仪探头垂直向下, 距样本 25 cm 左右, 每个积雪、积雪-荒漠植被混合及荒漠植被类型采集 10 条光谱曲线, 算术平均后得到该类型的实际反射光谱数据。同时, 利用 Tetracam's

LCD-Equipped Agricultural Digital Camera 多光谱相机进行积雪-荒漠植被照片采集。Tetracam-ADC 具有红、绿和近红外 3 个波段, 分别与 TM 第 2(0.52~0.60 μm), 3(0.62~0.69 μm) 和第 4 波段(0.76~0.96 μm)相近, 可以测量得到高分辨率的红、绿和近红外波段范围内的图像, 标配 320 万像素镜头, 图像分辨率可达 2 048×1 536 像素; 通过图像处理软件 PW2\_x6 可获得 NDVI, GNDVI 和 NIR/G 等指数。



图 1 积雪-荒漠植被分布图

Fig. 1 Snow-desert vegetation regional distribution map for the control experiment

1.2 反射光谱数据去包络线处理

包络线为逐点直线连接随波长变化的吸收或反射凸出的“峰”值点并使折线在“峰”值点上的外角大于 180°<sup>[12]</sup>。包络线处理即利用包络线将原始地物光谱曲线归一化, 使得光谱曲线归一到一致的光谱背景上, 有效突出光谱曲线吸收和反射特征<sup>[12-13]</sup>。

1.3 积雪-荒漠植被混合像元中面积比计算

首先, 采用 K-均值法对拍摄混合像元图像进行聚类<sup>[14]</sup>。然后, 采用中值滤波消除聚类后带来的噪声。最后, 将图像进行二值化, 分别统计积雪和荒漠植被的像元个数, 根据像元个数比以及图像覆盖总面积, 求出规则和不规则积雪-荒漠植被覆盖面积。

$$Area_{snow} = Area_{image} \cdot Num_{snow} / (Num_{snow} + Num_{veg}) \quad (1)$$

式(1)中,  $Area_{snow}$  为积雪像元面积,  $Num_{snow}$  为积雪像元个数,  $Num_{veg}$  为荒漠植被像元个数,  $Area_{image}$  为影像总面积。

2 结果与讨论

2.1 不同类型积雪反射光谱特征

根据观测周期内(2015-01-04 至 2015-01-10 日)积雪时间和粒径大小将观测积雪分为陈雪、新雪和冻结雪三种类型。其中, 陈雪定义为观测起始日 2015-01-04 日前的积雪, 新雪定义为 2015-01-07 日晚间观测地出现降雪天气后所形成的积雪, 冻结雪定义为观测周期内因午后 12:00 气温升高陈雪融化次日冻结形成的带有冰粒、表面粗燥的积雪(图 2)。

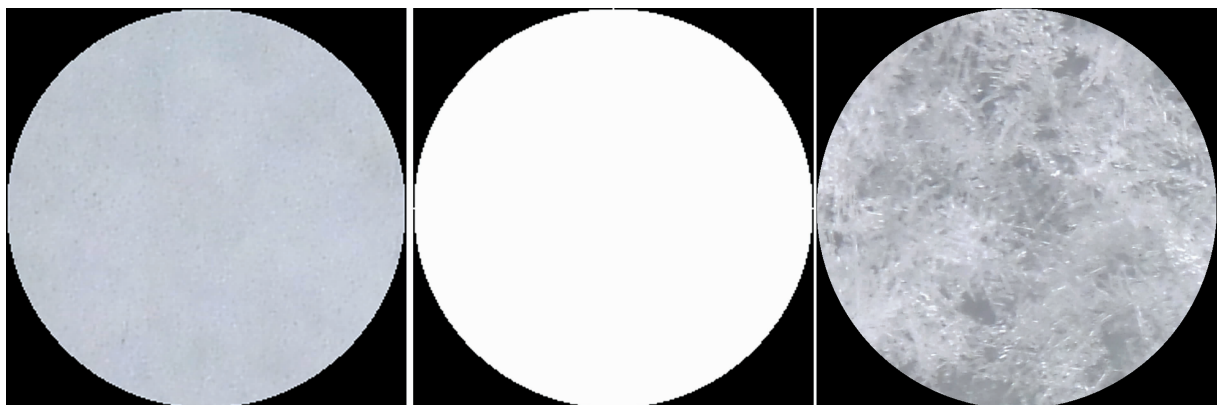


图 2 三种类型积雪表面[陈雪(a)、新雪(b)和冻结雪(c)]

Fig. 2 Three types of snow surface [aged snow (a), new snow (b), frozen snow (c)]

不同类型积雪反射光谱和去除包络线后积雪反射光谱特征如下:

(1) 由图 3 可见, 可见光波谱范围内(350~760 nm)积雪具有 0.6 以上的反射率, 1 600 nm 附近积雪吸收太阳辐射形

成强近红外吸收,表现在反射光谱曲线上反射率降低到 0.2 以下,形成积雪独特的光谱特征,在 1 800~2 500 nm 波段范围内由于噪声、大气水汽等原因的影响使得这部分积雪反射光谱数据误差较大。

(2) 由图 4 和 5 可见,反射光谱包络线去除后,1 456~1 697 nm 范围内粗粒径冻结雪反射光谱高于新雪反射光谱,新雪反射光谱明显高于陈雪反射光谱(图 4 和图 5)。

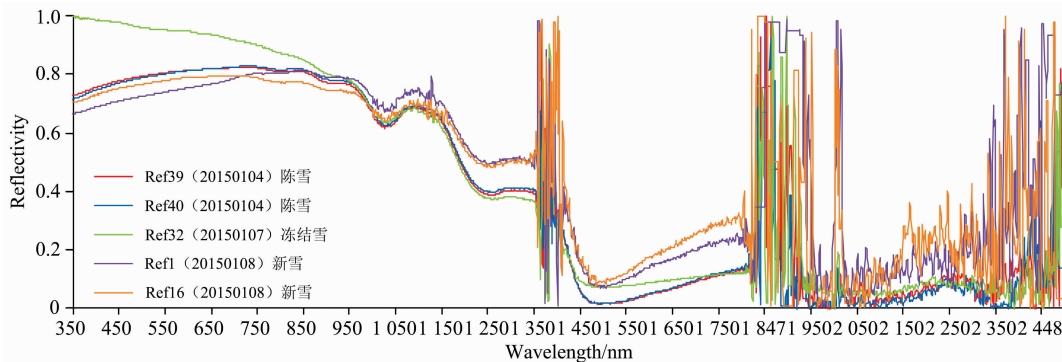


图 3 350~2 500 nm 范围内陈雪、新雪、冻结雪原始光谱特征

Fig. 3 The spectral reflectance properties of aged snow, new snow, frozen snow in the range of 350 to 2 500 nm

