

DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2016-0014

李真真, 郑翔, 牛德奎, 郭晓敏, 谢碧裕, 张学玲. 武功山山地草甸主要群落类型高光谱特征. 草业科学, 2016, 33(8): 1492-1501.

Li Z Z, Zheng X, Niu D K, Guo X M, Xie B Y, Zhang X L. The study on hyperspectral characteristics of main community types in mountain meadow. Pratacultural Science, 2016, 33(8): 1492-1501.

武功山山地草甸主要群落 类型高光谱特征

李真真^{1,2}, 郑翔^{1,2}, 牛德奎³, 郭晓敏^{1,2}, 谢碧裕³, 张学玲⁴

(1. 江西农业大学林学院, 江西 南昌 330045; 2. 江西省森林培育重点实验室, 江西 南昌 330045;

3. 江西农业大学国土资源与环境学院, 江西 南昌 330045; 4. 江西农业大学职业师范学院, 江西 南昌 330045)

摘要:本研究以江西省武功山金顶风景区的五节芒(*Miscanthus floridulus*)、野古草(*Arundinella hirta*)、飘拂草(*Fimbristylis wukungshanensis*)、中华苔草(*Carex chinensis*)、箭竹(*Sinarundinaria nitida*)为优势物种的 5 种主要群落为研究对象,以美国 SVC HR-768 野外便携式地物波谱仪测定的高光谱数据为基础,利用重采样、一阶微分和去包络线 3 种数据处理方法分别提取有效的光谱吸收特征参数,以此获得区分 5 种草地群落的光谱特征。结果表明,1)5 种群落光谱反射率组间差异显著($P < 0.05$),光谱反射率表现为中华苔草 > 野古草 > 五节芒 > 箭竹 > 飘拂草;2)重采样处理得到的特征参数中 500—600、600—700 和 1 200—1 300 nm 3 个波段的波峰/谷深度差别都最明显,一阶微分处理提取的红边、黄边和蓝边有关的特征参数也能够很好的将 5 种群落进行分类,而利用连续统去除法提取的特征参数中,吸收谷的宽深比差值最大可达到 92,是区分 5 种群落最有效的特征参数;3)波峰/波谷对应的波长位置是山地草甸 5 种主要群落的共性参数。

关键词:重采样;一阶微分;连续统去除;草甸群落;武功山

中图分类号:S812.3;Q948.15

文献标志码:A

文章编号:1001-0629(2016)8-1492-10*

Hyperspectral characteristics of main community types in Wugong mountain meadow

Li Zhen-zhen^{1,2}, Zheng Xiang^{1,2}, Niu De-kui³, Guo Xiao-min^{1,2}, Xie Bi-yu³, Zhang Xue-ling⁴

(1. College of Forestry, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China;

2. Jiangxi Provincial key Laboratory of Forest cultivation, Nanchang 330045, China;

3. College of Land Resources and the Environment, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China;

4. Vocational College of Teachers, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: *Miscanthus floridulus*, *Arundinella hirta*, *Fimbristylis wukungshanensis*, *Carex chinensis*, *Sinarundinaria nitida* was the dominant species, respectively, of five different main communities in Jinding scenic of Wugong Mountain in Jiangxi Province. The hyperspectral data of these five different main communities were measured using field portable spectroradiometers (SVC HR 768, USA). The effective characteristic parameters of spectral absorption achieved by three data processing methods including resampling method, first-order differential method and continuum removal method to obtain the spectral characteristics distinguishing these 5 kinds of grassland communities. The analyzed results showed that there was significant difference between the variance analysis of each wave band of these 5 kinds communities and $C. chinensis > A. hirta > M. floridulus > S. nitida > F. wukungshanensis$ based on reflectivity value. There was most significant

* 收稿日期:2016-01-11 接受日期:2016-03-14

基金项目:国家科技支撑计划项目(2012BAC11B06);国家自然科学基金项目(30960312、31560150);江西省科技计划项目(20144BBF60002)

第一作者:李真真(1991-),女,河南南阳人,在读硕士生,主要从事水土保持与荒漠化防治研究。E-mail:664023867@qq.com

通信作者:张学玲(1973-),女,山东平原人,高级实验师,主要从事景观生态与植被生态修复研究。E-mail:ok_zhangxl@263.com

difference between peak/Valley depth of the 3 wave bands(500—600 nm, 600—700 nm and 1 200—1 300 nm) which achieved by resampling method. The five communities can be well classified using the characteristic parameters related to red edge, yellow edge and blue edge. The maximum difference between aspect ratios of absorption valley obtained from continuum removal method can reach as high as 92 which was the most effective parameter to distinguish the 5 communities. The corresponding wavelength position of the peak/trough was the common parameters of five main mountain meadow community.

