

# 科尔沁沙地不同演替阶段差巴嘎蒿群落高光谱特征

邬亚娟<sup>1</sup>, 刘廷玺<sup>1,2</sup>, 童新<sup>1,2</sup>, 罗艳云<sup>1,2</sup>, 段利民<sup>1,2</sup>, 曹文梅<sup>1</sup>

(1.内蒙古农业大学 水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018;

2.内蒙古农业大学 内蒙古自治区水资源保护与利用重点实验室, 呼和浩特 010018)

**摘 要:**为了研究干旱半干旱地区植被资源的可持续利用,以科尔沁沙地建群种差巴嘎蒿为主要研究对象,将群落演替划分为 4 个阶段,从“同物异谱”特性着手,利用连续统去除和一阶微分对原始光谱进行变换处理,使用马氏距离法确定了冠层原始光谱和变换光谱的差异显著波段。结果表明:同一时期的差巴嘎蒿群落随着演替进行,红边反射率持续上升,9 月群落将进入凋萎期,总体曲线较 5 月降低;对比不同演替阶段的差巴嘎蒿群落在导数变换以及连续统去除后的光谱特征,群落的一阶导数光谱在峰值、峰形、吸收峰位置存在显著差异,可以利用红边特征以及吸收深度进行识别,且 9 月特征识别效果好于 5 月;马氏距离值能够科学快速地提取群落间差异较显著的特征波段,同时结合光谱变换达到了很好的降维效果,且提高了识别精度。其中 9 月份一阶导数变换降维效果最佳,且识别效果最优。研究利用一阶导数法与连续统去除法弱化了土壤背景的影响,为增强反射率特征及特征波段的差异性提供了较好的方法,同时马氏距离值能够反映不同光谱变换下差异显著的波段位置,有助于干旱半干旱地区植被识别研究。

**关键词:**差巴嘎蒿;群落演替;连续统去除;一阶导数;马氏距离

**中图分类号:**Q145; TP7

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2020)06-0160-08

## Hyperspectral Characteristics of *Artemisia halodeudrou* Communities in Different Succession Stages in Horqin Sandy Land

WU Yajuan<sup>1</sup>, LIU Tingxi<sup>1,2</sup>, TONG Xin<sup>1,2</sup>, LUO Yanyun<sup>1,2</sup>, DUAN Limin<sup>1,2</sup>, CAO Wenmei<sup>1</sup>

(1.College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;

2.Key Laboratory of Water Resources Protection and Utilization, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

**Abstract:** As one of the main vegetation community species in arid and semi-arid areas, the rapid and accurate identification of *Artemisia halodeudrou* is beneficial to the effective utilization of vegetation resources in alpine areas. In order to study the sustainable utilization of vegetation resources in arid and semi-arid areas, the main objective of this study is to study the species diversity of *Artemisia halodeudrou* in Horqin Sandy Land. The community succession of *Artemisia halodeudrou* succession was divided into four stages and the characteristics of ‘same subject with different spectra’ were studied. The method of continuum removal and first derivative reflectance were used to deal with the original spectral data. The Mahalanobis distance method was used to determine the significant difference between the original spectrum and the transform spectrum. The results showed that: at the same time, with the succession of *Artemisia* communities, the reflectivity of red edge continued to rise; in September, the community entered the wilting period, and the overall curve was lower than that in May; compared the spectral characteristics of *Artemisia* communities at different succession stages after first derivative transformation and continuum removal, the first derivative spectrum of the community showed significant differences in peak, peak shape and absorption peak positions; red edge and absorption depth could be used for recognition, and the best time for recognition was September; Mahal-

收稿日期:2019-11-16

修回日期:2020-07-11

**资助项目:**国家自然科学基金(51620105003,51809141);内蒙古自然科学基金重大项目与博士项目(2018ZD05,2018BS05001);教育部创新团队发展计划(IRT\_17R60);科技部重点领域科技创新团队(2015RA4013);内蒙古农业大学高层次人才科研启动金项目(NDYB2017-24);内蒙古自治区草原英才产业创新创业人才团队、内蒙古农业大学寒旱区水资源利用创新团队(NDTD2010-6)

**第一作者:**邬亚娟(1994—),女,内蒙古乌兰察布人,硕士研究生,研究方向为遥感生态水文。E-mail:wwyajuan@foxmail.com

**通信作者:**刘廷玺(1966—),男,内蒙古赤峰人,教授,主要从事干旱半干旱地区生态水文研究。E-mail:txliu1966@163.com

anobis distance could scientifically and quickly extract characteristic bands with significant differences between communities; the dimensional reduction effect was achieved by spectral transformation, and the recognition accuracy was improved; among them, the dimension reduction effect of the first derivative transformation in September was the best, and the identification effect was the best. The first derivative method and continuum removal method were used to weaken the influence of soil background, and provided the better method to enhance the reflectance characteristics and the difference of characteristic bands; at the same time, Mahalanobis distance range could express the positions of bands with significant differences under different spectral transforms, which was helpful to study vegetation identification in arid and semi-arid areas.

