

河西走廊薄叶荒漠植物光谱特征

周兰萍,魏怀东,詹科杰,陈芳,李亚,袁宏波,胡小柯

(甘肃省荒漠化与风沙灾害防治重点实验室—省部共建国家重点实验室培育基地,甘肃省荒漠化防治重点实验室,
甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站,甘肃省治沙研究所,甘肃 兰州 730070)

摘要:了解和掌握干旱区薄叶荒漠植物的光谱特征,不仅可为干旱荒漠区植物的遥感识别奠定基础,且对于干旱区的生态环境调控、演变及遥感反演等都具有重要的意义。以荒漠植物种丰富的河西走廊为研究区,利用全光谱便携式地物光谱仪测定13种灌木和9种草本薄叶荒漠植被地物反射光谱,对其光谱特征曲线、光谱特征参数及植被指数进行分析研究。结果表明,1)植被反射光谱波形大致相同,总体符合植被光谱特征的规律性;灌木植被和草本植被各在4个波段区间植被反射率差异明显,可用于识别荒漠植物;2)蓝边、黄边、红边位置及红谷、绿峰出现的波段范围差异不大,而蓝边、黄边、红边的斜率和面积各有差异;3)DVI值明显高于NDVI、SAVI、RVI、RDVI,利用同一种植被的5种植被指数的值同时大或小的排列顺序区分测定的大部分灌木植被和草本植被。

关键词:光谱特征;荒漠植物;光谱曲线;反射率

中图分类号:S758.4 文献标志码:A 文章编号:1001-7461(2017)06-0074-08

Spectral Reflectance Characteristics of Desert Plants with Thin Leaves in Hexi Corridor

ZHOU Lan-ping, WEI Huai-dong, ZHAN Ke-jie, CHEN Fang, LI Ya, YUAN Hong-bo, HU Xiao-ke

(State Key Laboratory of Desertification and Aeolian Sand Disaster Combating/Gansu Key Lab of Desertification Combating/
Gansu Minqin National Station of Desertification Pasture Ecology System Research/Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: The understanding and mastering the spectral characteristics of desert plants with thin leaves in arid region can not only lay the ground for remote sensing identification of drought desert plants, but also has vital significance for ecological environment control, evolution and remote sensing inversion and so on. Take Hexi Corridor of Gansu as research area, which is rich in desert plants, using FieldSpec® 4 Standard-Res(FS4S) Spectroradiometer, surface reflective spectra of 13 kinds of desert shrubs and 9 species of herbaceous vegetations were measured. The relationships between their spectral characteristic curves, spectral characteristic parameters and the spectral reflectance of vegetation index were analyzed. The results showed 1) waveforms of vegetation reflection spectra were approximately the same with the regularity of the spectral characteristics of vegetation. Shrubs and herbaceous vegetations in each of the four bands could be used to distinguish different desert plants because vegetation reflectance differences were significant. 2) Blue, yellow, and red edge positions and red valley, green peak appeared in the band range, while the blue, yellow, and red edge slopes and areas were different. 3) DVI values were significantly higher than those of NDVI, SAVI, RVI, RDVI. The majority of shrub vegetations and herbaceous vegetations could be distinguished by using five vegetation indices of the same plant.

Key words: spectral reflectance characteristics; thin leaf desert plant; spectral curve; reflectance

收稿日期:2017-02-14 修回日期:2017-04-11

基金项目:国家自然科学基金(31360204、41361001、31560235、41361004);甘肃省杰出青年基金项目(145RJDA327);甘肃省青年科技基金计划项目(145RJYA262)。

作者简介:周兰萍,女,副研究员,研究方向:荒漠化监测与防治。E-mail:zhoulp525@163.com

不同地物光谱反射曲线是地物对电磁波反射或发射差异的集中体现。地物光谱是建立地面与空间两种信息之间关系的桥梁^[1]。地物光谱特征的测量和研究是遥感理论研究的重要内容,也是各种遥感应用分析的基础。我国学者对地物光谱进行了广泛的研究^[2-11],涉及不同水分环境下的湿地植物的光谱特征提取,利用地面实测数据进行草地退化监测研究,森林树种的光谱特征,城市植被的高光谱数据及光谱曲线的差异和变化规律分析,三江源区不同退化程度的高寒草甸光谱分析,对毛竹林光谱数据微分处理,利用最小距离法、光谱相似角度、光谱相关系数和光谱信息散度 4 种光谱匹配算法,对去噪后沙丘植物光谱特征数据进行匹配分析,古尔班通古特沙漠中的梭梭和柽柳的灌层光谱,结合遥感影像分析,马尾松反射光谱组成的植被指数与其叶绿素含量之间的关系研究,不同叶绿素含量的 107 杨叶片的光谱特性、叶绿素含量与 11 种植被指数之间的关系以及 107 杨叶片叶绿素含量的光谱反演模式研究。

荒漠植物是经过残酷自然选择保存下来的,它们以各种不同的生理—生态方式适应严酷的生态条件,虽然在荒漠中生长稀疏,但却是荒漠生态系统的初级生产者,是维护荒漠生态系统稳定的重要因素,在荒漠生态系统中占有绝对重要的生态位^[12-13]。荒漠植被以多种多样的耐旱结构变形来适应恶劣的外部环境,这些结构变形导致其反射光谱曲线在特定波段具有相应的独特特征参数变化。所以,测定分析典型荒漠植物光谱特征曲线,研究其区别于非荒漠植被的光谱特征参量,分析其耐旱物质组分、耐旱结构与反射光谱特征参量的关系,对于研究干旱区植被的理化性能、覆盖度、植被的计算机识别和自动提取、植被分类、植被调查和干旱区的生态环境调控及演变、遥感反演等都具有重要意义。本研究以荒漠植物种丰富的河西走廊为研究区,利用野外光谱监测仪实地测量荒漠植被光谱特征,对该区域的典型的荒漠植物反射光谱特征进行观测研究,分析其光谱特征曲线规律,为荒漠植被遥感识别奠定基础,填补目前典型地物光谱数据库中缺乏荒漠植物光谱特征曲线的空白。