Key words: resampling; first-order differential; continuum removal; the meadow community; Wugong Mountain

Corresponding author: Zhang Xue-ling E-mail:ok_zhangxl@ 263.com

草地是全球陆地生态系统的重要组成部分,也是我国覆盖陆地面积最大的生态系统。草地生态系统在保持水土流失、维护生态平衡、调节气候变化和促进养分循环等方面都有着直接的影响^[1-2]。江西武功山山地草甸面积广、分布基准海拔低,在华东植被垂直带谱中具有典型性和特殊性,是气候变化的重要指示植被类型。近年来,因其丰富的自然资源、独特的地貌形态和优美的“云上草原”景观而闻名,但过度放牧和旅游开发使武功山山地草甸生态系统越来越脆弱,土地沙化面积不断扩大,草甸群落组成和生产力急剧退化,绵延几万亩的山地草甸景观日渐破碎化,草地退化现象日益严重,因此,探索保护草地生物多样性的方法,实现对草地的动态监测是草地管理的核心内容^[3]。草地分类是合理开发利用草地资源的基础工作,尤其对退化草甸的植被恢复和资源管理具有至关重要的作用。

传统的监测方法费时费力,从 20 世纪 80 年代初,国外一些发达国家就开始利用遥感技术进行草地资源的调查和动态监测^[4-5]。随着遥感技术的发展,高光谱技术以其高分辨率、多波段、信息丰富等特点成为当前遥感领域的前沿技术,并被广泛应用于植被分类研究当中^[6-7],国内外许多学者对不同草地类型进行了光谱数据的观测和分析。如,对内蒙古锡林郭勒地区的 4 种优势草种进行了光谱测定,成功将小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)从中区分出来,为退化草地的管理提供了新的思路^[8];而对甘南州夏河县桑科草原 5 种典型毒杂草冠层光谱进行特征分析,并经过一阶微分变换、光谱重排等处理,利用“红谷”、“绿峰”、“红边”、水分吸收、光谱指数和光谱重排等指标,可以较好地将这 5 种毒杂草区分开来,为草地的分类识别提供了新的方法和理论依据^[3]。但是,目前对草地高光谱的研究多局限于西北高寒草甸^[2-3,9-10]和荒漠草

地^[10-14],针对亚热带山地草甸群落光谱特征的分析研究还不多见。

因此,本研究以江西武功山山地草甸的几种主要群落为研究对象,探讨利用遥感技术区分山地草甸群落类型的可行性,揭示草甸植物群落间光谱反射的差异性,为武功山草甸资源动态监测和遥感反演提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区(27°24′—27°34′ N, 114°05′—114°15′ E)位于江西省萍乡市芦溪县东南边境的武功山,武功山地处罗霄山脉北段,为赣江水系和湘江水系的分水岭,海拔高达 1 918.3 m,在我国华东植被划分中具有重要的地位,是划分我国亚热带东部湿润区常绿阔叶林、中部亚地带和北部亚地带的天然界限^[15]。由于山体垂直、海拔较高且山势陡峻,导致气候、土壤、植被的垂直地带性分异明显。尤其是主峰白鹤峰(金顶)周边大面积分布的山地草甸更使之成为难得的植被垂直地带性的天然博物馆。试验区主要选在白鹤峰(金顶),地理位置 27°27′ N, 114°10′ E,海拔 1 600~1 900 m,土壤为山地草甸土,主要分布有禾本科的野古草(*Arundinella hirta*)、芒属(*Miscanthus* spp.)、箭竹(*Sinarundinaria nitida*)、野青茅(*Deyeuxia arundinacea*)、莎草科的飘拂草(*Fimbristylis wukungshanensis*)、中华苔草(*Carex chinensis*),菊科的鬼针草(*Bidens pilosa*)等。

1.2 数据采集

本试验采用的是由美国 Spectra Vista 公司生产的 SVC HR-768 野外便携式地物波谱仪,其波长范围为 350—2 500 nm,采样间隔为 1.5 nm(350—1 000 nm)、7.5 nm(1 000—1 850 nm)和 5 nm(1 850—2 500

表 1 一阶微分光谱曲线特征参数表

Table 1 First order differential spectral curve features parameter list

光谱特征参数 Spectral characteristic parameter	名称 Name	定义及描述 Define and describe
D_r	红边幅值	覆盖范围为 680—760 nm, D_r 是红边内一阶导数光谱的最大值。
	The red edge amplitude	Range is 680—760 nm, D_r is a maximum of derivative spectra within red edge.
λ_r	红边位置	D_r 对应的波长位置。
	The red edge position	The corresponding wavelength position of D_r .
D_b	蓝边幅值	覆盖范围为 490—530 nm, D_b 是蓝边内一阶导数的最大值。
	The blue edge amplitude	Range is 490—530 nm, D_b is a maximum of derivative spectra within blue edge.
λ_b	蓝边位置	D_b 对应的波长位置。
	The blue edge position	The corresponding wavelength position of D_b .
D_y	黄边幅值	覆盖范围为 560—640 nm, D_y 是黄边内一阶导数光谱的最大值。
	The yellow edge amplitude	Range is 560—640 nm, D_y is a maximum of derivative spectra within yellow edge.
λ_y	黄边位置	D_y 对应的波长位置。
	The yellow edge position	The corresponding wavelength position of D_y .
SD_r	红边面积	680—760 nm 的一阶导数光谱曲线所包围的面积。
	The red edge area	The area surrounded by the first derivative spectra of 680—760 nm.
SD_b	蓝边面积	490—530 nm 的一阶导数光谱曲线所包围的面积。
	The blue edge area	The area surrounded by the first derivative spectra of 490—530 nm.
SD_y	黄边面积	560—640 nm 的一阶导数光谱曲线所包围的面积。
	The red edge area	The area surrounded by the first derivative spectra of 560—640 nm.