**Keywords:** *Artemisia halodeudrou*; community succession; continuum removal; first derivation; Mahalanobis distance

植被不仅可以反映一个地区生态系统的稳定性,更能通过研究该地区的植被生产力以及恢复力预测地区环境的发展方向。生态环境的改善与植被的生长相辅相成,传统植被生长状态的监测手段费时费力,为了数据的准确性,采样过程中对植被土壤等在一定程度上会造成不可避免的损害<sup>[1]</sup>。而近年来飞速发展的高光谱技术为植被资源监测提供了新的方向,因其较高的光谱分辨率,高效、全面、准确、无损害等优势,在植被的生理生化参数如叶绿素<sup>[2]</sup>、生物量<sup>[3]</sup>等的反演中具有极高的研究价值。如在草地资源的研究中,Kong<sup>[4]</sup>、马维维<sup>[5]</sup>等分析得到不同草原植被光谱反射率的差异性,建立了植被参数反演模型以监测草原植被生长状态。Zhao<sup>[6]</sup>、Huang<sup>[7]</sup>等通过对植被光谱特征的分析,识别出受虫害的亚健康植被,认为其在植被健康评价方面也具有强大的功能。但关于光谱的研究往往会忽视植被冠层光谱与叶片光谱差异性<sup>[8]</sup>,植被冠层光谱不仅受叶片光谱的影响,还受到生长环境、下垫面等因素影响,增加了信息提取的难度。目前弱化这些影响的方法主要有连续统去除法、微分法、马氏距离法等突出了不同植被的显著差异性。为此,研究学者进行了大量的光谱曲线特征分析,应用最广泛的是红边参数、“双峰”以及吸收参数等变量与植被类型的相关关系<sup>[9]</sup>,经过系统分析其相关性,可以达到种类识别目的,如刘波等<sup>[10]</sup>提取包络线去除法后的高寒地区草地植被光谱曲线特征,分析了退化草地不同植被种类红边参数随时间变化的趋势;武红旗等<sup>[11]</sup>得出利用伊犁绢蒿在荒漠地区的植被指数及特征光谱参量,能够有效与其他沙生植被区分的结论;杨红飞等<sup>[12]</sup>利用植被指数结合特征波段信息进行不同草原植被的分类识别,成功分析出干旱荒漠草甸植被与蒿属荒漠草甸植被的差异性。近几年,越来越多的学者致力于植被的地面光谱特征与影像信息相结合<sup>[13-14]</sup>,尤其是植被退化严重的干旱

少雨地区。然而如何将光谱信息与植被种群格局,群落构成等地貌信息相结合,是当下研究的另一个突破点<sup>[15]</sup>。多数研究基于植被长势最佳的夏季,并不能充分代表并应用于其他时期,以及如何结合统计学方法进行特征波段的选择是如今光谱技术研究的重点。

研究表明,定量遥感监测秋季植被具有重要的理论意义和广泛的应用前景。为此,为了更好地与遥感卫星和天空遥感相结合,数据采集面向植被冠层,通过植被群落演替阶段的生态划分和原位高光谱试验,以科尔沁沙地 2019 年春末夏初与秋季两个时相不同演替阶段的差巴嘎蒿群落为研究对象,同时利用马氏距离进行特征波段的选择,分析主要优势种群的光谱特征及其光谱特征差异,为建立点尺度与面尺度遥感数据之间的联系及荒漠植被识别提供有效参考。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古自治区通辽市科尔沁沙地南部,地理坐标为 43°18′48″—43°21′24″N,122°33′00″—122°41′00″E 的东南缘,总面积约 55 km<sup>2</sup>。受半干旱温带大陆性季风气候影响,年平均气温 6.6℃,多年平均降水量 389 mm,且主要集中在夏季,Φ20 cm 蒸发皿年平均测得的水面蒸发量约为 1 412 mm,冬季时间短,霜冻少,地下水位较高。研究区主风向为西南风,且含沙量高,该地区植被具有很强的防风固沙能力和抗旱性,由于研究区土质干燥疏松和多风等气候状态,再加上人为的不合理放牧和过垦等行为干扰下,土地沙化严重,植被生长环境恶劣,所以过渡带垅甸相间区域植被基本上属于同一植被型<sup>[16]</sup>,经实地调查主要建群种为差巴嘎蒿(*Artemisia halodeudrou*),伴生有麻黄(*Herbal ephedrae*)、沙蓬(*Agriophyllum squarrosum*)、狗尾草(*Setaria viridis*)、虫实(*Corispermum hyssopifolium*)等草本植被。

### 1.2 调查方法与差巴嘎蒿群落演替阶段划分

植被群落的演替是在一定区域内群落物种的替代程度<sup>[17]</sup>。在科尔沁沙地从流动沙丘到固定沙丘的差巴嘎蒿群落在 5 月中旬与 9 月上旬易与其他植被区分<sup>[18]</sup>,所以研究选择该时期所获得的不同演替阶段差巴嘎蒿群落进行其冠层光谱采集。根据研究区主要差巴嘎蒿群落的优势种及伴生种在群落中的分布状况及地貌土壤的环境情况,结合研究区植被演替顺序(一年生→一年生+多年生→一年生+多年生+灌木→多年生+灌木)<sup>[19]</sup>,将沙丘—草甸过渡带差巴嘎蒿群落划分为 4 个演替阶段:群落 I(沙蓬+差巴嘎蒿+虫实)→群落 II(差巴嘎蒿+麻黄+虫实)→群

落 III[差巴嘎蒿+冷蒿(*Artemisia frigida*)+虫实]→群落 IV(差巴嘎蒿+冷蒿+狗尾草)。在流动到固定沙地不同类型沙地上均匀布设 10 m×10 m 大样方各 3 个,统计差巴嘎蒿株高、冠幅和株数;在每个样方内同期设置 3 个 1 m×1 m 小样方并编号,记录植被种类,测定株高、冠幅和株数,在光谱数据采集之后用收获法获得样方内地上生物量,测定其鲜重与干重。表 1 为采样点差巴嘎蒿群落植被组成及物候特征,可知 9 月群落的盖度与生物量等指标均优于 5 月。其中优势度能够表征植物物种在群落中的相对重要性,是相对频度、相对密度、相对高度以及相对盖度的综合指标,该值通过实际调查获取。