1 研究区概况

河西走廊位于甘肃省西北部祁连山和北山之间,东西 1 200 km,南北 100~200 km,走廊内分布有腾格里沙漠、巴丹吉林沙漠、库姆塔格沙漠和大面积的戈壁,气候干燥,风大沙多。气候分区从东部干旱区(年降水量 130~220 mm)到西部极端干旱区

(年降水低于 10 mm),各种不同应对干旱环境对策类型的荒漠植被广泛分布,有叶片变薄,含水量相对较少,耐旱力强的红柳(*Tamarix chinensis*)、花棒(*Hedysarum scoparium*)、苦豆子(*Sophora alopecuroides*)、骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)、驼绒藜(*Ceratoides latens*)、刺旋花(*Convolvulus tragacanthoides*)等薄叶植物;还有茎叶肥厚多浆的霸王(*Zygophyllum xanthoxylum*)、木本猪毛菜(*Salsola arbuscula*)、白刺(*Nitraria tangutorum*)、泡泡刺(*Nitraria sphaerocarpa*)、合头草(*Sympogma regelii*)、沙蒿(*Artemisia desertorum*)、河西菊(*Hexinia polydichotoma*)、刺沙蓬(*Salsola ruthenica*)等多浆植物;茎肉质多浆,叶片极度退化的梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、沙拐枣(*Calligonum arborescens*)、红砂(*Reaumuria songarica*)、珍珠猪毛菜(*Salsola passerina*)、黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)等肉茎植物;还有遇到干旱时叶片能卷曲成筒的沙生蔗茅(*Erianthus ravennae*)、大赖草(*Leymus racemosus*)等旱生卷叶植物^[13]。这些荒漠植物不仅在干旱区发挥着重要的生态作用和具有不可替代的生态位,而且蕴藏着极强的抗旱、耐瘠薄基因资源。河西走廊丰富的荒漠植物物种多样性使之成为荒漠植物特性研究的天然实验室,研究其荒漠植物的光谱特征具有高度的代表性。

2 材料与方法

2.1 野外光谱数据采集

采用美国 ASD 公司设计生产全光谱便携式地物光谱仪 FieldSpec® 4 Standard-Res(FS4S),光谱范围为 350~2 500 nm,光谱采样间隔约 1.5 nm,光谱分辨率 3.5 nm,探头视场角度为 25°。2015 年 7 月 24 日—8 月 1 日对河西走廊薄叶荒漠植物进行光谱采集,选择晴朗、无云、光照条件较好,风力较小时段进行测量,测量时间为 10:00—14:00。每种植物分别记录观测时间、GPS 位置、天气状况、实地照片,株高和冠幅等。测量要求每种植物测量前利用白板进行 1 次优化,选取有代表性的生长良好的薄叶荒漠植物 15~30 株,每株植物一次保存 5 条光谱,用 ViewSpecPro 软件取均值作为该植被的反射光谱。由于野外光谱仪测量时受环境影响较大,因此对测得的原始光谱数据进行了筛选,通过检查被测物体和标准板的光谱数据和光谱曲线,去除了其中无效的数据,保证光谱数据的有效性。

2.2 研究方法

2.2.1 光谱特征参数

植被光谱的“三边”参数为植被光谱区别于其他物种重要的特征之一,包括“黄

边”、“红边”和“蓝边”,所涉及到的参数有波段位置、幅值及峰值,“三边”参数涉及到光谱的微分技术,光谱的微分技术包括对反射光谱进行数学模拟和计算不同阶数的微分值,以迅速确定光谱弯曲点及最大最小反射率的波长位置,从而在一定程度上消除大气对目标植物群落光谱特征的影响^[14]。

一阶微分反射比(first order differential reflectance, FDR)通过对原始地物光谱反射率曲线进行导数处理,有一系列的优越性,主要有部分消除大气效应,可以消除植被光谱中土壤成分的影响,能反映植被的本质特征^[15]。

$$FDR_{\lambda(i)} = (R_{\lambda(j+1)} - R_{\lambda(j)}) / \Delta\lambda \quad (1)$$

其中: $FDR_{\lambda(i)}$ 是波段 j 和 $j+1$ 之间中点处波长值 i 的一阶微分反射比, $R_{\lambda(j)}$ 是波段 j 的原始反射率, $R_{\lambda(j+1)}$ 是波段 $j+1$ 的反射率, $\Delta\lambda$ 从是波长 $j+1$ 到 j 的间隔。