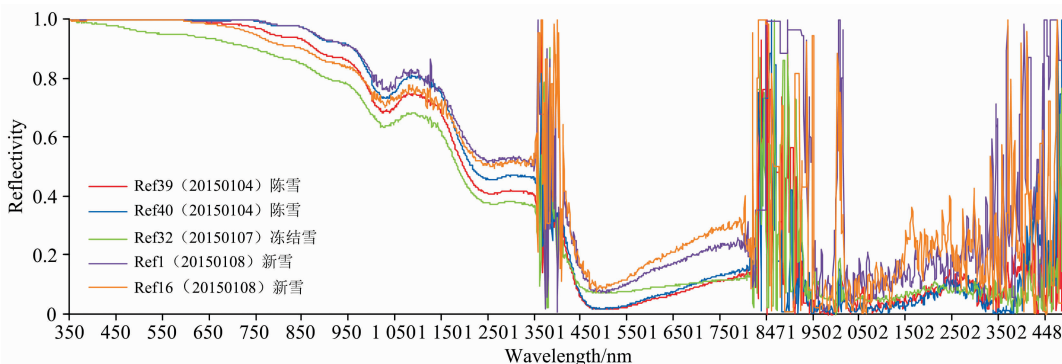


图 4 350~2 500 nm 范围内陈雪、新雪、冻结雪光谱数据去包络线后光谱特征

Fig. 4 The spectral reflectance properties of aged snow, new snow, frozen snow after removing envelop line in the range of 350 to 2 500 nm

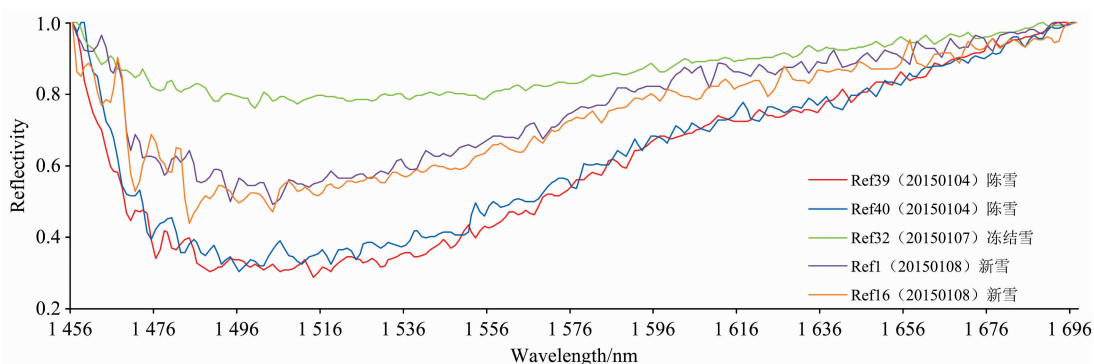


图 5 1 456~1 698 nm 范围内陈雪、新雪、冻结雪光谱数据去包络线后光谱特征

Fig. 5 The spectral reflectance properties of aged snow, new snow and frozen snow after removing envelop line within the range of 1 456 to 1 698 nm

(3) 现有光学遥感数据 AVHRR, MODIS, FY-3, ETM+, TM 和 CBERS 中巴资源卫星 CCD 常用积雪判断波段范围为 AVHRR CH1 (550~680 nm), CH2 (725~1 100 nm)<sup>[15]</sup>; MODIS CH2 (620~670 nm) 和 CH4 (545~565

nm)<sup>[16]</sup>; FY3/MERSI CH3 (600~700 nm) 和 CH6 (1 590~1 690 nm) 波段<sup>[17-18]</sup>; ETM+ TM CH4 (760~900 nm) CH2 (520~600 nm)<sup>[19]</sup>; CCD CH2 (520~590 nm) CH4 (770~890 nm)<sup>[20]</sup>。由图 6 可见, MODIS CH4 (545~565 nm) 对于粗粒

径、陈雪和新雪具有一定的指示性，其他光学遥感数据在可见光波段范围内只能识别出积雪，对积雪类型敏感度不及 MODIS CH4。同时，由 ADC3 采集积雪图像(图 7)发现绿光

波段(520~600 nm)和红光波段(630~690 nm)积雪粒径响应差异显著，后者可以很好地表现出积雪的粒径形态。

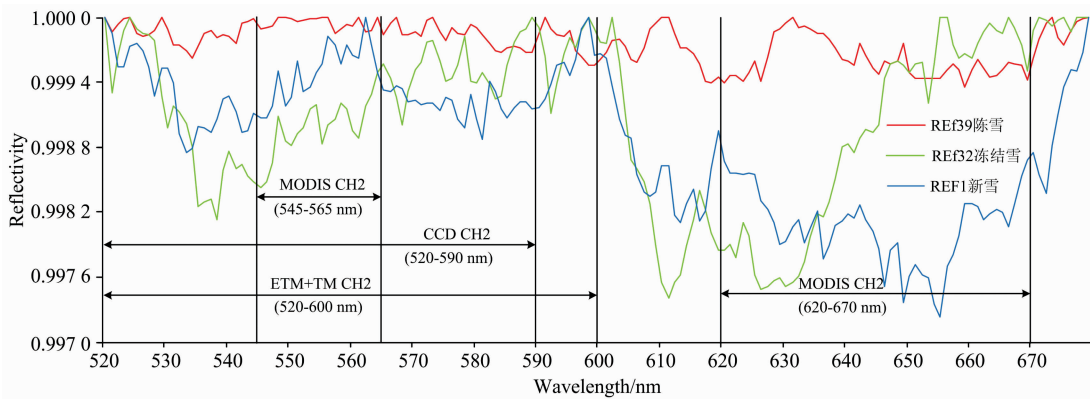


图 6 520~680 nm 范围内去除包络线光谱特征

Fig. 6 The spectral reflectivity properties after envelope removal in the range of 520 to 680 nm