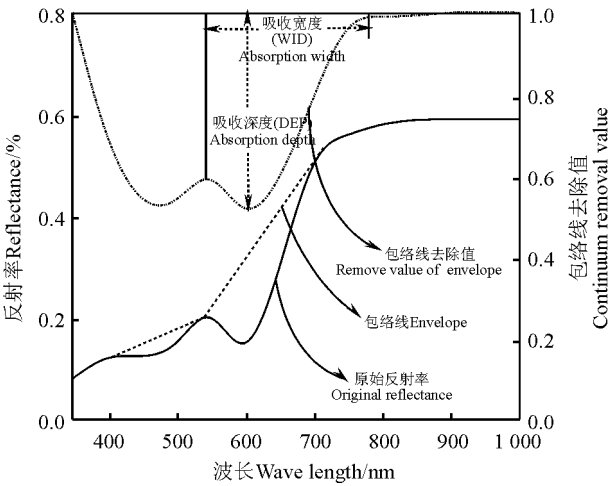


图 2 连续统去除光谱特征参数示意图

Fig.2 The schematic diagram of continuum removal spectrum characteristic parameter

为吸收谷内包络线去除后最小值对应的波长, λ_b 、 λ_a 为包络线去除后的曲线中吸收深度一半位置的波长,

$b > a$ 。
1.3.5 数据分析 本研究采用 SPSS 17.0 软件对所测数据统计分析;采用 Origin 8.1 制图。

2 结果与分析

2.1 方差分析结果

首先对筛选后的每种群落的光谱数据做方差分析,其次对 5 种群落间做方差分析,结果(表 2、3)表明,5 种群落组内光谱反射率差异不显著($P > 0.05$),所采光谱数据有效;5 种群落的组间光谱反射率差异显著($P < 0.05$),是本研究进行的前提条件。

2.1.1 5 种群落组内方差分析结果 利用 SPSS 17.0 软件分别对 5 种草甸主要植被群落样点间的光谱反射率数据进行方差分析,结果(表 2)发现,5 种群落组内各样点间 F 值均小于 F 临界值,并且 $P > 0.05$ (表示接受原假设,即在 5% 的显著性水平下差异不明显),

表 2 5 种群落组内方差分析结果

Table 2 Variance analysis result of five communities within group

差异源 Source of variance	离均差平方和 Sum of square	自由度 <i>df</i>	均方 Mean square	<i>F</i>	<i>P</i>	<i>F</i> 临界值 Critical value of <i>F</i>
五节芒 <i>Miscanthus floridulu</i>	8 529.14	4	2 132.29	0.92	0.45	2.37
野古草 <i>Arundinella anomala</i>	32.28	3	10.76	0.06	0.98	2.61
中华苔草 <i>Carex chinensis</i>	7191.61	4	1797.90	1.38	0.24	2.37
飘拂草 <i>Fimbristylis dichotoma</i>	342.62	4	85.66	0.88	0.48	2.37
箭竹 <i>Fargesia spathacea</i>	1 5812.15	4	3 953.04	0.9	0.46	2.37

所以研究中各主要群落类型内不同样点间光谱反射率差异很小,即 5 种群落的组内无显著差异,说明本试验所测定的同一种群落的光谱数据相对稳定。

2.1.2 5 种群落组间方差分析结果 在 350—2 450 nm 波长范围内分不同波段进行 5 种草甸群落的组间方差分析,同时也在各波段范围内进行组内方差分析(表 3)。

方差分析中用离差平方和来描述总体的变异情况。单个波段中的总变异 $SS_{总}$ 有两个来源:组内变异 $SS_{组内}$,即由于随机误差的原因使得样点内部的反射率各不相等;组间变异 $SS_{组间}$,即由于不同群落的影响使

得各个群落的样点反射率均值大小不等。5 种群落在 350—425、1 600—2 450 nm 波段高光谱无明显差异,在 435—540、1 100—1 385 和 1 385—1 600 nm 3 个波段差异显著($P<0.05$),而在其它波段差异极显著($P<0.01$)。

2.2 5 种群落光谱特征分析

5 种群落的方差分析组内差异小,即同一种群落的光谱数据相对稳定,而组间差异较大,表明利用光谱数据可以进行不同群落的识别分类,因此对 5 种群落光谱的特征差异分析具有研究意义。不同植被光谱数据的差异主要来源于植被内部结构及理化性质的不同。基于野外光谱反射率数据对武功山草甸的 5 种群落分别进行重采样处理、一阶微分处理和连续统去除处理,再分别提取相应的特征参数,以期达到快速、精确地对山地草甸群落识别和分类的目的。本研究基于差异明显的波段对 3 种处理的光谱曲线进行特征提取。