红边是绿色植物光谱最明显的特征之一,被定义为 680~760 nm 内绿色植被由叶绿素强烈吸收过渡到近红外区细胞间最大散射的反射率快速升高的光谱范围^[16]。“红边”位置是指红光范围内一阶导数最大值对应的波长,该波长对应的斜率即为“红边”幅值,红边峰值面积红光范围内一阶导数光谱值所包围的面积。“黄边”位置是指在 560~640 nm 范围内,一阶导数最大值对应的波长,该波长对应的斜率即为“黄边”幅值。黄边面积表示在黄边范围内一阶导数的加和,因为黄边幅值存在负值,因此,本研究计算了黄边范围内一阶导数绝对值的加和,记作 D_y 。“蓝边”位置是指在 490~530 nm 范围内,一阶导数最大值对应的波长,该波长对应的斜率即为“蓝边”幅值。以实测高光谱数据为基础,选择由植被光谱特征反射曲线可以获取红边、蓝边和黄边等特征参数(表 1)。

2.2.2 植被指数计算 采用 5 种植被指数进行计算,即归一化植被指数(NDVI)、差值植被指数(DVI)、比值植被指数(RVI)、再归一化植被指数(RDVI)和土壤调节植被指数(SAVI)。其中 NDVI 是最佳的植被生长状态指示因子,与植被的叶绿素含量、植被水分含量、植被冠层的胡萝卜素含量相关性较好。DVI 又称环境植被指数,对土壤背景的变化极为敏感,当植被密度大于 80% 时其灵敏度下降,且 DVI 与植被冠层的叶绿素含量相关性好。RVI 被广泛用于估算和监测绿色植被生物量,与叶面积指数、地上生物量、叶绿素含量,且 RVI 与叶绿素 a,b 含量以及胡萝卜素含量相关性好。RDVI 兼具 DVI 和 NDVI 两者的优点,可用于不同植被覆盖度的情况。SAVI 减弱了植被指数中的土壤信

息,提高了植被指数与植被的相关性。

表 1 植被光谱特征参数

Table 1 Spectral characteristic parameters

类型	名称	释义
基于高光谱 位置变量	D_b	蓝边的波段 490~530 nm 范围内最大的光谱一阶微分
	λ_b	λ_b 为 D_b 相应的波段位置,单位为 nm
	D_y	黄边的波段 550~582 nm 范围内最大的光谱一阶微分
	λ_y	λ_y 为 D_y 相应的波段位置,单位为 nm
	D_r	红边的波段 680~760 nm 范围内最大的光谱一阶微分
	λ_r	λ_r 为 D_r 相应的波段位置,单位为 nm
	R_g	绿峰的波段 510~560 nm 范围内最大的光谱反射率
	λ_g	λ_g 为绿峰 R_g 相应的波段位置,单位 nm
	R_r	红谷 R_r 是波段 640~680 nm 范围内最小光谱反射率
	λ_r	λ_r 为红谷 R_r 相应的波段位置,单位 nm
基于高光谱 面积变量	SD_b	蓝边面积 SD_b 为波段 490~530 nm 范围内光谱一阶微分总和
	SD_y	黄边面积 SD_y 为波段 550~582 nm 范围内光谱一阶微分总和
	SD_r	红边面积 SD_r 为波段 680~760 nm 范围内光谱一阶微分总和

$$NDVI = (R_N - R_R) / (R_N + R_R) \quad (2)$$

$$DVI = R_N - R_R \quad (3)$$

$$RVI = R_N / R_R \quad (4)$$

$$RDVI = (NDVI \times DVI)^{1/2} \quad (5)$$

$$SAVI = [(1+L) \times (R_N - R_R)] / (R_N + R_R + L) \quad (6)$$

式中, L 为土壤调节系数,一般取 0.5; R_N 为近红外波段(760~900 nm)光谱反射率的平均值; R_R 为可见光红光波段(630~690 nm)光谱反射率的平均值,利用公式即可求出植被指数。

3 结果与分析

3.1 薄叶荒漠植被光谱特征

波段 350~1 800 nm 的荒漠地区灌木植被和草本植被的光谱反射率曲线(图 1、图 2)表明,蒙古扁桃(*Amygdalus mongolica*)、沙木蓼(*Atrapaxis bracteata*)、花棒、沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus*)、红柳、紫菀木(*Astrothamnus alyssoides*)、猫头刺(*Oxytropis aciphylla*)、驼绒藜、绵刺(*Potaninia mongolica*)、红砂、鹰爪柴(*Convolvulus gortschakovii*)、荒漠锦鸡儿(*Caragana roborowskyii*)、刺旋花 13 种灌木植被和蒺藜(*Tribulus terrestris*)、苦豆子、骆驼刺、马蔺(*Iris lactea*)、蒙古虫实(*Corispermum mongolicum*)、脓疮草(*Panzeria alaschanica*)、披针叶黄华(*Thermopsis*

lanceolata)、沙米(*Agriophyllum squarrosum*)、砂蓝刺头(*Echinops gmelinii*)9种草本植被反射光谱波形大致相同总体上符合植被光谱特征的规律性,即在可见光波段的绿峰、红光低谷,近红外高原区两个明显低谷。

灌木植被在450~650 nm波段,植物色素支配植物光谱响应,不同种类荒漠植物色素含量不同,导致光谱反射率在这个波段的大小不同,除红柳、花棒和荒漠锦鸡儿,其它植被反射率差异显著,反射率大小顺序刺旋花>驼绒藜>猫头刺>沙冬青>鹰爪柴>红砂>紫菀木>绵刺>沙木蓼>蒙古扁桃。光谱差异大的波段主要在750~850 nm,刺旋花、荒漠锦