表 1 不同季相差巴嘎蒿群落不同演替阶段物候特征

月份	群落 代码	群落组成 (优势度)	平均 高度/cm	盖度/ %	生物量/ (g·m <sup>-2</sup> )
5	群落 I	沙蓬(37.45)+差巴嘎蒿((31.2)+虫实(10.11)	15	10	30.54
	群落 II	差巴嘎蒿(42.13)+麻黄(20.07)+虫实(12.1)	21	25	68.45
	群落 III	差巴嘎蒿(35.12)+冷蒿(23.0)+虫实(19.02)	23	33	101.23
	群落 IV	差巴嘎蒿(38.44)+冷蒿((24.58)+狗尾草(10.56)	23	46	106.1
9	群落 I	沙蓬(29.54)+差巴嘎蒿(20.49)+少花蒺藜 <i>Cenchrus pauciflorus</i> Benth(19.2)	30.57	44	130.61
	群落 II	差巴嘎蒿(30.14)+麻黄(25.71)+狗尾草(17.55)	49.06	53	141
	群落 III	差巴嘎蒿(25.66)+冷蒿((26.78)+狗尾草(23.54)	55.49	68	213.88
	群落 IV	差巴嘎蒿(29.61)+狗尾草(28.54)+糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i> (18.47)	63.26	82	225.49

注:优势度=重要值/4×100(其中,重要值=相对密度+相对频度+相对高度+相对盖度)。

### 1.3 光谱数据采集及处理

1.3.1 光谱数据采集 使用美国 ASD 公司生产的 Field Spec4 便携式光谱仪,其波段值范围为 350~2 500 nm,350~1 000 nm 波段光谱采样间隔(波段宽)为 1.4 nm,光谱分辨率为 3 nm;1 000~2 500 nm 波段光谱采样间隔为 2 nm,光谱分辨率为 10 nm。测试日天气晴朗,光照稳定,测试时间为11:00—14:00,以保证太阳高度角和光照强度;风力等于或小于 3 级。在测试前对光谱仪进行调试,用白板进行定标,之后每 30 min 标定 1 次。探头距离植被冠层高度固定在 1 m,每个样方测量得到 10 条光谱曲线,平均后得到该植被群落的实际反射率数据。钱育蓉等<sup>[20]</sup>认为植被有效光谱波段范围为 350~900 nm,所以本研究选取该范围内的特征光谱进行分析。由研究可知健康植被在可见光—近红外波段处的“绿峰”“红谷”具有较敏感的特性<sup>[21]</sup>(表 2)。

1.3.2 一阶微分变换 仪器噪声与土壤背景对植被冠层反射率具有较大影响,可以利用导数变换<sup>[22]</sup>弱化其影响程度。本研究利用一阶导数变换,提取不同季相不同演替阶段差巴嘎蒿群落红边特征差异进行分析。一阶导数变换公式如下:

$$\rho'(\lambda_i)=\frac{\rho(\lambda_{i+1})-\rho(\lambda_{i-1})}{2\Delta\lambda}\tag{1}$$

式中: $\lambda_i$  为波段  $i$  的波长值; $\rho(\lambda_i)$  为波长  $\lambda_i$  的光谱反射率; $\Delta\lambda$  为波长  $\lambda_i$  到  $\lambda_{i+1}$  的间隔。

表 2 植被光谱参数描述

光谱参数	定义及描述
绿峰幅值 Dg	510~560 nm 处光谱最大值
绿峰位置 Gp	Dg 对应的波长位置(nm)
红谷幅值 Dr-v	640~680 nm 处光谱最小值
红谷位置 Rv	Dr-v 对应的波长位置(nm)
红边幅值 Dr	680~760 nm 处一阶导数光谱最大值
红边位置 Rp	680~760 nm 处一阶导数光谱最大值对应波长(nm)
红边面积 Sr	680~760 nm 处一阶导数光谱包围的面积

1.3.3 包络线去除法 包络线去除法(图 1)通过将反射光谱吸收强烈部分的波段进行转换,从而进行光谱吸收特征分析,也可以称为连续统去除法<sup>[23]</sup>。所谓的“包络线”是指逐点直线连接随波长变化的吸收或者反射突出的“峰”值点,并使折现在峰值点上的外角大于 180°,放大了植被光谱在可见光处的两个吸收谷,根据群落结构的不同,群落冠层吸收特征不同。包络线去除的计算公式为:

$$CR(\lambda_i) = \frac{\rho(\lambda_i)}{C(\lambda_i)} \quad (3)$$

式中:  $CR(\lambda_i)$  为波长  $\lambda_i$  处的连续统去除值, 其中  $C$  是一个凸包拟合在频谱的顶部, 以连接局部频谱最大值;  $\rho(\lambda_i)$  为波长  $\lambda_i$  处的光谱反射率;  $C(\lambda_i)$  为波长  $\lambda_i$  处直线的光谱反射率。

进一步计算连续统去除后的曲线中的 400~530 nm 和 550~730 nm 处的吸收深度[ $DEP(\lambda_i)$ ]、吸收峰面积(Area), 其计算公式分别为:

$$DEP(\lambda_i) = 1 - CR(\lambda_i) \quad (4)$$

$$Area = \int_{\lambda_{start}}^{\lambda_{end}} CR(\lambda_i) \quad (5)$$

式中:  $DEP(\lambda_i)$  为波长  $\lambda_i$  处的波段深度;  $\lambda_{end}$ ,  $\lambda_{start}$  为吸收终点和起点的波长。