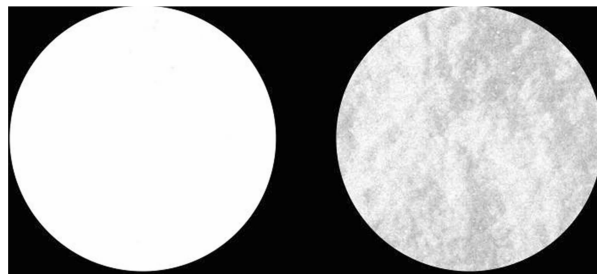


图 7 ADC3 绿光波段 520~600 nm(a)和红光波段 630~690 nm(b)积雪

Fig. 7 The snow image taken with ADC3 in the green band (520~600 nm) (a) and the red band (630~690 nm) (b)

### 2.2 荒漠植被反射光谱特征

植被与辐射的相互作用主要体现在叶片光谱特征。本实验观测对象为矮梭梭，其枝条较密，冬季枝条被积雪覆盖，气温上升，积雪消融后冻结，使得枝条部分被冰覆盖，形成冰状枝条。观测周期内因出现降雪天气和午后 12 点气温升高有融雪发生。观测荒漠植被有纯植被和新雪覆盖植被以及冰粒覆盖植被三种类型(图 9)，光谱特征与常规植被光谱差

异显著：

(1) 观测区内无积雪覆盖荒漠植被光谱特征已经不存在常规绿色植被的“红边”效应，即红光波段(620~760 nm)强吸收，近红外(700~1 300 nm)高反射。冻结覆冰覆盖荒漠植被采集光谱为积雪、冰晶和植被枝干混合的光谱信息。新降积雪覆盖植被类型及光谱特征积雪和植被枝干混合的光谱信息(图 8 和图 9)。



图 8 观测荒漠植被类型

(a): 纯植被; (b): 新雪覆盖; (c): 冰粒覆盖

Fig. 8 The types of observed desert vegetation

(a): Pure vegetation; (b): Vegetation covered with new snow; (c): Vegetation covered with ice particles

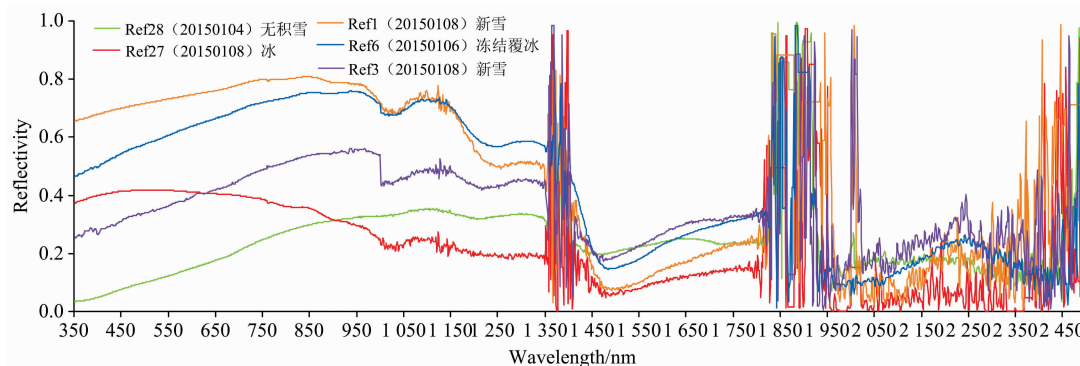


图 9 2015-01-04 至 08 日观测荒漠植被光谱特征(无雪覆盖; 冻结覆冰覆盖; 新雪覆盖)

Fig. 9 The spectral property of desert vegetation from January 4 to January 8 in 2015(no snow cover, icing cover, new snow)

(2) 坡度对于荒漠植被反射光谱影响表现为: 角度为 5° 和 10° 时, 采集光谱会低于垂直角度采集的荒漠植被光谱, 角度大于 10° 时, 随着角度增加采集荒漠植被的光谱逐渐增大(图 10)。

积雪占像元比例为 3 : 1 时, 积雪组分对混合像元的贡献占主要比重, 采集光谱主要表现为积雪的光谱特征, 当积雪组分和荒漠植被组分比例相当时, 采集光谱为植被和积雪的混合特征, 纯净荒漠植被因冻结覆冰和新降积雪, 其采集光谱为积雪、植被和冰混合的光谱特征(图 11, 图 12 和图 13)。

(3) 规则面积比积雪-植被混合观测光谱特征, 当积雪面

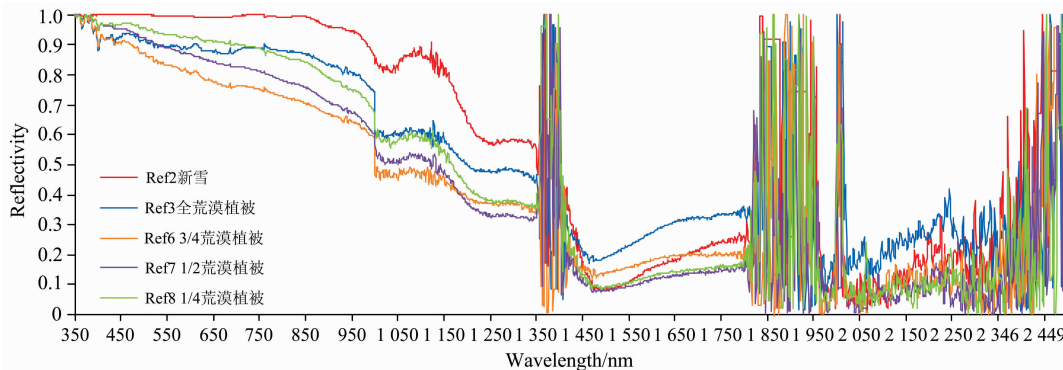


图 10 去包络线后坡度对荒漠植被光谱的干扰 (2015-01-10 日观测)

Fig. 10 The effect of the slope on the spectral reflectivity of desert vegetation after continuum removal (Observed on October 10, 2015)