鸡儿、猫头刺和沙木蓼的反射率接近不易区分,其它反射率差异显著,大小顺序为红柳>鹰爪柴>花棒>沙冬青>红砂>驼绒藜>绵刺>紫菀木>蒙古扁桃;在1 190~1 260 nm波段光谱差异也较大,刺旋花、红砂、绵刺和沙木蓼反射率接近不易区分,反射率大小顺序为红柳>鹰爪柴>花棒>荒漠锦鸡儿>猫头刺>红砂>驼绒藜>蒙古扁桃>紫菀木;1 570~1 680 nm波段差异也较大,其反射率大小顺序为绵刺>荒漠锦鸡儿>鹰爪柴>刺旋花>红柳>驼绒藜>沙冬青>沙木蓼>紫菀木>蒙古扁桃,红砂、猫头刺、花棒反射率接近不易区分。

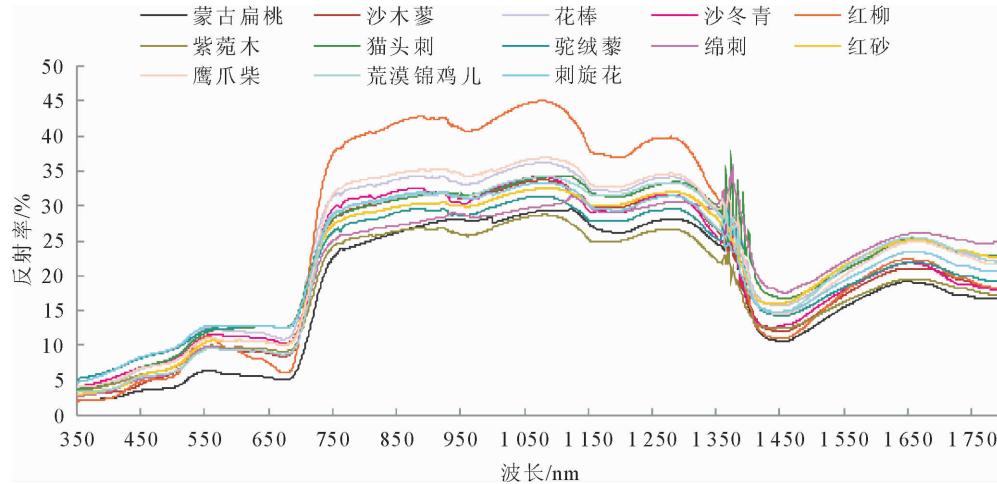


图1 灌木植被光谱特征

Fig. 1 Shrub vegetation spectral characteristic curves

除砂蓝刺头外草本植被光谱510~600 nm波段差异大,其反射率大小顺序为脓疮草>沙米>披针叶黄华>马蔺>蒺藜>骆驼刺>苦豆子>蒙古虫实;在750~890 nm波段差异大,其反射率大小顺序为蒺藜>蒙古虫实>沙米>脓疮草>苦豆子>披针叶黄华>马蔺>骆驼刺>砂蓝刺头;在1 160~1 260 nm波段光谱差异也较大,反射率大小的顺序为蒺藜>沙米>脓疮草>披针叶黄华>苦豆子>蒙古虫实>马蔺>骆驼刺>砂蓝刺头;1 470~1 520 nm波段差异明显,反射率大小顺序为脓疮草>沙米>披针叶黄华>马蔺>蒺藜>砂蓝刺头>苦豆子>骆驼刺>蒙古虫实(图2)。

灌木植被的反射率在2%~50%,而草本的反射率在1.5%~65%,草本植被的反射率范围较灌木植被大。灌木植被在可见光450~650 nm、近红外750~850 nm、1 190~1 260 nm和中红外1 570~1 680 nm波段区间近10种植被反射率差异明显,而草本植被在可见光510~600 nm、近红外750~890 nm、1 160~1 260 nm和中红外1 470~1 520 nm各植

被反射率差异明显。在960、1 190 nm及1 450 nm附近,灌木和草本植物均存在明显的吸收谷。

3.2 三边参数光谱特征

对于灌木植被,蓝边的位置在519~526 nm;蓝边的斜率在红柳>花棒>绵刺>沙木蓼>红砂>荒漠锦鸡儿>爪柴>猫头刺>刺旋花>紫菀木>沙冬青>蒙古扁桃>驼绒藜;蓝边的面积红柳>花棒>沙木蓼>绵刺>猫头刺>红砂>鹰爪柴>刺旋花>沙冬青>荒漠锦鸡儿>紫菀木>驼绒藜>蒙古扁桃。黄边的位置都在550 nm处,黄边斜率猫头刺>花棒>红砂>沙冬青>红柳>沙木蓼>荒漠锦鸡儿>绵刺>驼绒藜>鹰爪柴>刺旋花>紫菀木>蒙古扁桃;黄边面积红柳>花棒>沙木蓼>蒙古扁桃>绵刺>鹰爪柴>荒漠锦鸡儿>猫头刺>红砂>沙冬青>紫菀木>刺旋花>驼绒藜。红边的位置在717~720 nm,红边的斜率红柳>鹰爪柴>荒漠锦鸡儿>沙冬青>沙木蓼>花棒>蒙古扁桃>绵刺>红砂>刺旋花>猫头刺>紫菀木>驼绒藜;红边的面积红柳>鹰爪柴>花棒>荒漠锦鸡儿>沙木蓼>

沙冬青>蒙古扁桃>红砂>绵刺>刺旋花>猫头刺>紫菀木>驼绒藜。绿峰出现在555~560 nm,光谱反射率范围在0.065~0.129,光谱反射率刺旋花>花棒>驼绒藜>猫头刺>沙冬青>红柳>鹰爪柴>红砂>紫菀木>绵刺>沙木蓼>荒漠锦鸡儿>蒙