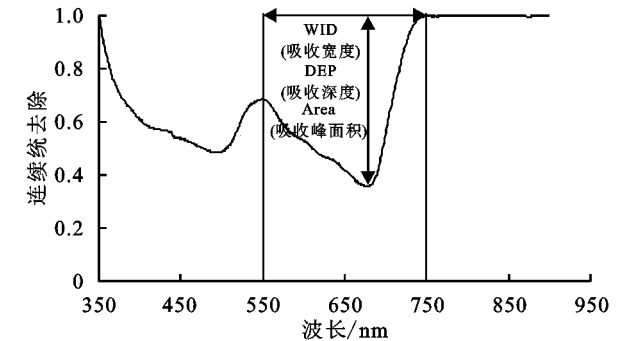
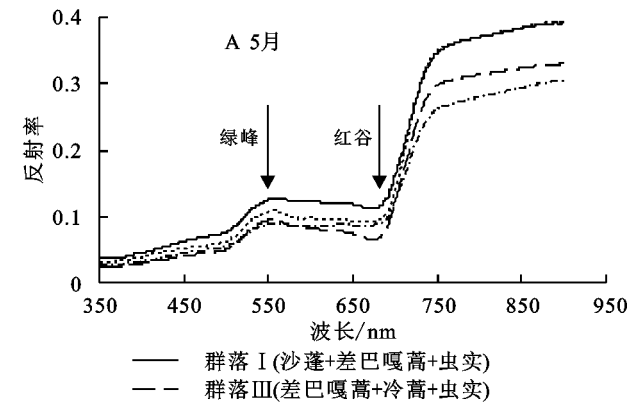


图 1 吸收参数示意图

1.4 基于马氏距离的特征波段选取

马氏距离是计算未知样本间相似度的常见方法<sup>[24]</sup>, 它可以计算数据间的协方差距离, 优势在于能



够描述不同位置样本集间的相似度, 同时兼具受量纲影响小等优点。本研究使用马氏距离对原始及经过导数、包络线去除获得的光谱特征波段进行检验, 选出符合要求的马氏距离对应的波段, 即差巴嘎蒿群落间的识别最佳波段, 并进行精度验证, 马氏距离值计算使用 SPSS 23 软件进行。

$$MD_k = \sqrt{(X_k - \mu)^T \Sigma^{-1} (X_k - \mu)} \quad (6)$$

式中:  $MD_k$  为不同光谱曲线在  $k$  波段的马氏距离;  $X_k$  为不同光谱曲线在  $k$  波段的差值矩阵;  $\mu$  为均值向量;  $\Sigma^{-1}$  为协方差矩阵的逆。

2 结果与分析

2.1 不同演替阶段差巴嘎蒿群落冠层光谱特征

图 2 为不同演替阶段差巴嘎蒿群落分别在生长季初期与末期的原始冠层光谱曲线, 由图 2 可知, 主要优势种群的冠层光谱反射曲线呈现出同异交错现象, 总体表现出绿色健康植被的反射趋势, 但局部差异较大。主要表现为, 随着植被群落的稳定, 植物光合作用能力增强, 光谱参数表现出不同的特征: 5 月份群落 I 与群落 II 的红边基本重合, 结合物候期植被调查情况说明, 此时植被正处于返青期, 群落 II 中以差巴嘎蒿为主, 草本植被作为伴生种处于生长初期对整体群落的反射率影响不大。随着演替进行, 群落 III 与群落 IV 在绿峰处较接近, 该波段处主要与叶绿素含量有关, 此时群落 III 中的白草与群落 IV 中的羊草作为固定群落优势种开始返青, 故呈现相似的植被特征。

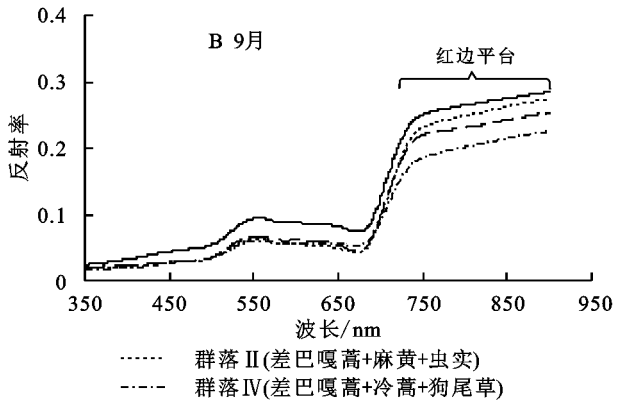


图 2 5 月、9 月不同演替阶段差巴嘎蒿群落高光谱反射率

由表 3 可以看出, 随着演替的推移, 9 月时 680 nm 处的红谷由低到高依次为群落 II < 群落 III < 群落 IV < 群落 I, 说明作为能够诊断植被健康程度的敏感性特征, 随着植被种类增多, 稳定性增加, 叶绿素浓度增加, 群落中开始呈现叶片较多的状态。群落 I 在可见光波段的绿峰和红谷位置与其他群落差异最大, 这是由于其盖度较低, 植被种类单一, 受土壤影响大,

对光的强反射和强吸收信息被大大减弱, 虽然在绿峰强反射波段内反射率仍最高, 却相对弱化了与其他可见光波段反射率的差异性, 显示演替初期群落生长环境对植被的影响较严重, 且相比较 5 月份群落反射率值, 除了群落 1 总体反射率值变化不大, 总体反射率值比 5 月份呈下降趋势, 这是由于群落 1 生长环境恶劣, 群落组成变化不大。



表 3 不同演替时期差巴嘎蒿群落原始光谱的“绿峰”和“红谷”参数

光谱参数	5 月				9 月			
	群落 I	群落 II	群落 III	群落 IV	群落 I	群落 II	群落 III	群落 IV
绿峰幅值	0.127	0.108	0.095	0.090	0.095	0.064	0.067	0.060
绿峰位置/nm	560	555	554	557	556	553	553	554
红谷幅值	0.112	0.091	0.066	0.086	0.074	0.043	0.045	0.052
红谷位置/nm	672	666	672	666	673	672	673	669