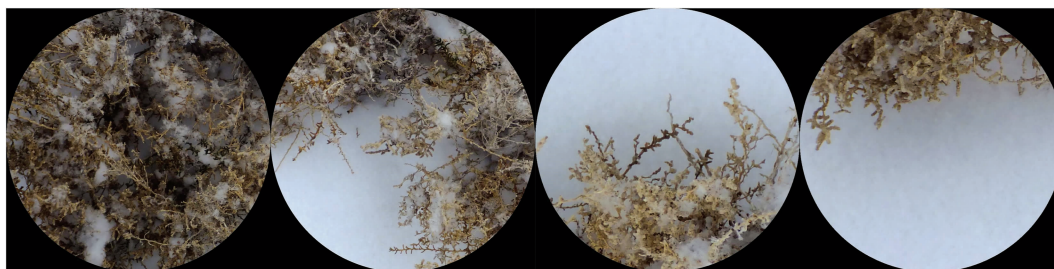


图 11 规则面积比植被-积雪照片(植被-积雪比 1 : 0, 3 : 1, 1 : 1, 1 : 3)

Fig. 11 The photos of vegetation-snow with regular area ratios (the ratio of vegetation to snow: 1 : 0, 3 : 1, 1 : 1, 1 : 3 from left to right in turn)

(4) 不规则面积比积雪-植被混合观测光谱特征, 积雪植被面积比 = 0.78 : 0.22, 虽然积雪所占比例较大, 但是因为植被位于影像中心, 荒漠植被贡献的光谱信息大于积雪(如图 14 和图 15)。因此, 其反射光谱值较低, 基本表现为荒漠植被的光谱信息。当植被和积雪混合时, 各个组分的面积和

组分在混合像元内的位置, 严格决定了混合像元的光谱特征。

(5) 观测方向对反射光谱的干扰。以 5 cm 步长, 左右两个方向进行光谱观测, 分别获取规则面积比植被-水泥地, 植被-积雪混合像元光谱。其中, 左推出定义为雪面完全覆盖水泥地面后, 以 5 cm 步长逐渐使得水泥地面裸露[图 19(a)],

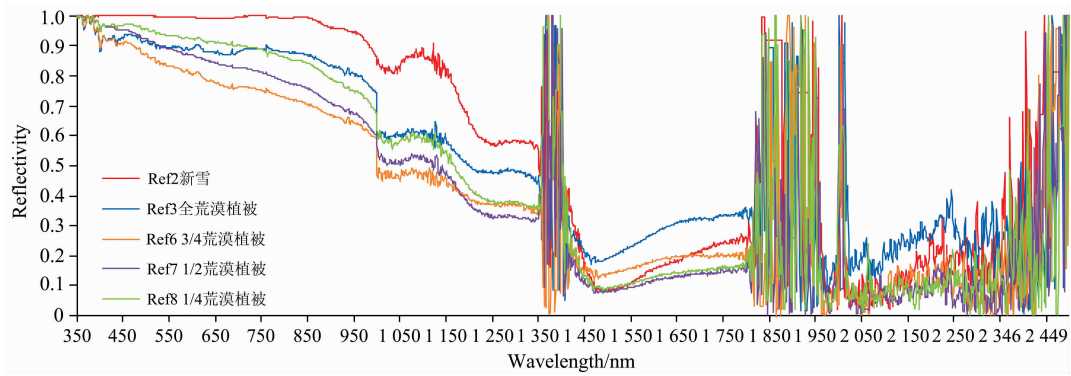


图 12 去包络线后 350~2 500 nm 范围内规则面积比积雪-植被混合观测光谱特征  
 Fig. 12 The observation of the mixed spectral reflectivity of snow-vegetation with regular area ratios in the range of 350nm to 2500 nm after envelop removal

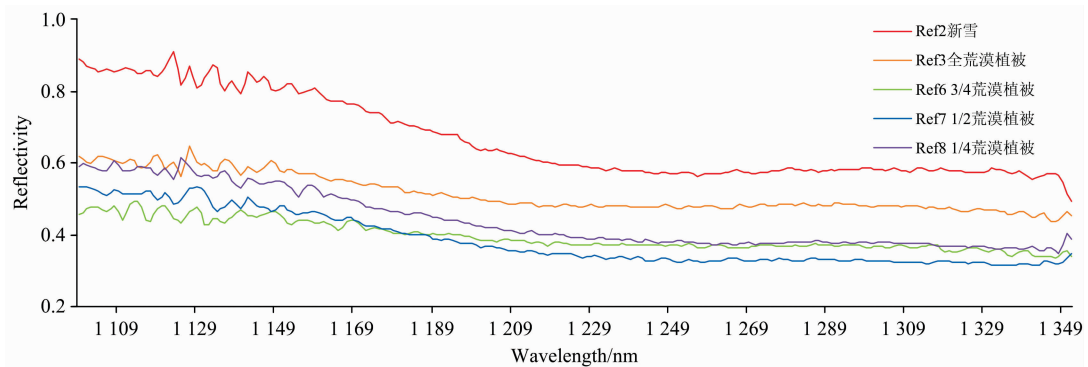


图 13 去包络线后 1 098~1 351 nm 范围内规则面积比积雪-植被混合观测光谱特征  
 Fig. 13 The observation of the mixed spectral reflectivity of snow-vegetation with regular area ratios in the range of 1 098 to 1 351 nm after envelop removal