古扁桃。红谷出现在 670~674 nm 之间,光谱反射率范围在 0.051 0~0.125 3,光谱反射率猫头刺>刺旋花>驼绒藜>花棒>沙冬青>红砂>鹰爪柴>紫菀木>荒漠锦鸡儿>绵刺>沙木蓼>红柳>蒙古扁桃(表 2、表 3)。

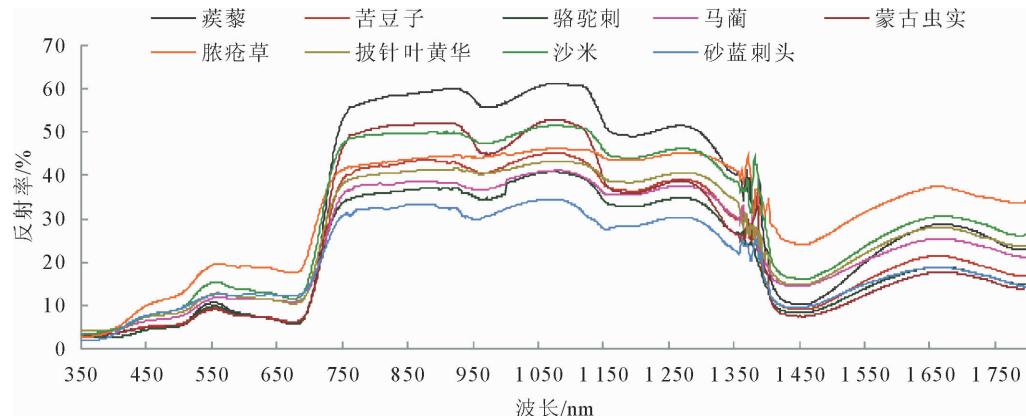


图 2 草本植被光谱特征曲线

Fig. 2 Herbaceous vegetation spectral characteristic curves

表 2 灌木植被光谱特征参数

Table 2 Scrub vegetation spectral characteristic parameters

特征参数	蓝边参数			黄边参数			红边参数			绿峰参数		红谷参数	
	D_b	λ_b	SD_b	D_y	λ_y	SD_y	D_r	λ_r	SD_r	R_g	λ_g	R_r	λ_r
蒙古扁桃 (<i>Amygdalus mongolica</i>)	0.078 0	525	1.849	0.020 0	550	0.68	0.421	718	18.627	0.065 0	556	0.051 0	672
沙木蓼 (<i>Atrapanax bracteata</i>)	0.110 0	523	2.871	0.038 8	550	0.686	0.454	718	20.17	0.098 5	559	0.084 0	671
花棒 (<i>Hedysarum scoparium</i>)	0.135 0	524	3.583	0.046 9	550	0.764	0.451	719	20.753	0.127 0	559	0.109 0	672
沙冬青 (<i>Ammopiptanthus mongolicus</i>)	0.088 1	525	2.48	0.042 0	550	0.466	0.474	720	20.061	0.116 0	560	0.104 0	674
红柳 (<i>Tamarix chinensis</i>)	0.182 0	519	4.346	0.039 3	550	1.776	0.701	719	32.353	0.113 0	555	0.060 0	676
紫菀木 (<i>Asterothamnus alyssoides</i>)	0.088 2	525	2.337	0.032 0	550	0.443	0.356	719	15.409	0.100 0	560	0.092 0	672
猫头刺 (<i>Oxytropis aciphylla</i>)	0.098 0	523	2.768	0.048 7	550	0.5	0.362	718	16.124	0.121 0	560	0.125 3	670
驼绒藜 (<i>Ceratoides latens</i>)	0.076 0	525	2.108	0.036 0	550	0.364	0.325	720	14.535	0.124 0	560	0.124 5	672
绵刺 (<i>Potaninia mongolica</i>)	0.112 0	525	2.804	0.037 0	550	0.603	0.417	717	17.159	0.099 1	560	0.086 0	672
红砂 (<i>Reaumuria songarica</i>)	0.102 0	526	2.653	0.046 6	550	0.482	0.391	719	17.637	0.107 0	560	0.101 0	672
鹰爪柴 (<i>Convolvulus gortschakovii</i>)	0.101 2	525	2.508	0.034 5	550	0.581	0.513	719	22.376	0.111 0	559	0.100 8	672
荒漠锦鸡儿 (<i>Caragana roborowskyi</i>)	0.101 4	526	2.381	0.038 5	550	0.541	0.488	719	20.377	0.097 0	559	0.087 0	672
刺旋花 (<i>Convolvulus tragacanthoides</i>)	0.093 0	519	2.495	0.034 4	550	0.408	0.382	720	17.024	0.129 0	560	0.125 1	670

对于草本植物蓝边位置在 519~525 nm; 蓝边的斜率和面积
 腺疮草>沙米>蒺藜>骆驼刺>马蔺
 >披针叶黄华>苦豆子>蒙古虫实>砂蓝刺头。黄
 边的位置都在 550 nm 处, 黄边斜率腺疮草>马蔺
 >披针叶黄华>沙米>砂蓝刺头>骆驼刺>苦豆子
 >蒺藜>蒙古虫实, 黄边面积腺疮草>沙米>骆驼刺