2.2 不同演替阶段差巴嘎蒿群落红边分析

原始光谱的导数变换能够反映出反射率增减幅度。图 3 为 350~900 nm 范围内原始光谱的一阶导数曲线及其红边图。可见光波段是以植物叶片的吸

收为主,反射率值相对较低,一阶导数值在 350~550 nm 范围内虽然也有波动,但均为正值,呈不断增加趋势;550~670 nm 波段范围内为负值,说明这一阶段光以吸收为主,反射率逐渐减小。

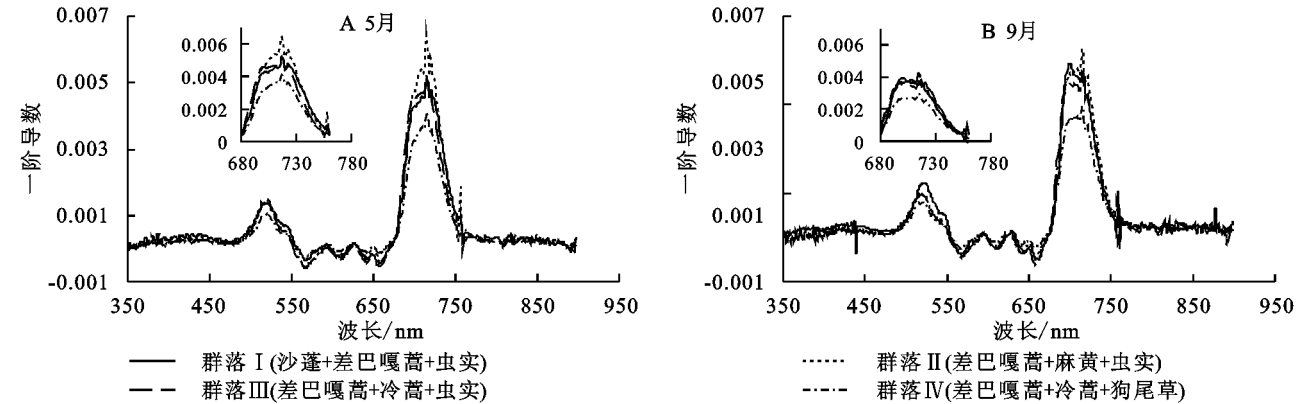


图 3 5 月、9 月不同演替阶段差巴嘎蒿群落一阶导数变换及其对应红边信息

进一步分析差巴嘎蒿群落在不同季相不同演替阶段的“红边”特征,对 5 月群落冠层光谱 680~760 nm 波段范围内的一阶导数进行分析。结果显示 4 个群落不同时期均具有明显的“双峰”现象,且 5 月与 9 月最大峰值分别出现在 717,699 nm 处(表 4),红边向短波方向

移动,是由于成熟期叶片叶绿素含量增多,早情得到缓解。其中,9 月的群落 I 与群落 III 在 695 nm 处有个不明显的峰值,呈现“三峰”特征,峰值的“红移”显示随着生长期推移,生物量增加、植被盖度增加,土壤背景对光的反射影响变小,峰值整体降低。

表 4 差巴嘎蒿群落的“红边”参数

参数	5 月				9 月			
	群落 I	群落 II	群落 III	群落 IV	群落 I	群落 II	群落 III	群落 IV
红边幅值	0.005	0.006	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003
红边位置/nm	717	717	717	717	700	699	698	699
红边面积	0.244	0.265	0.238	0.179	0.180	0.192	0.176	0.136

2.3 不同演替阶段差巴嘎蒿群落连续统去除分析

为了弱化土壤背景对植被光谱特征的影响,强化波段 350~900 nm 区域内反射率的特征信息,采用连续统去除提取光谱特征。如图 4 所示,不同演替阶段的差巴嘎蒿群落连续统去除位于 510 nm 与 680 nm 附近具有两个明显的吸收谷,而红波段处的吸收效应大于蓝波段的吸收效应。经过计算得到红光波段(550~730 nm)处的吸收信息,见表 5。

生长季初期,在 550~730 nm 范围内,红波段处的吸收深度由大到小依次为群落 III>群落 II>群落 I>群落 IV,群落 III 在 650 nm 附近的吸收深度最大,说明在这个时期群落 III 中的植被种类增多,生物

量较大,对光的吸收强度也较大,虽然群落 IV 为差巴嘎蒿群落相对较稳定的演替后期,但是群落中的草本植被萌芽期较晚,所以吸收深度最小,即可以根据吸收深度来区分群落 III 和群落 IV。

生长季末期,在 550~730 nm 范围内,红波段处的吸收深度由大到小依次为群落 II>群落 III>群落 IV>群落 I,群落 II 在 650 nm 附近的吸收深度最大,说明在这个时期群落 II 中的植被种类增多,群落间生长状态不一致,与付元元等<sup>[25]</sup>的研究结果规律一致,群落 II 植被组成接近群落 III,最佳识别群落 II 与群落 III 的参数确定为吸收宽度。而群落 I 和群落 III 的宽深比差异最大为 64.97,区分效果最好。