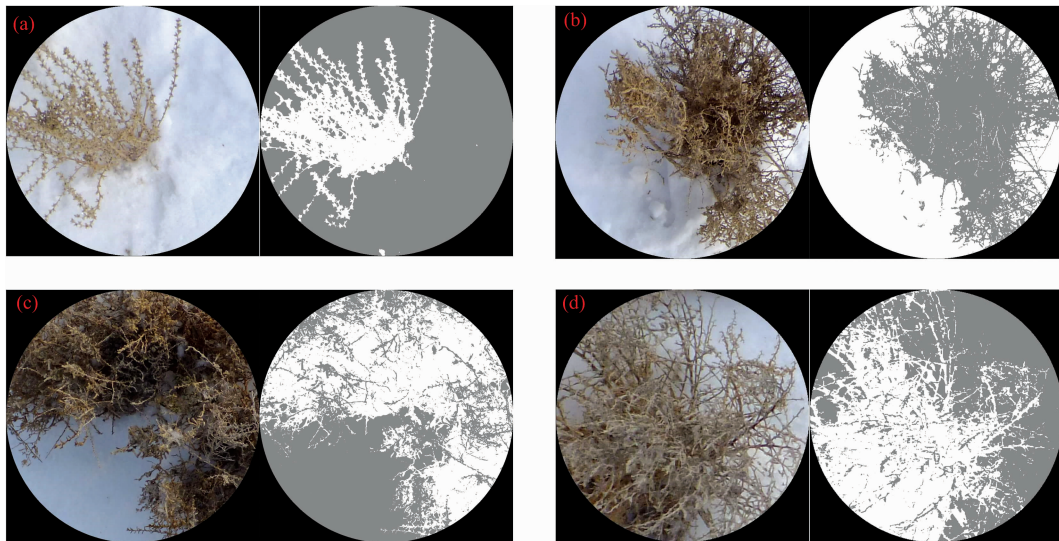


图 14 不规则面积比积雪-植被混合观测类型图  
 积雪面积比依次为(a): 0.78 : 0.22; (b): 0.48 : 0.52; (c): 0.22 : 0.78; (d): 0.58 : 0.42  
 Fig. 14 The observation of the mixed pixels with different area ratios of snow to vegetation  
 (a): 0.78 : 0.22; (b): 0.48 : 0.52; (c): 0.22 : 0.78; (d): 0.58 : 0.42

右推进定义为雪面以 5 cm 步长逐渐覆盖水泥地面[图 19 (b)]。结果发现,右推进模式下,雪面进入像元 5 cm 时,观测光谱出现明显“陡峭”,即光谱仪探头 1(350~1 000 nm 之间光谱采样间隔为 1.4 nm,光谱分辨率 3 nm)处出现明显的陡坡效应。当雪面面积逐渐增大,占像元面积比例大于 0.5 时,水泥地的反射光谱被明显弱化,采集到的光谱已经明显

表现为积雪反射光谱信息。规则面积比积雪反射光谱,在 1 406~1 802 nm 内,积雪反射光谱值和积雪面积比间存在明显的线性负相关关系。积雪-水泥地混合像元,积雪端元的光谱贡献非常显著,积雪端元面积为 5 cm×40 cm,亦像元面积 200 cm<sup>2</sup>,占总像元的八分之一时,混合像元完全表现为积雪的反射光谱特征(图 17)。

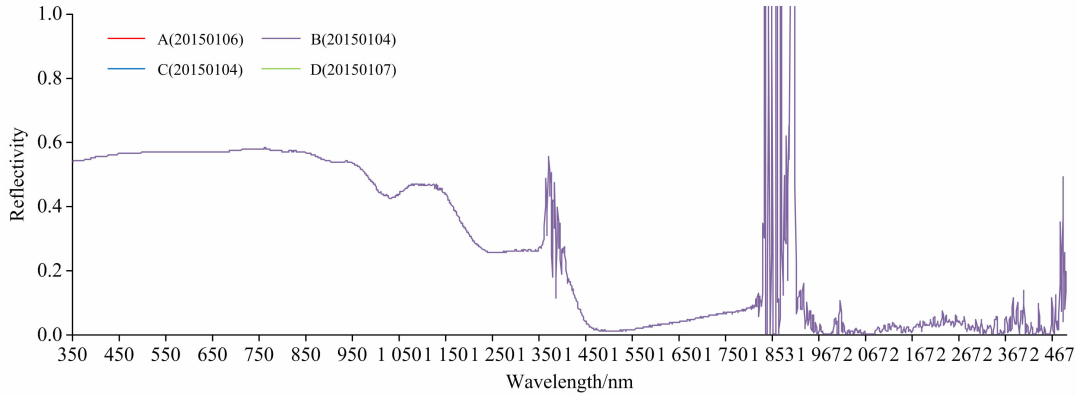


图 15 不规则面积比积雪-植被混合观测光谱类型

Fig. 15 The spectral properties of snow-vegetation with irregular area ratios

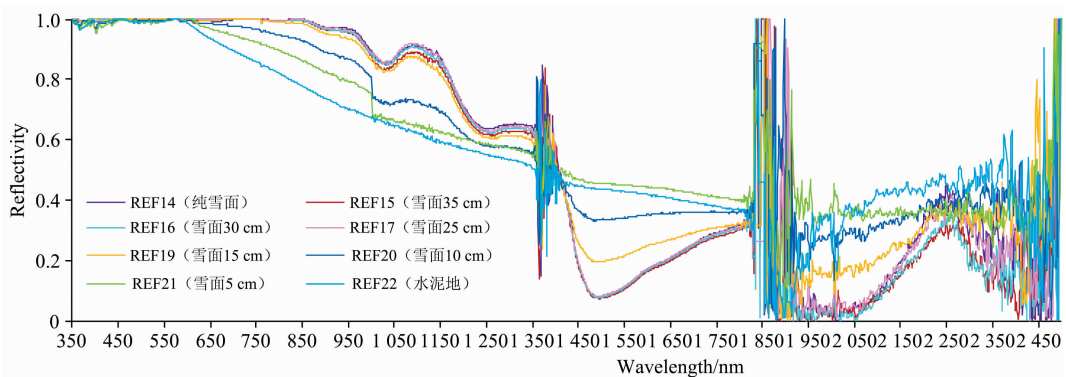


图 16 观测地物类型及下垫面类型(积雪面;下垫面为水泥地)

(a): 左推出,雪面完全覆盖后;从左边以 5 cm 步长逐渐推出水泥地面;(b): 右推进,雪面从右边以 5 cm 步长逐渐推进覆盖水泥地面  
Fig. 16 Types of observed objects and their underlying surface (the types of underlying surface of snow surface is concrete floor)

(a): The mode of forward on the left which makes cemented ground gradually get out of snow surface, taking a 5 cm interval;

(b): The mode of forward on the right which makes cemented ground gradually covered by snow surface