>苦豆子>蒙古虫实>脓疮草>披针叶黄华>砂蓝刺头。红边位置基本都在 718~720 nm, 红边斜率蒺藜>蒙古虫实>沙米>苦豆子>披针叶黄华>骆驼刺>脓疮草>马蔺>砂蓝刺头; 红边面积蒺藜>蒙古虫实>沙米>苦豆子>骆驼刺>披针叶黄华>马蔺>脓疮草>砂蓝刺头。绿峰出现在 553~560

nm,光谱反射率范围在0.090~0.196,光谱反射率
腋疮草>沙米>披针叶黄华>砂蓝刺头>马蔺>蒺藜>骆驼刺>苦豆子>蒙古虫实。红谷出现在

670~674 nm,光谱反射率范围在0.056~0.174,光
谱反射率腋疮草>砂蓝刺头>沙米>马蔺>披针叶
黄华>苦豆子>蒙古虫实蒺藜>骆驼刺。

表3 草本植被光谱特征参数

Table 3 Herbaceous vegetation spectral characteristic parameters

特征参数	蓝边参数			黄边参数			红边参数			绿峰参数		红谷参数	
	D_b	λ_b	SD_b	D_y	λ_y	SD_y	D_r	λ_r	SD_r	R_g	λ_g	R_r	λ_r
蒺藜(<i>Tribulus terrestris</i>)	0.176	524	3.989	0.0240	550	2.139	1.26	718	49.841	0.107	553	0.059	674
苦豆子(<i>Sophora alopecuroides</i>)	0.123	525	2.847	0.0250	550	1.337	0.804	719	34.066	0.095	554	0.062	674
骆驼刺(<i>Alhagi sparsifolia</i>)	0.150	519	3.654	0.0260	550	1.585	0.671	718	29.088	0.098	554	0.056	674
马蔺(<i>Iris lactea</i>)	0.130	525	3.117	0.0530	550	0.696	0.575	719	25.703	0.119	560	0.108	672
蒙古虫实(<i>Corispermum mongolicum</i>)	0.119	523	2.791	0.0236	550	1.259	0.992	718	43.173	0.090	554	0.060	671
腋疮草(<i>Panzeria alaschanica</i>)	0.207	519	5.345	0.0710	550	1.011	0.582	701	24.398	0.196	554	0.174	671
披针叶黄华(<i>Thermopsis lanceolata</i>)	0.129	523	3.092	0.0520	550	0.960	0.684	718	28.509	0.128	558	0.105	674
沙米(<i>Agriophyllum squarrosum</i>)	0.195	519	4.870	0.0510	550	1.602	0.906	718	36.971	0.154	556	0.115	674
砂蓝刺头(<i>Echinops gmelinii</i>)	0.086	525	2.704	0.0330	550	0.375	0.479	720	19.603	0.125	560	0.122	670

灌木植被和草本植被蓝边、黄边、红边位置及红谷、绿峰出现的波段范围差不多,蓝边位置519~526 nm,黄边的位置都在550 nm处,红边位置717~720 nm,红谷出现在670~674 nm,绿峰出现在553~560 nm,而蓝边、黄边和红边的斜率和面积各有差异。

3.3 植被指数的变化特征

13种灌木植被DVI值明显高于其它指数,且在3~30之间;NDVI值在0.1~0.5;SAVI值0.1~0.8;RVI值1~3;RDVI值0.7~2.6。NDVI值从大到小顺序为红柳>蒙古扁桃>沙木蓼>荒漠锦鸡儿>鹰爪柴>绵刺>沙冬青>花棒>红砂>紫菀木>刺旋花>猫头刺>驼绒藜;DVI值从大到小顺序为红柳>蒙古扁桃>鹰爪柴>沙木蓼>荒漠锦鸡儿>花棒>沙冬青>绵刺>红砂>紫菀木>刺旋花>猫头刺>驼绒藜;RVI值从大到小顺序为红柳>蒙古扁桃>沙木蓼>鹰爪柴>荒漠锦鸡儿>花棒>沙冬青>绵刺>红砂>紫菀木>刺旋花>猫头刺>驼绒藜;SAVI值从大到小顺序为红柳>蒙古扁桃>沙木蓼>荒漠锦鸡儿>鹰爪柴>绵刺>沙冬青>花棒>红砂>紫菀木>刺旋花>猫头刺>驼绒藜(表4)。在灌木植被中5种植被指数值都最大红柳,其次是蒙古扁桃,红砂第9,紫菀木第10,刺旋花第11,猫头刺第12,驼绒藜最小。

9种草本植被DVI值明显高于其它指数,且在7~46之间;NDVI值在0.1~0.7;SAVI值0.2~

1.0;RVI值1~5;RDVI值0.8~6.0。NDVI值从大到小顺序为蒺藜>蒙古虫实>苦豆子>骆驼刺>沙米>披针叶黄华>马蔺>砂蓝刺头>腋疮草;DVI值从大到小顺序为蒺藜>蒙古虫实>苦豆子>沙米>骆驼刺>披针叶黄华>马蔺>砂蓝刺头>腋疮草;RVI值从大到小顺序为蒺藜>蒙古虫实>苦豆子>骆驼刺>沙米>披针叶黄华>马蔺>砂蓝刺头>腋疮草(表5)。在草本植被中5种植被指数值都最大蒺藜,其次是蒙古虫实,苦豆子第3,披针叶黄华第6,马蔺第7,砂蓝刺头第8,腋疮草最小。