生长季末期的宽深比和吸收峰面积相对差异较大,所以 9 月整体识别效果优于 5 月。综合结果看连续统去除变换后,4 种群落的吸收宽度在这两个吸

收波段差异不大,不能更好地区分,而区分不同演替阶段差巴嘎蒿群落最有效的特征参数是吸收深度和宽深比。

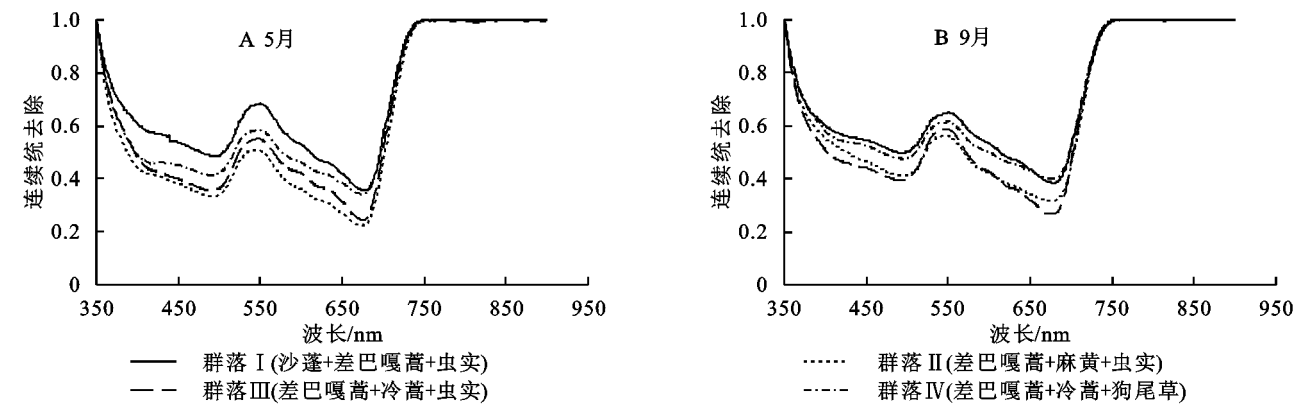


图 4 5 月、9 月不同演替阶段差巴嘎蒿群落连续统去除

表 5 连续统去除 550~730 nm 波段光谱曲线特征参数						
月份	群落代码	吸收宽度/nm	吸收深度	宽深比	吸收峰最小值	吸收峰面积
5	群落 I	208	0.61	338.24	0.39	96.20
	群落 II	212	0.68	310.33	0.32	81.27
	群落 III	205	0.73	279.53	0.27	80.40
	群落 IV	206	0.60	343.42	0.40	94.38
9	群落 I	208	0.62	338.24	0.39	96.20
	群落 II	212	0.77	273.72	0.23	72.43
	群落 III	206	0.75	273.27	0.25	80.30
	群落 IV	209	0.66	317.65	0.34	89.41

2.4 马氏距离法对不同光谱变换形式波段选择结果及精度识别

通过获取差异较大波段可实现不同演替阶段物

种分离,可见光波段中,绿峰总体向短波方向移动,红谷及红边位置向长波方向移动,这是由叶绿素含量决定的。植被的红边平台特征由叶片细胞结构决定,是绿色健康植被的光谱共性,其差异性也受这些因素的影响。马氏距离能够消除变量间的相关性干扰且不受量纲的影响,利用马氏距离进行特征波段的选择可快速有效地提取该波长内的显著差异波段。选取的差异显著波段的马氏距离值要高于各波段的平均值,同时,为便于实测光谱数据与高光谱遥感数据相结合,规定马氏距离值高的波段必须连续出现 10 nm 以上。图 5 为不同演替时期差巴嘎蒿群落冠层原始光谱差异波段选择结果,马氏距离值越大的波段表明不同群落在此波段内差异越显著,容易识别。

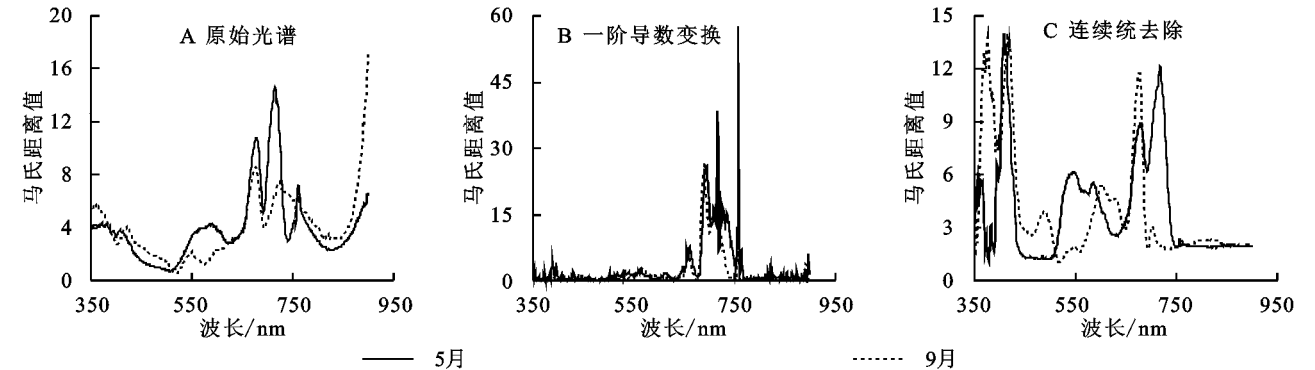


图 5 不同形式的冠层光谱马氏距离值

通过对原始光谱曲线、一阶导数以及连续统变换进行马氏距离的计算得到差异较大的特征波段(表 6),特征波段数量的减少说明导数变换以及连续统去除有效降低了特征波段维数。马氏距离均值由高到低依次为一阶导数(9.44)>连续统去除(7.32)>原始光谱(6.00),且光谱变换前后差异显著波段均处于红波段处,说明红波段处包含的信息最多,侧面表明