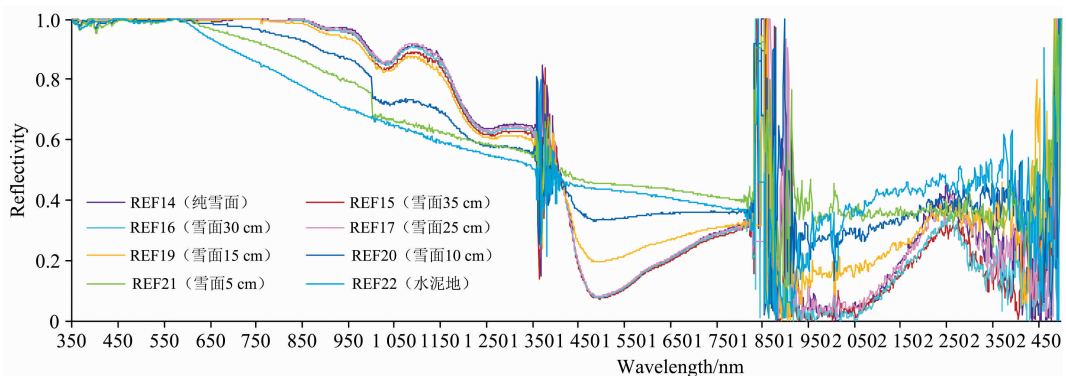


图 17 不同积雪-水泥面比例观测光谱特征(2015-01-09 日观测)(右推式)

Fig. 17 The observed spectral reflectivity in the case of different ratios of snow-concrete floor (observed on January 9, 2015) (forward on the right)

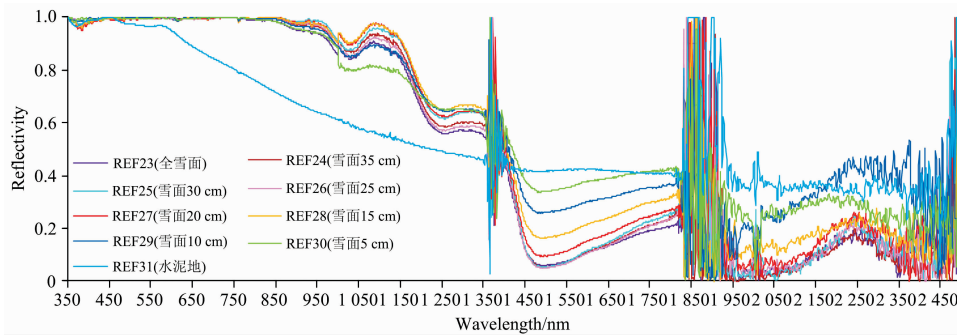


图 18 不同积雪-水泥面比例观测光谱特征(2015-01-09 日观测)(左推式)

Fig. 18 The observed spectral reflectivity in the case of different ratios of snow-concrete floor (observed on January 9, 2015) (forward on the left)

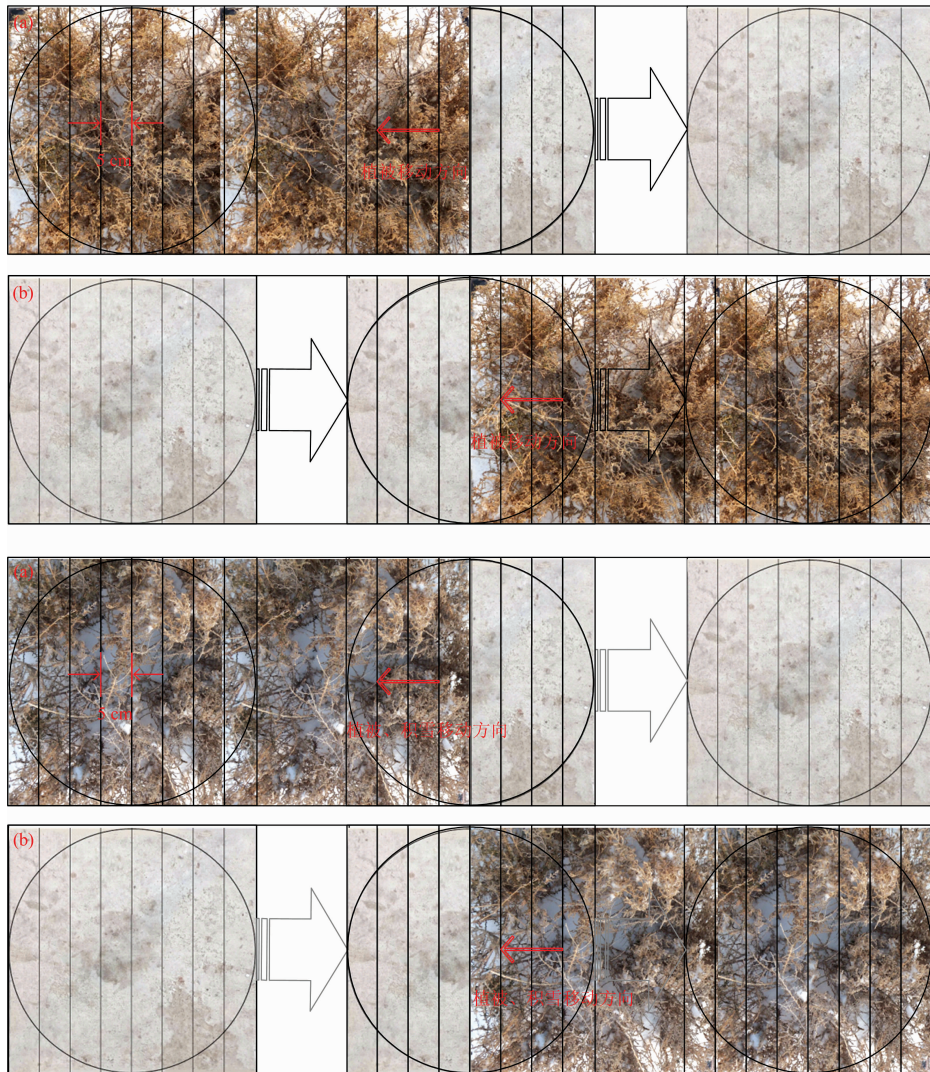


图 19 观测地物类型及下垫面类型(水泥地下垫面; 全植被; 全植被+积雪)

(a): 左推出, 植被(雪面)完全覆盖后, 从左边以 5 cm 步长逐渐推出水泥地面;

(b): 右推进, 植被(雪面)从右边以 5 cm 步长逐渐推进覆盖水泥地面

Fig. 19 Types of observed objects and their underlying surface (pure vegetation, a mixture of pure vegetation and snow, concrete floor)

(a): The mode of forward on the left which makes vegetation (snow surface) gradually get out of the cemented ground, taking a 5 cm interval after vegetation (snow surface) was covered completely; (b): The mode of forward on the right which makes vegetation (snow surface) gradually covered by the cemented ground with 5 cm interval