对于灌木和草本植被来说差值植被指数(DVI)值明显高于其它指数。在灌木植被中5种植被指数值都最大红柳,其次是蒙古扁桃,红砂第9,紫菀木第10,刺旋花第11,猫头刺第12,驼绒藜最小。在草本植被中5种植被指数值都最大蒺藜,其次是蒙古虫实,苦豆子第3,披针叶黄华第6,马蔺第7,砂蓝刺头第8,腋疮草最小。

4 结论与讨论

灌木植被在可见光450~650 nm、近红外750~850 nm、1190~1260 nm和中红外1570~1680 nm波段区间近10种植被反射率差异明显,而草本植被在可见光510~600 nm、近红外750~890 nm、

表 4 灌木植被指数

Table 4 Shrub vegetation indexes

植被指数	NDVI	DVI	RVI	RDVI	SAVI
蒙古扁桃(<i>A. mongolica</i>)	0.420	15.06	2.43	2.51	0.620
沙木蓼(<i>A. bracteata</i>)	0.280	13.25	1.77	1.92	0.410
花棒(<i>H. scoparium</i>)	0.190	10.85	1.48	1.45	0.289
沙冬青(<i>A. mongolicus</i>)	0.200	10.47	1.49	1.44	0.295
红柳(<i>T. chinensis</i>)	0.490	27.18	2.96	3.67	0.740
紫菀木(<i>A. alyssoides</i>)	0.170	7.50	1.41	1.13	0.250
猫头刺(<i>O. aciphylla</i>)	0.096	5.32	1.21	0.71	0.140
驼绒藜(<i>C. latens</i>)	0.060	3.47	1.14	0.47	0.100
绵刺(<i>P. mongolica</i>)	0.210	9.20	1.52	1.38	0.310
红砂(<i>R. songarica</i>)	0.180	8.96	1.44	1.27	0.270
鹰爪柴(<i>C. gortschakovii</i>)	0.250	13.80	1.68	1.87	0.380
荒漠锦鸡儿(<i>C. roborovskiyii</i>)	0.270	12.99	1.73	1.86	0.400
刺旋花(<i>C. tragacanthoides</i>)	0.105	5.88	1.23	0.79	0.160

表 5 草本植被指数

Table 5 Herbaceous vegetation indexes

植被指数	NDVI	DVI	RVI	RDVI	SAVI
蒺藜(<i>T. terrestris</i>)	0.64	45.44	4.57	5.40	0.96
苦豆子(<i>S. alopecuroides</i>)	0.53	29.44	3.25	3.95	0.79
骆驼刺(<i>A. sparsifolia</i>)	0.49	23.88	2.94	3.43	0.73
马蔺(<i>I. lactea</i>)	0.27	16.23	1.74	2.09	0.40
蒙古虫实(<i>C. mongolicum</i>)	0.60	38.44	4.00	4.80	0.89
脓疮草(<i>P. alaschanica</i>)	0.10	7.75	1.22	0.87	0.15
披针叶黄华(<i>T. lanceolata</i>)	0.31	19.03	1.88	2.42	0.46
沙米(<i>A. squarrosum</i>)	0.35	25.51	2.06	2.97	0.52
砂蓝刺头(<i>E. gmelinii</i>)	0.15	8.27	1.34	1.10	0.22

1 160~1 260 nm 和中红外 1 470~1 520 nm 各植被反射率差异明显, 可用于区分不同的薄叶荒漠植物, 这是绿色植物所特有的^[17-18]。但是不同植被类型由于叶子的组织结构、色素含量和含水量不同, 反射率大小又具有各自的特点。

灌木植被和草本植被提取 13 种光谱特征参数均有明显特征值, 蓝边、黄边、红边位置及红谷、绿峰出现的波段范围差不多, 而蓝边、黄边、红边的斜率和面积各有差异。近红外反射率主要取决于生物量、叶面积指数和冠层结构, 而可见光反射率主要取决于冠层叶绿素含量和盖度^[19-20], 对于荒漠植物为适应残酷的自然条件发生了抗旱结构变形, 这些结构变形致使荒漠植被的蓝边、红边和黄边参数各有差异。

薄叶荒漠植被 DVI 明显高于 NDVI、SAVI、RVI、RDVI 指数, 根据同一种植被 5 种植被指数的值同时大或小排列顺序将灌木植被中红柳、蒙古扁桃, 红砂、紫菀木、刺旋花、猫头刺、驼绒藜和草本植被中将蒺藜, 蒙古虫实, 苦豆子, 披针叶黄华, 马蔺、砂蓝刺头, 脓疮草区分。以荒漠植物种丰富的河西

走廊为研究区, 利用光谱仪对荒漠植被反射光谱进行了野外测量, 分析其光谱特征规律, 对于研究干旱荒漠植被的理化性能植物的生理生态特征、覆盖度和干旱区的生态环境调控及演变、遥感反演等都具有重要的意义。本研究仅涉及生长旺季的薄叶荒漠植物的光谱特征, 不同植物在不同季节的光谱特征及不同环境中同种植物光谱有何不同等问题有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 范文义, 杜华强, 刘哲. 科尔沁沙地地物光谱数据分析[J]. 东北林业大学学报, 2004, 32(2): 45-48.
FAN W Y, DU H Q, LIU Z. Spectral data analysis of ground objects in Kerqin desertification areas[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2004, 32 (2): 45-48. (in Chinese)
- [2] 张翼然, 宫兆宇, 赵文吉, 等. 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.
ZHANG Y R, GONG Z N, ZHAO W J, et al. Typical plant spectral characteristics analysis in Wild Duck Lake along water environment gradient[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2012, 32(3): 743-748. (in Chinese)