了基于马氏距离的波段选择结果有效且准确,同刘波<sup>[10]</sup>的研究结论相似。3 种光谱曲线得到的差异显著波段有所不同但均存在共同点,原始光谱所提取的差异波段集中于可见光以及近红外波段,一阶导数变换后差异表现在红波段以及绿波段处。两个季相的群落演替均遵循此规律,说明作为干旱半干旱地区差巴嘎蒿群落作为主要指示种生长较稳定。

表 6 马氏距离筛选出的光谱波段

月份	项目	差异显著波段 (马氏距离值)	平均识别 精度/%
5	原始光谱	354~384(4.15),579~597(4.15),653~734(8.95),750~781(5.05),873~900(5.28)	78.6
	一阶导数	654~667(4.23),683~751(14.75)	88.5
	连续统去除	352~367(5.05),392~429(8.97),523~600(5.32),656~736(8.12)	80.3
9	原始光谱	350~387(5.14),655~692(6.49),696~801(5.63),860~900(8.62)	73.1
	一阶导数	653~664(4.76),680~732(14.02)	87.0
	连续统去除	358~437(9.97),587~637(4.73),658~687(8.65)	83.7

3 讨论与结论

3.1 讨论

对群落冠层反射率的影响因素是多元的,群落结构、植被盖度、土壤状况以及环境因子等。研究显示植被能够指示土壤理化性质,能够表征土壤中有机质含量的动态变化,相反,通过对土壤光谱特征参数的提取,也能够预测该特征下植被资源的状态<sup>[26]</sup>。多数学者利用光谱参数、植被指数、光谱变换等对不同植被进行叶片光谱采集,通过分析其同异性能够较准确地进行区分,如对退化草地不同植被类型的光谱分析能够成功识别出退化植被在整个生态系统中的影响<sup>[27]</sup>。

植被群落间结构的差异性,使得不同植被群落对资源的利用能力不同,对光的响应程度也存在差异性<sup>[28]</sup>。通过对群落间的同异性分析可以监测干旱半干旱地区的植被分布格局及生长状态,由流动沙地植被到固定沙地植被群落的演替中必然存在植被物种的入侵及人为影响下发生的群落演替方向的改变,同时在预测植被长势以及环境变化方面具有较大潜力。然而针对植被叶片的光谱分析无法较好地与遥感影像光谱进行融合,选择冠层光谱进行研究可以为与影像的融合提供参考。如杜保佳<sup>[29]</sup>在结合影像与地面光谱研究中取得了良好的效果,即利用波普信息的算法结合方式进行特征的融合达到了数据的统一以及植被群落间的分离能力。物候以及环境差异使得植被类型识别方法的适用性受到限制。针对该问题,本文通过研究不同时期不同演替阶段差巴嘎蒿群落的冠层光谱特征变化,发现在不同的生存环境下其光谱特征具有明显的差异性,结合牛亚龙<sup>[30]</sup>在差巴嘎蒿与其他沙生植被的光谱研究中发现,利用光谱差异波段和导数光谱参数的识别效果显著,以及通过研究植被含水量以及光谱特征的相关关系可有效分析出类别间的差异性。但是作为干旱半干旱地区指示种差巴嘎蒿群落结构较复杂,且有针对性的光谱研究有限。

研究发现植被凋萎期易受到土壤以及落叶等背景影响从而影响植被对光的反射能力,根据刘波等<sup>[10]</sup>的研究可知生物量的变化影响着光谱吸收参

数,能够描述植被长势。同时随着气候以及季相的变化,由一年生到多年生草本植被的演变过程中,冠层光谱随之变化,如苔草以及木地肤能够强化不同群落间的光谱差异<sup>[11]</sup>。传统利用“三边”参数进行植被种类识别,大都处于理论阶段且属于人的主观选择,想要真正应用到实际卫星影像中,除了需要解决波段宽度的差异,还包括光谱分辨率不一致的困难,更容易造成数据的冗余。不同类型地物可以根据特定的光谱差异进行有效识别,对这些特征的有效筛选有利于卫星遥感数据的分类研究。而利用聚类分析进行特征提取能够科学选择有效特征,并加以分析,在科学的计算方法上加上研究人员的主观知识,更加有说服力。

地区荒漠化与人类的不合理利用具有极大的关系,在植被的演替过程中,首先要深入环境保护这一理念,加大管理力度,科学分配当地可利用资源。研究仅针对科尔沁沙地建群种,如何将同一种群的演替方法尝试应用到不同种群的演替研究,将地物高光谱与多光谱融合进行地物分类等,对基于遥感的对地旱情监测、产量评估等具有重要意义。

3.2 结论

作为干旱半干旱地区植被群落建群种,差巴嘎蒿群落在改善当地生态环境与防风固沙方面发挥着不可替代的作用。本文通过研究不同演替阶段差巴嘎蒿群落的光谱特征,发现随着植被种类增多,植被对光的吸收越强烈,生长季初期植被群落在红谷处呈现出的光谱差异大于绿峰,但是该“双峰”值位置的变化不具有规律性。生长季末期的反射率值总体低于生长季初期,这是由于此时土壤背景的影响随着盖度的增加而减弱,与牛亚龙等<sup>[18]</sup>的研究结论一致。除此之外,研究利用一阶导数法与连续统去除法能够有效弱化土壤背景的影响,在增强反射率特征及特征波段的差异性提供了较好的方法。最后利用马氏距离值进行特征波段的选择,结果显示不同光谱变换下差异显著的波段位置较集中,可以在一定程度上区分不同生境下的群落,且一阶导数变换下识别结果最优,该方法更加适用于科尔沁沙地干旱半干旱区植被特征波段的提取。