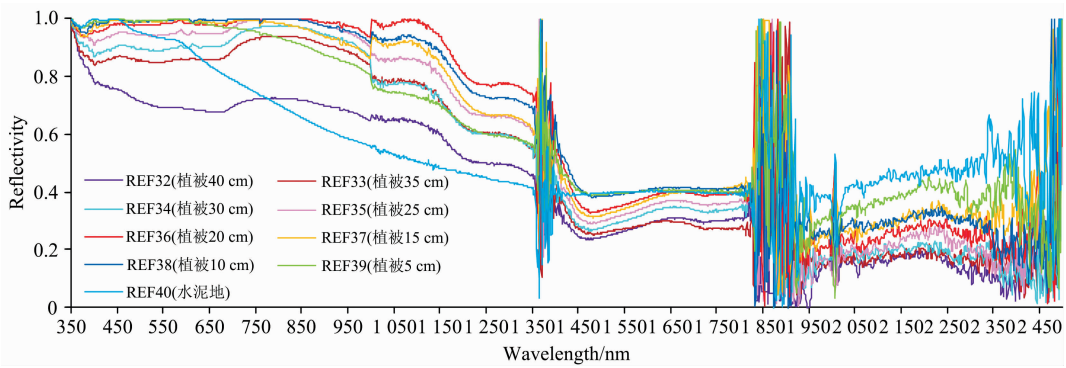


图 20 不同全植被+积雪-水泥面比观测光谱特征(2015-01-09 日观测)(左推式)

Fig. 20 The observed spectral reflectivity in the case of different ratios of pure vegetation to snow-vegetation (observed on January 9, 2015) (forward on the left)

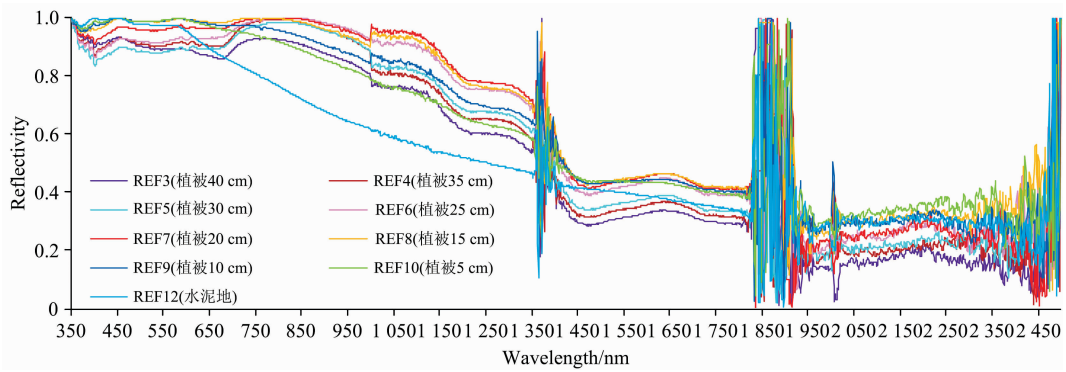


图 21 不同全植被+积雪-水泥面比观测光谱特征(2015-01-09 日观测)(右推式)

Fig. 21 The observed spectral reflectivity in the case of different ratios of pure vegetation to snow-vegetation (observed on January 9, 2015) (forward on the right)

与积雪表面不同,右推式植被-混合像元观测光谱出现明显的“陡峭”反应,即光谱仪 1 探头(350~1 000 nm 之间光谱采样间隔为 1.4 nm,光谱分辨率 3 nm)处出现明显的陡坡效应。采集像元为纯净植被时,其反射光谱小于推进过程中水泥地-植被的混合光谱,如图 21。



图 22 数码相机采集图片(a)和 ADC 光谱相机采集图片(TTC00064)(b)

Fig. 22 The photos taken with digital camera (a) and with ADC multispectral camera (b)

(6) 利用 ADC 多光谱照相机拍摄照片和 NDVI, GNDVI 和 NIR/G 植被指数,发现在积雪和植被混合区,NDVI 判别效果最差,GNDVI 和 NIR/G 能够较好对积雪植被混合区域边界以及植被阴影进行识别(见图 22 和图 23)。

### 3 结 论

控制实验有助于定量获取积雪、荒漠植被及其组合(规则、不规则分布等)的多类型反射光谱数据。规则分布和不规则分布模式下积雪-荒漠植被混合像元及积雪和荒漠植被像元反射光谱数据分析结果可以很好地从像元内不同地类所占面积比重和所处位置两个方面研究各纯净像元(端元)对混合像元的贡献度和影响。关于采集光谱方向性的实验,对于野外光谱数据采集具有一定的指示意义,采样时应该统一光谱仪探头距离及其采集的方向性,以避免方向和采集距离造成的系统误差。ADC3 准同步采集混合像元图像信息计算所得典型指数从微观尺度和空间上更好地证实了混合像元主要出现在地类边界处,这对于利用宏观遥感数据及典型植被指数进行地物分类也具有一定的启示性。

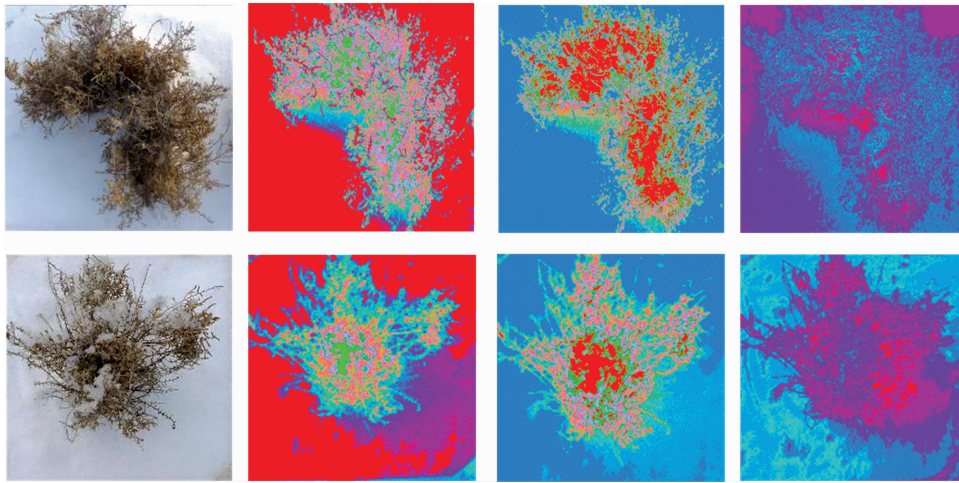


图 23 植被面积相对集中的 ADC 植被指数计算结果图(数码照片\Green Ndvi\NirG\NDVI)