- [3] 王焕炯,范闻捷,崔要奎,等.草地退化的高光谱遥感监测方法[J].光谱学与光谱分析,2010,30(10):2734-2738.
WANG H J, FAN W J, CUI Y K, et al. Hyperspectral remote sensing monitoring of grassland degradation[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2010, 30(10): 2734-2738. (in Chinese)
- [4] 杨存建,杨建祥,李春艳,等.云南省腾冲县森林植被光谱特征的分析[J].四川师范大学学报:自然科学版,2010,33(1):113-116.
YANG C J, YANG J X, LI C Y, et al. Primary analysis of the spectrum feature of different vegetation in Tengchong County of Yunnan Province[J], Journal of Sichuan Normal University: Natural Science, 2010, 33(1): 113-116. (in Chinese)
- [5] 林文鹏,李厚增,黄敬峰,等.上海城市植被光谱反射特征分析[J].光谱学与光谱分析,2010,30(11):3111-3114.
LIN W P, LI H Z, HUANG J F, et al. Analysis on urban vegetations reflectance characteristics in Shanghai[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2010, 30(11): 3111-3114. (in Chinese)
- [6] 喻小勇,邵全琴,刘纪远,等.三江源区不同退化程度的高寒草甸光谱特征分析[J].地球信息科学学报,2012,14(3):398-404.
YUX Y, SHAO Q Q, LIU J Y, et al. Spectral analysis of different degradation level alpine meadows in 'Three-River Headwater' Region[J]. Journal of Geo-Information Science, 2012, 14 (3): 398-404. (in Chinese)
- [7] 官凤英,邓旺华,范少辉.毛竹林光谱特征及其与典型植被光谱差异分析[J].北京林业大学学报,2012,34(3):31-35.
GUAN F Y, DENG W H, FAN S H. Spectral characteristics of *Phyllostachys pubescens* stand and its differential analysis with typical vegetation[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2012, 34(3): 31-35. (in Chinese)
- [8] 段瑞鲁,刘廷玺,张圣微,等.科尔沁沙地典型沙丘植被光谱特征数据的匹配[J].干旱区研究,2014,31(4):750-755.
DUAN R L, LIU T X, ZHANG S W, et al. Spectrum Characteristics of vegetation spectral matching analysis spectra derivative TM band Horqin Sandy Land[J]. Arid Zone Research, 2014, 31(4): 750-755. (in Chinese)
- [9] 李园园,宋于洋,陈兵,等.荒漠公益林中典型灌木树种光谱特征研究[J].西北林学院学报,2011,26(1):155-159.
LI Y Y, SUN Y Y, CHEN B, et al. Spectral features of typical shrubberies in welfare forests in desert areas[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(1): 155-159. (in Chinese)
- [10] 刘秀英,熊建利,臧卓,等.基于植被指数的马尾松叶绿素含量估算模型[J].西北林学院学报,2012,27(3):44-47.
LIU X Y, XIONG J L, ZANG Z, et al. Estimation models for chlorophyll content of *Pinus massoniana* based on vegetable indices[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(3): 44-47. (in Chinese)
- [11] 王鑫梅,牟洪香,李春友,等.107杨叶片叶绿素含量高光谱反演的研究[J].西北林学院学报,2015,30(3):35-38.
WANG X M, MU H X, LI C Y, et al. Inversion of *Populus×euramericana* cv. "74/76" chlorophyll concentration based on the hyper-spectrum[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2015, 30(3): 35-38. (in Chinese)
- [12] 蒋霞,倪健.西北干旱区10种荒漠植物地理分布与大气候的关系及其可能潜在分布区的估测[J].植物生态学报,2005,29 (1):98-107.
JIANG X, NI J. Species-climate relationships of 10 desert plant species and their estimated potential distribution range in the arid lands of northwestern China[J]. Acta Phytocologica Sinica, 2005, 29(1): 98-107. (in Chinese)
- [13] 黄自琛,沈渭寿.干旱区植物的水分关系与耐旱性[M].北京:中国环境出版社,2000.
- [14] 林川,宫兆宁,赵义吉.叶冠尺度野鸭湖湿地植物群落含水量的高光谱估算模型[J].生态学报,2011,31(22):6645-6658.
LIN C, GONG Z N, ZHAO W J. Hyperspectral estimation models for plant community water content at both leaf and canopy levels in Wild Duck Lake Wetland[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(22): 6645-6658. (in Chinese)
- [15] 童庆喜,张兵,郑兰芬.高光谱遥感原理、技术与应用[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [16] 林文鹏,王长耀,储德平,等.基于光谱特征分析的主要秋季作物类型提取研究[J].农业工程学报,2006,22(9):128-132.
LIN W P, WANG C Y, CHU D P, et al. Extraction of fall crop types based on spectral analysis[J]. Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(9): 128-132. (in Chinese)
- [17] LILLESAND T M, KIEFER R W. Remote sensing and image interpretation[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1994: 17-50.
- [18] KNIPLINGE B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation [J]. Remote Sensing of Environment, 1970 (1): 155-159.
- [19] 唐延林,王秀珍,王人潮.玉米高光谱及其红边特征分析[J].山地农业生物学报,2003,22(3):189-194.
TANG Y L, WANG X Z, WANG R C. Study on the hyperspectral and their red edge characteristics of corn[J]. Journal of Mountain Agriculture and Biology, 2003, 22(3): 189-194. (in Chinese)
- [20] 万余庆,谭克龙,周日平.高光谱遥感应用研究[M].北京:科学出版社,2006:134-136.