2.2.1 重采样处理光谱特征分析 对 5 种群落的光谱数据进行重采样处理并绘制光谱曲线(图 3)。结果显示,5 种群落的光谱曲线整体趋势具有一致性,与闻兵工^[18]研究的健康的植被光谱曲线特征相似,在 450 和 670 nm 左右出现吸收谷,在 550 nm 附近出现反射峰,这跟在可见光范围内光谱受叶绿素含量吸收多少的因素有关。在近红外波段,植被的光谱曲线主要受叶片内部细胞结构的影响,细胞内部结构的复杂性导致了多重反射,从而使得此波段范围的反射率较高,在 740 nm 附近形成了反射峰。而在短红外波段,光谱反射率主要受植被含水量的影响,反射率与含水量呈负相关关系,因 1 300 nm 之后不断出现负坡走向,由于山地草甸植被的含水量受外界环境因素比较大,因此该波段噪声较大。总体上,以中华苔草为优势物种的群落光谱曲线变化趋势较剧烈,其它群落相对较缓。

由于植被光谱曲线具有相似性,单从相对稳定的

表 3 5 种群落各波段光谱反射率方差分析

Table 3 Five communities variance analysis of fivey in each band

波段范围 Wave band range/nm	组内、组间 Between groups and within groups	参数 Parameter		
		SS	<i>F</i>	<i>P</i>
350—435	组间 Between groups	121.33	2.230	0.109 0
	组内 Within groups	11.62		
435—540	组间 Between groups	102.36	4.241	0.002 6
	组内 Within groups	10.05		
540—770	组间 Between groups	131.22	6.570	0.000 3
	组内 Within groups	13.27		
770—1 100	组间 Between groups	110.87	4.138	0.002 2
	组内 Within groups	20.56		
1 100—1 385	组间 Between groups	122.30	4.230	0.025 6
	组内 Within groups	18.56		
1 385—1 600	组间 Between groups	109.81	3.463	0.036 0
	组内 Within groups	21.03		
1 600—1 915	组间 Between groups	140.60	2.669	0.058 9
	组内 Within groups	19.81		
1 915—2 450	组间 Between groups	96.83	2.990	0.110 0
	组内 Within groups	25.43		

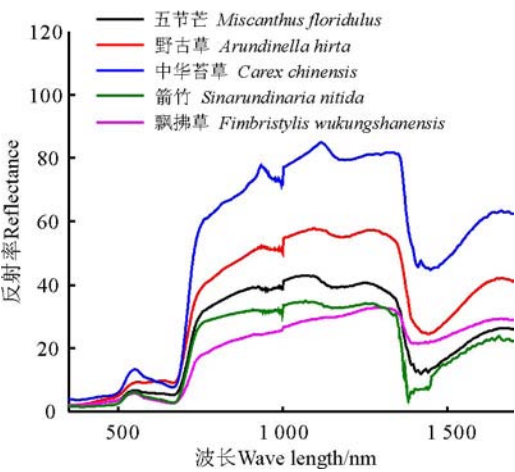


图 3 重采样光谱曲线对比图

Fig.3 Resampling spectral curve comparison chart

波形趋势无法对不同群落进行区分,因而本研究根据图 1 分别对 5 种群落的光谱曲线提取相应的特征参数(表 4),5 个群落在 500—600 nm 的波峰所对应的波

长相近,600—700 nm、1 200—1 300 nm 的波谷对应的波长均各相近,600—700 nm 波段的波谷对称度也近似相等,而其余的特征提取值差异较大,基本可以依据波峰、波谷值、对称度、波峰/谷深度、宽度来区分出一种或者多种群落,其中,500—600、600—700 和 1 200—1 300 nm 3 个波段的波峰/谷深度差别都最明显,由此可见,波峰/谷深度是区分 5 种群落最有效的特征参数。

2.2.2 一阶微分处理光谱特征分析 通过对 5 种群落重采样后的反射率平均值数据进行一阶导数变换得到 5 种群落的一阶微分光谱曲线,由于植被光谱特征主要体现在 1 000 nm 之前^[23],因此截取 350—1 000 nm 波段的一阶微分光谱曲线(图 4)。

由于本研究在野外进行,土壤做为植物的背景对光谱数据的测定有一定影响,通过对光谱数据进行一阶导数变换,进而根据表 1 提取特征参数值,使所得

表 4 重采样光谱曲线波段特征提取值

Table 4 The spectrum feature extractions of resampling spectral curve

波段 Band/nm	特征提取值 Feature extraction value	五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>	野古草 <i>Arundinella hirta</i>	中华苔草 <i>Carex chinensis</i>	飘拂草 <i>Fimbristylis wukungshanensis</i>	箭竹 <i>Sinarundinaria nitida</i>
500—600	波峰值 peak value/nm	6.698	9.238	13.295	5.765	6.133
	波峰点对应波长 Wavelength corresponding to peak point/nm	552	560	552	550	548
	波峰对称度 Peak symmetry	0.379	0.661	0.380	0.232	0.350
	波峰深度 Peak depth/nm	2.883	3.012	7.322	0.853	3.880
	波峰宽度 Peak width/nm	134	141	89	30	86
600—700	波谷值 Trough value	5.162	9.034	7.636	2.628	2.739
	波谷点对应波长 Wavelength corresponding to valley point/nm	666	667	667	667	667
	波谷对称度 Valley symmetry	0.590	0.597	0.569	0.579	0.579
	波谷深度 Valley depth/nm	14.813	17.661	32.341	10.006	16.073
	波谷宽度 Valley width/nm	172	81	87	90	86
1 200—1 300	波谷值 Trough value	11.734	24.416	44.903	21.601	3.390
	波谷点对应波长 Wavelength corresponding to valley point/nm	1 420	1 442	1 450	1 442	1 382
	波谷对称度 Valley symmetry	0.224	0.304	0.293	0.366	0.118
	波谷深度 Valley depth/nm	21.795	25.996	30.850	9.454	26.411
	波谷宽度 Valley width/nm	203	201	225	189	105