Fig. 23 Digital images ( the 1st column) and the ADC vegetation indices with the relatively concentrated vegetation area (the 2nd column: Green Ndvi, the 3rd column: NirG, the 4th column: NDVI)

## References

- [ 1 ] PAN Ming-zhong, QI Hong-xing, XIAO Gong-hai, et al(潘明忠, 齐洪兴, 肖功海, 等). Journal of Infrared and Millimeter Waves(红外与毫米波学报), 2010, 29(5): 354.
- [ 2 ] ZHU Ming, JIN Wei-dong, PU Yun-wei, et al(朱 明, 金炜东, 普运伟, 等). Journal of Infrared and Millimeter Waves(红外与毫米波学报), 2007, 26(4): 302.
- [ 3 ] Pan M Z, Yuan H X, Xiao G M, et al. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2010, (5): 357.
- [ 4 ] Adams J B, Mithmo, Illesplear. Remote Geochemical Analysis: Elemental and Mineralogical Composition. New York: Cambridge University Press, 1993. 145.
- [ 5 ] Roberts D A, Smith M O, Adams J B. Remote Sensing of Environment, 1993, 44: 255.
- [ 6 ] Boardman J W. Automated Spectral Unmixing of AVIRIS Data Using Convex Geometry Concepts: in Summaries//In: Proceedings of Fourth Jet Propulsion Laboratory Airborne Geoscience Workshop. Pasadena, CA, USA, 1993, (1): 11.
- [ 7 ] Craig M D. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 1994, 32(3): 542.
- [ 8 ] Chabrillat S, Pinet P C, Ceuleneer G, et al. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21: 2363.
- [ 9 ] Small C. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22(7): 1305.
- [10] WAN Jun, CAI Yun-long(万 军, 蔡运龙). Geographical Research(地理研究), 2003, 22(4): 440.
- [11] ZHANG Fei, TAXipulati Teyibai, DING Jian-li, et al(张 飞, 塔西甫拉提·特依拜, 丁建丽, 等). Journal of Infrared and Millimeter Waves(红外与毫米波学报), 2010, 29(3): 190.
- [12] Mielke C, Boesche N K, Rogass C, et al. Remote Sensing, 2015, 6(2): 97.
- [13] XIE Bo-cheng, XUE Xu-zhang, LIU Wei-dong, et al(谢伯承, 薛绪掌, 刘伟东, 等). Acta Pedologica Sinica(土壤学报), 2005, 42(1): 171.
- [14] SI Yong-sheng, LIU Gang, GAO Rui(司永胜, 刘 刚, 高 瑞). Transactions of The Chinese Society of Agricultural Machinery(农业机械学报), 2009, (S1): 100.
- [15] ZHOU Yong-mei, JIA Sheng-hai, LIU Ping(周咏梅, 贾生海, 刘 萍). Journal of the Meteorological Sciences(气象科学), 2001, 21(1): 117.
- [16] Stefan Wunderle, Timm Gross, Fabia Hüsler. Remote Sens, 2016, 8(6): 448.
- [17] ZHANG Yong-hong, REN Wei, CAO Ting, et al(张永宏, 任 伟, 曹 庭, 等). Remote Sensing Technology and Application(遥感技术与应用), 2015, 30(6): 1076.
- [18] ZHANG Xu, YANG Zhi-hua, YANG Chang-jun, et al(张 旭, 杨志华, 杨昌军, 等). Desert and Oasis Meteorology(沙漠与绿洲气象), 2016, 10(3): 83.
- [19] ZHENG Pu, DENG Zheng-dong, GUAN Hong-jun, et al(郑 璞, 邓正栋, 关洪军, 等). Journal of the Meteorological Sciences(气象科学), 2014, 34(1): 39.
- [20] YIN Hui, WANG Si-yuan, SUN Yun-xiao, et al(殷 慧, 王思远, 孙云晓, 等). Bulletin of Surveying and Mapping(测绘通报), 2014, 5: 32.

# Field Experiments for Spectral Mixture Analysis of Snow-Desert Vegetation and Their Combinations

LIU Yan<sup>1</sup>, YANG Yun<sup>2</sup>, NIE Lei<sup>3</sup>, LI Shuai<sup>1</sup>

1. Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002 China

2. College of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054, China

3. State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

**Abstract** The study on spectral mixing mechanism has a certain instructive significance to unmixing. With a full-wavelength spectrometer, the research made a controlled acquisition of the spectral reflectivity of pure snow pixels, pure desert-vegetation pixels and snow-desert vegetation mixed pixels in the mode of rule and irregular distribution during the accumulation period and ablation period. The ratio of snow area to desert vegetation area of images was calculated by K-means clustering algorithm and spectral variation characteristics of mixed pixels were analyzed; to obtain more precise spectral characteristic information, the absorption characteristic parameters to the response bands were calculated; the images were collected by quasi-synchronous Tet-racam ADC3 and the typical indices were calculated. It's verified at the micro-scale that the mixed pixels are mainly located at the boundary between one category to another. The results are seen as follows: the spectral reflectivity of coarse-grained frozen snow is obviously higher than that of new snow which is obviously higher than that of aged snow in the ranges of 1 456~1 697 nm. Because of the ice cover, the collected desert vegetation spectra is actually a mixture of spectral information of snow, ice crystals and vegetation branches; the spectral properties of vegetation covered with new snow are actually the mixed spectral information of snow and vegetation branches; there is no "red edge" effect like conventional green vegetation. When the acquisition angles are 5° and 10°, the spectral reflectivity is lower than that at a vertical angle. When the acquisition angle is bigger than 10°, the spectral reflectivity increases if the angle becomes bigger.

**Keywords** Spectral mixing mechanism; Snow-desert vegetation; Controlled acquisition; K-means; Absorption characteristic; Micro-scale

(Received Feb. 22, 2017; accepted Sep. 30, 2017)