## 参考文献:

- [1] 杨峰,钱育蓉,李建龙,等.利用高光谱技术无损探测高羊茅草坪草营养状况研究[J].中国草地学报,2009,31(1):86-91.
- [2] 程志庆,张劲松,孟平,等.植被参数高光谱遥感反演最佳波段提取算法的改进[J].农业工程学报,2015,31(12):179-185.
- [3] 李园园,楚光明,牛攀新,等.基于地面高光谱遥感数据的梭梭地上生物量估算模型[J].干旱区资源与环境,2018,32(7):93-97.
- [4] Kong B, Yu H, Du R X, et al. Quantitative estimation of biomass of alpine grasslands using hyperspectral Remote sensing [J]. Rangeland Ecology & Management, 2019,72(2):336-346.
- [5] 马维维,巩彩兰,胡勇,等.牧草品质的高光谱遥感监测模型研究[J].光谱学与光谱分析,2015,35(10):2851-2855.
- [6] Zhao X, Wang W, Ni X, et al. Utilising near-infrared hyperspectral imaging to detect low-level peanut powder contamination of whole wheat flour [J]. Biosystems Engineering, 2019,184:55-68.
- [7] Huang W, Guan Q, Luo J, et al. New optimized spectral indices for identifying and monitoring winter wheat diseases [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2014,7(6):2516-2524.
- [8] 赵恒谦,张文博,朱孝鑫,等.煤炭矿区植被冠层光谱土地复垦敏感性分析[J].光谱学与光谱分析,2019,39(6):1858-1863.
- [9] 孙华林,耿石英,王小燕,等.晚播条件下基于高光谱的小麦叶面积指数估算方法[J].光谱学与光谱分析,2019,39(4):1199-1206.
- [10] 刘波,沈渭寿,李儒,等.雅鲁藏布江源区高寒草地退化光谱响应变化研究[J].光谱学与光谱分析,2013,33(6):1598-1772.
- [11] 武红旗,范燕敏,靳瑰丽,等.伊犁绢蒿荒漠草地植物光谱特征[J].草业科学,2019,36(7):1765-1773.
- [12] 杨红飞,李建龙,穆少杰,等.新疆 3 种主要草地植被类型的高光谱反射特征研究[J].草业学报,2012,21(6):258-266.
- [13] Adam E, Mutanga O, Abdel-Rahman E M, et al. Estimating standing biomass in papyrus (*Cyperus papyrus* L.) swamp: exploratory of in situ hyperspectral indices and random forest regression[J]. International Journal of Remote Sensing, 2014,35(1/2):693-714.
- [14] 杨立君,马明栋,唐立军.基于 TM 影像的崇明东滩湿地植被分类研究[J].水土保持研究,2013,20(1):126-130.
- [15] Li S P, Wu Z F, Zhao Y S. Hyperspectral and red-edge characteristics of typical hardwoods leaf coloring date in Mudan Valley, Changbai Mountain[J]. Journal of Infrared and Millimeter Waves, 2016,35(5):584-591.
- [16] 赵丽娅,高丹丹,熊炳桥,等.科尔沁沙地恢复演替进程中群落物种多样性与地上生物量的关系[J].生态学报,2017,37(12):4108-4117.
- [17] 郝孟曦,杨磊,孔祥虹,等.湖北长湖水生植物多样性及群落演替[J].湖泊科学,2015,27(1):94-102.
- [18] 牛亚龙,刘廷玺,段利民,等.科尔沁沙地 5 种典型沙生植被高光谱特性分析与遥感解译参数提取[J].生态与农村环境学报,2017,33(7):632-644.
- [19] 曹文梅,刘小燕,王冠丽,等.科尔沁沙地自然植被与生境因子的 MRT 分类及 DCCA 分析[J].生态学杂志,2017,36(2):318-327.
- [20] 钱育蓉,于炯,贾振红,等.新疆典型荒漠草地的高光谱特征提取和分析研究[J].草业学报,2013,22(1):157-166.
- [21] 杨凯,沈渭寿,刘波,等.那曲典型草地植被光谱特征分析[J].遥感技术与应用,2014,29(1):40-45.
- [22] 王惠宁,靳瑰丽,范燕敏,等.不同盖度下伊犁绢蒿荒漠草地光谱特征及盖度反演精度研究[J].中国草地学报,2019,41(2):51-57.
- [23] 张翼然,宫兆宁,赵文吉.水分环境梯度下野鸭湖湿地典型植被光谱特征分析[J].光谱学与光谱分析,2012,32(3):743-748.
- [24] 况润元,曾帅,赵哲,等.基于实测高光谱数据的鄱阳湖湿地植被光谱差异波段提取[J].湖泊科学,2017,29(6):1485-1490.
- [25] 付元元,王纪华,杨贵军,等.应用波段深度分析和偏最小二乘回归的冬小麦生物量高光谱估算[J].光谱学与光谱分析,2013,34(5):1315-1319.
- [26] 厉成伟,赵萌,陶燕东,等.滨海湿地植被—土壤相互作用及其对沉积环境分异的响应格局[J].生态学杂志,2018,37(11):3305-3314.
- [27] 冯双双,田冰,胡引翠,等.坝上草原退化指示种光谱特征研究[J].干旱区资源与环境,2016,30(3):133-139.
- [28] 于瑞鑫.荒漠草原斑块尺度群落结构和功能性状年内动态特征[D].银川:宁夏大学,2019.
- [29] 杜保佳.基于 HSI 高光谱遥感影像的向海湿地典型植被群落分类研究[D].长春:吉林师范大学,2017.
- [30] 牛亚龙.科尔沁沙地固沙植被高光谱特性及叶片含水率反演研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2017.