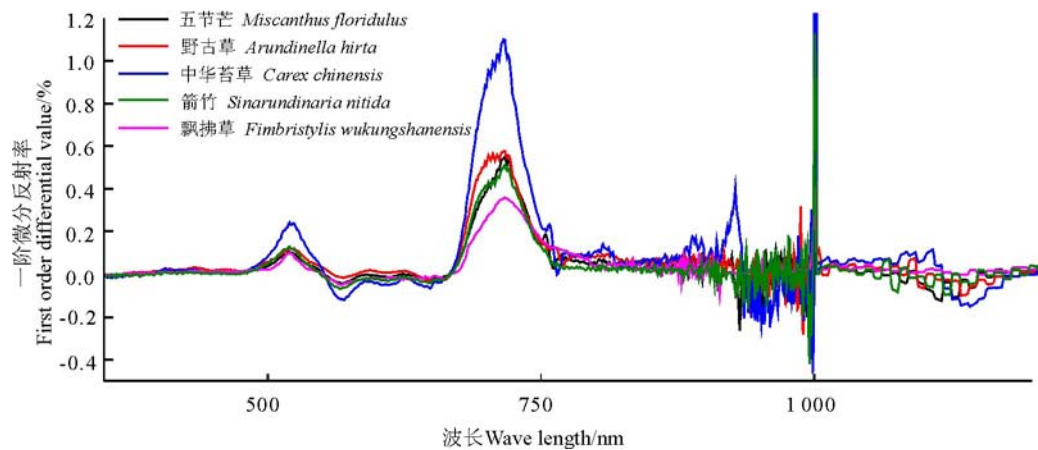


图 4 一阶微分光谱曲线对比图

Fig.4 First order differential spectral curve comparison chart

数据更具植被真实的特征(表 5),5 种物种群落的红边和蓝边位置都几乎完全相同,而黄边位置相对有差异,但都在 610—630 nm 范围内浮动,五节芒、野古草与箭竹的红边/蓝边幅值和面积近似相等,似乎表现为同为禾本科的特征,因此,根据红边/蓝边幅值和面积可将中华苔草和飘拂草从这 5 种群落中区分出来。但同为莎草科的中华苔草和飘拂草却差异非常大,可能是天然草种和栽培草种的差别表现,这需要进一步研究证实。而 5 种群落之间的黄边幅值和黄边面积走势不同,箭竹的黄边幅值为负值,据此又可将箭竹从禾本科植被中区分出,五节芒的黄边面积为负值,而野古草的为正值,据此又可将五节芒和野古草区分开来。

2.2.3 连续统去除处理光谱曲线特征分析 利用 ENVI5.1 软件分别对 5 种群落重采样后的反射率平均值经过 Spectral>Mapping Methods>Continuum Removal 进行去包络线处理,获得的光谱曲线再归一

化处理(图 5)。

结果显示,对 5 种群落去包络线处理后得到的光谱曲线波形变化趋势更简明,波峰波谷也更突出,分别在 480 nm 附近和 680 nm 附近出现吸收谷,并且近红外波段比可见光附近有更强烈的吸收效应。提取特征参数值(表 6)发现,5 种群落两个波段的吸收谷位置仍然比较稳定,在 500 nm 附近的中华苔草的吸收深度与其它 4 种植被相比要小的多,据此可以将中华苔草区分出来。5 种群落的吸收宽度在两个吸收波段差异都不大,因此吸收宽度不能用来将 5 种群落识别分类。而宽深比(WID/DEP)和吸收谷面积相对差异较大,在 450—550 nm 波段,5 种群落的吸收谷宽深比差值最大,达到 92,在 600—700 nm 波段,吸收谷的宽深比差值最大,达到 52。总体而言,光谱曲线连续统去除处理后,区分 5 种群落最有效的特征参数是宽深比。

表 5 一阶微分光谱特征提取值

Table 5 First order differential spectrum feature extraction

优势物种 Dominant species	D_r	λ_r	D_b	λ_b	D_y	λ_y	SD_r	SD_b	SD_y
五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>	0.55	717	0.11	520	0.00	624	25.95	2.71	-1.00
野古草 <i>Arundinella hirta</i>	0.58	716	0.12	520	0.02	610	29.82	3.44	0.47
中华苔草 <i>Carex chinensis</i>	1.10	716	0.24	520	-0.02	626	51.44	6.01	-4.26
飘拂草 <i>Fimbristylis wukungshanensis</i>	0.12	716	0.03	520	0.03	619	6.78	1.07	1.62
箭竹 <i>Sinarundinaria nitida</i>	0.51	717	0.13	520	-0.01	622	24.80	3.34	-2.39

注: D_r ,红边幅值; λ_r ,红边位置; D_b ,蓝边幅值; λ_b ,蓝边位置; D_y ,黄边幅值; λ_y ,黄边位置; SD_r ,红边面积; SD_b ,蓝边面积; SD_y ,黄边面积。
Note: D_r , the red edge amplitude; λ_r , the red edge position; D_b , the blue edge amplitude; λ_b , the blue edge position; D_y , the yellow edge amplitude; λ_y , the yellow edge position; SD_r , The red edge area; SD_b , the blue edge area; SD_y , the red edge area.

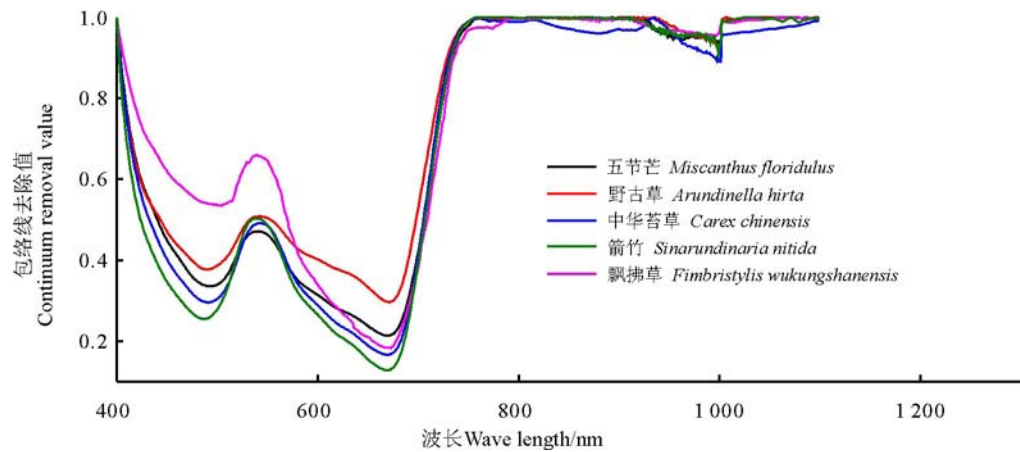


图 5 连续统去除光谱曲线对比图

Fig.5 Continuum removal spectrum curve comparison chart

表 6 连续统去除光谱曲线特征提取值

Table 6 The spectrum feature extractions of continuum removal spectrum curve

吸收谷波段 Valley of absorption band	特征提取值 Feature extraction value	五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>	野古草 <i>Arundinella hirta</i>	中华苔草 <i>Carex chinensis</i>	飘拂草 <i>Fimbristylis wukungshanensis</i>	箭竹 <i>Sinarundinaria nitida</i>
450—550 nm	CR _{min}	0.335	0.377	0.535	0.296	0.255
	DEP	0.665	0.623	0.465	0.704	0.745
	WID	124	126	121	127	125
	WID/DEP	187	202	260	180	168
	AREA	82	78	56	89	93
600—700 nm	CR _{min}	0.213	0.296	0.183	0.166	0.128
	DEP	0.787	0.704	0.817	0.834	0.872
	WID	172	167	151	161	175
	WID/DEP	219	237	185	193	201
	AREA	135	118	123	134	153

3 讨论与结论

3.1 讨论

由于采集时间对植被光谱的影响很大,草地植被冠层结构会随着生长阶段的不同而发生变化,其物化性质也会有相应的变化^[26]。本研究是在 2015 年 9 月单次取样分析,虽然 5 种群落的取样时间一致,但 5 种群落的生长发育阶段仍有微小的差别,其中野古草、五节芒、飘拂草叶子已有不同程度的枯黄,草地植被的光谱受其色素、长势、叶面积及生长形态的影响很大,特别是可见光波段^[11],所以本研究不能代表同一生长期的植被群落的分类识别,对 5 种山地草甸植被群落的精细识别分类需要分生长季来做进一步的研究。此外,本研究采用野外采集光

谱的方法无法避免的产生一定的试验误差,采集的 5 种群落的光谱数据不同程度地受到高海拔环境因素的影响,由于五节芒的冠层较高,而其余 4 种植被相对较矮,5 种植被冠层的小气候可能会有一定程度的差异,是否对本研究结果产生影响需要做进一步的验证分析。另外,群落间光谱数据的差异是否和植物养分含量有关是今后的研究方向。

3.2 结论

以五节芒、野古草、中华苔草、飘拂草和箭竹为优势物种的 5 种群落的组内、组间方差分析结果表明:同种群落样点间差异不显著,但 5 种群落之间在 350—1 600 nm 范围内差异显著,说明利用高光谱技术可以进行植被的识别和分类。

本研究获取的 5 种群落的样点光谱曲线具有植被

共有的波形,总体变化趋势具有一致性。5 种群落光谱反射率相比较,中华苔草>野古草>五节芒>箭竹>飘拂草。其中,中华苔草的波形变化较剧烈,明显区别于其它 4 种群落,这可能是栽培修复草种与天然植被的明显差别。

分别用重采样处理、一阶微分处理和连续统去除处理 3 种方法来提取的光谱特征值都能够有效地对 5

种群落进行快速分类。重采样处理最有效的识别参数是波峰、波谷的深度,一阶微分处理可以分别利用红/蓝/黄边幅值和面积将 5 种群落进行划分,连续统去除处理的特征参数中宽深比是识别 5 种群落最有效的特征值。总体而言,3 种处理方法得到的光谱曲线的波峰/波谷对应的波长位置都相近,说明这是山地草甸 5 种主要群落的共性参数。

参考文献 References:

- [1] 莎日娜.三论草地资源价值.内蒙古师范大学学报:哲学社会科学版,2008,37(4):44-48.
Sharina.On the value of grassland resources.Journal of Inner Mongolia Normal University;Philosophy & Social Science,2008,37(4):44-48.(in Chinese)
- [2] 王启兰,王溪,曹广民,王长庭,龙瑞军.青海省海北州典型高寒草甸土壤质量评价.应用生态学报,2011,22(6):1416-1422.
Wang Q L,Wang X,Cao G M,Wang C T,Long R J.Soil quality assessment of alpine meadow in Haibei State of Qinghai Province.Journal of Applied Ecology,2011,22(6):1416-1422.(in Chinese)
- [3] 胡远宁,崔霞,孟宝平,杨淑霞,梁天刚.甘南高寒草甸主要毒杂草光谱特征分析.草业科学,2015,32(2):160-167.
Hu Y N,Cui X,Meng B P,Yang S X,Liang T G.Spectral characteristics analysis of typical poisonous weeds in Gannan alpine meadow.Pratacultural Science,2015,32(2):160-167.(in Chinese)
- [4] Taylor B F,Dini P W,Kidson J W.Determination of seasonal and interannual variation in New Zealand pasture growth from NOAA-7 data.Remote Sensing of Environment,1985,18(2):177-192.
- [5] 李建龙,任继周,胡自治,陈全功.草地遥感应用动态与研究进展.草业科学,1996,13(1):55-60.
Li J L,Ren J Z,Hu Z Z,Chen Q G.The application trends and study prospects of the remote sensing in the grassland.Pratacultural Science,1996,13(1):55-60.(in Chinese)
- [6] 柴颖,阮仁宗,傅巧妮.高光谱数据湿地植被类型信息提取.南京林业大学学报:自然科学版,2015,39(1):181-184.
Chai Y,Ruan R Z,Fu Q N.Extraction of wetland vegetation information using hyperspectral image data.Journal of Nanjing Forestry:Natural Science Edition,2015,39(1):181-184.(in Chinese)
- [7] 周磊,辛晓平,李刚,杨桂霞,张宏斌.高光谱遥感在草原监测中的应用.草业科学,2009,26(4):20-27.
Zhou L,Xin X P,Li G,Yang G X,Zhang H B.Application progress on hyperspectral remote sensing in grassland monitoring.Pratacultural Science,2009,26(4):20-27.(in Chinese)
- [8] Yamano H,Chen J,Tamura M.Hyperspectral identification of grassland vegetation in Xilinhot,Inner Mongolia,International Journal of Remote Sensing,2003,24(15):3171-3178.
- [9] 李双,徐新良,付颖.基于高光谱影像的三江源区不同退化程度高寒草甸分类研究.遥感技术与应用,2015,30(1):50-57.
Li S,Xu X L,Fu Y.A study on classification of different degradation level alpine meadows based on hyperspectral image data in Three-river headwater region.Remote Sensing Technology and Application,2015,30(1):50-57.(in Chinese)
- [10] 范燕敏,武红旗,靳瑰丽.新疆草地类型高光谱特征分析.草业科学,2006,23(6):15-18.
Fan Y M,Wu H Q,Jin G L.Hyperspectral properties analysis of grassland types in Xinjiang.Pratacultural Science,2006,23(6):15-18.(in Chinese)
- [11] 钱育蓉,于炯,贾振红,杨峰,帕力旦·吐尔逊.新疆典型荒漠草地的高光谱特征提取和分析研究.草业学报,2013,22(1):157-166.
Qian Y R,Yu J,Jia Z H,Yang F,Palidan·Tuexun.Extraction and analysis of hyper-spectral data from typical desert grassland in Xinjiang.Acta Prataculturae Sinica,2013,22(1):157-166.(in Chinese)
- [12] 靳瑰丽,何龙,安沙舟,范燕敏,武鹏飞.退化伊犁绢蒿荒漠草地特征植物光谱特征.草业科学,2014,31(10):1848-1858.
Jin G L,He L,An S Z,Fan Y M,Wu P F.Spectral features of eight desert range plants on degradation *Seriphidium transiliense* desert grassland.Pratacultural Science,2014,31(10):1848-1858.(in Chinese)

- [13] 何龙,安沙舟,靳瑰丽,范燕敏,张廷.退化伊犁绢蒿荒漠草地高光谱特征分析.草地学报,2014,22(2):271-276.
He L, An S Z, Jin G L, Fan Y M, Zhang T. Analysis on high spectral characteristics of degraded *Seriphidium transiliense* desert grassland. Acta Agrestia Sinica, 2014, 22(2): 271-276. (in Chinese)
- [14] 夏小伟,靳瑰丽,安沙舟,范燕敏,梁娜.围栏封育下伊犁绢蒿荒漠草地特征植物高光谱特征变化分析.草业科学,2015,32(6):870-876.
Xia X W, Jin G L, An S Z, Fan Y M, Liang N. Spectral characteristics of typical plants in *Seriphidium transiliense* desert grassland under enclosure. Pratacultural Science, 2015, 32(6): 870-876. (in Chinese)
- [15] 袁知洋,邓邦良,郭晓敏,牛德奎,胡耀文,汪娇,赵自稳,刘宇新,张文元.武功山山地草甸土壤全量氮磷钾分布格局及对不同退化程度的响应.西北林学院学报,2015,30(3):14-20.
Yuan Z Y, Deng B L, Guo X M, Niu D K, Hu Y W, Wang J, Zhao Z W, Liu Y X, Zhang W Y. Soil total NPK's distribution pattern and response to different degradation degrees in Wugong mountain meadow. Journal of Northwest Forestry College, 2015, 30(3): 14-20. (in Chinese)
- [16] 韩冬梅,何峰,谢开云,万里强,李向林.利用手持光谱设备估测羊草草地生物量.草原与草坪,2013,33(6):36-40.
Han D M, He F, Xie K Y, Wan L Q, Li X L. Apreliminary study of estimating biomass by using handheld spectrograph device on *Leymus chinensis* grassland. Grassland and Lawn, 2013, 33(6): 36-40. (in Chinese)
- [17] 杨红飞,李建龙,穆少杰,杨齐,胡潇潇,金国平,赵万羽.新疆三种主要草地植被类型的高光谱反射特征研究.草业学报,2012,21(6):258-266.
Yang H F, Li J L, Mu S J, Yang Q, Hu X X, Jin G P, Zhao W Y. Analysis of hyperspectral reflectance characteristics of three main grassland types in Xinjiang. Acta Prataculturae Sinica, 2012, 21(6): 258-266. (in Chinese)
- [18] 闻兵工.地物光谱特征分析技术研究.郑州:解放军信息工程大学硕士学位论文,2009.
Wen B G. Research on spectral feature analysis of objects. Master Thesis. Zhengzhou: PLA Information Engineering University, 2009. (in Chinese)
- [19] Cloutis E A. Hyperspectral geological remote sensing: Evaluation of analytical techniques. Journal of Remote Sensing, 1996, 17(12): 2215-2242.
- [20] 王纪华,赵黄.农业定量遥感基础与应用.北京:科学出版社,2008:157-158.
Wang J H, Zhao H. Basic and Application of Quantitative Remote Sensing of Agricultural. Beijing: Science Press, 2008: 157-158. (in Chinese)
- [21] 郭云开,张进会.南方丘陵地区路域植被光谱处理与分析.测绘工程,2014,23(7):1-5.
Guo Y K, Zhang J H. The vegetation on spectral processing and analysis of the domain of road in southern hills. Engineering of Surveying and Mapping, 2014, 23(7): 1-5. (in Chinese)
- [22] van der Freek M. Analysis of spectral absorption features in hyperspectral imagery. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2004, 5(1): 55-68.
- [23] 刘焕军,张柏,张渊智,宋开山,王宗明,李方,胡茂桂.基于反射光谱特性的土壤分类研究.光谱学与光谱分析,2008,28(3):624-628.
Liu H J, Zhang B, Zhang Y Z, Song K S, Wang Z M, Li F, Hu M G. Soil taxonomy on the basis of reflectance spectral characteristics. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2008, 28(3): 624-628. (in Chinese)
- [24] 徐元进,胡光道,张振飞.包络线消除法及其在野外光谱分类中的应用.地理与地理信息科学,2005,21(6):11-14.
Xu Y J, Hu G D, Zhang Z F. Continuum removal and its application to the spectrum classification of field object. Geography and Geo-Information Science, 2005, 21(6): 11-14. (in Chinese)
- [25] 张风丽,尹球,匡定波,李凤霞,周秉荣.环青海湖地区天然草地时序光谱特征参量分析.生态学报,2005,25(12):3155-3160.
Zhang F L, Yin Q, Kuang D B, Li F X, Zhou B R. Analysis of time series spectrum feature parameters derived from dominant natural grasslands in the region around Qinghai lake. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(12): 3155-3160. (in Chinese)
- [26] 姜庆虎,童芳,余明珠,章影,廖畅,刘峰.高光谱技术——生态学领域研究的新方法.植物科学学报,2015(5):33-640.
Jiang Q H, Tong F, Yu M Z, Zhang Y, Liao C, Liu F. Hyperspectral technique: An opportunity in ecology. Plant Science Journal, 2015(5): 633-640. (in Chinese)

(责任编辑 王芳)