

川西北高寒草甸常见植物光谱特征分析

譙程骏¹, 文登学², 韩春坛³, 康琳琦¹, 武启飞¹

(1. 四川省林业和草原调查规划院, 四川 成都 610081; 2. 四川省林业勘察设计院有限公司, 四川 成都 610081; 3. 中国科学院西北生态环境资源研究院黑河上游生态-水文试验研究站, 甘肃 兰州 730000)

摘要:【目的】草地光谱反射特征是运用遥感数据研究草地植被理化特性和植被分类的基础, 对不同草地植物光谱反射特征开展分析研究, 为草地植被的定量遥感与准确识别提供理论参考与技术支持。【方法】采用便携式地物光谱仪, 于2021年7—8月在四川省甘孜州雅江县对川西北8种高寒草甸常见植物蕨麻(*Argentina anserina*)、高山嵩草(*Kobresia pygmaea*)、花萼驴蹄草(*Caltha scaposa*)、藏蒲公英(*Taraxacum tibetanum*)、广叶橐吾(*Ligularia euryphylla*)、淡黄香青(*Anaphalis flavescens*)、圆穗蓼(*Polygonum macrophyllum*)、黄花棘豆(*Oxytropis ochrocephala*)进行了野外光谱测量, 利用一阶导数、二阶导数、光谱去包络线以及植被指数法对原始光谱数据进行了处理, 揭示了8种高寒草甸植被光谱反射特性。【结果】相对于不同草地植物的绿峰位置、绿峰幅值、红谷位置、红谷幅值、红边幅值、红边面积、吸收峰面积、吸收峰对称度等光谱特征参量, 高光谱植被指数更容易区分此8种草地植物, 8种植物的NDVI和mSR₇₀₅指数具有一致性, 指数由大到小依次为: 藏蒲公英>黄花棘豆>高山嵩草>蕨麻>圆穗蓼>花萼驴蹄草>广叶橐吾>淡黄香青, 且各植物mSR₇₀₅指数值差异明显, 易于相互区分。【结论】采用不同方法对草地植物光谱反射特征开展分析, 可有效的区分不同的草地植被, 为高光谱遥感开展草地资源植被分类、草原基况调查和动态监测等提供参考。

关键词: 高寒草甸; 光谱特征; 光谱导数; 包络线去除法; 植被指数

中图分类号: S812 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2024)03-0001-09

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2024.03.001



草地植被作为地球生态系统分布范围最广泛的植被类型之一, 不仅为人类提供净初级物质的生产, 还具备调节气候、水土保持、抗风固沙、改善水土条件和维持生物多样性等生态功能^[1]。长期以来, 对草地资源的调查和监测始终是草原专业工作者关心和重视的课题, 常规的调查和监测手段通常都比较费时费力, 也不便于大规模开展, 随着高光谱遥感技术的快速发展, 给草地资源分类、估产和变化监测等方面的

研究带来了新思路和新途径, 也为草地监测提供全新技术手段^[2]。

草地光谱反射特征分析不但可以区分草地类型, 还可以构建地面光谱数据与高光谱遥感影像数据之间的关系, 为深入运用遥感数据研究草地植被理化特性、参数反演和植被分类提供基础数据^[3]。

目前许多学者和研究人员对不同类型的草地植被光谱进行了观测和研究, 张凯等^[2]对甘肃省干旱荒漠草甸和高寒草甸主要草地植被的光谱反射特征进行了研究, 结果表明, 在植被营养生长期, 红边位置、红边斜率和红边面积一致, 表现为荒漠草甸小于高寒草甸。张春梅等^[4]利用Hyperion高光谱影像分析石羊河流域金昌地区的草地波谱信息, 结果表明, 不同生长期草地光谱曲线具有明显差异, 可作为草地长

收稿日期: 2022-05-26; **修回日期:** 2022-07-22

基金资助: 国家重点研发计划项目(2019YFC0507404); 中国科学院“西部之光”人才培养引进计划项目

作者简介: 譙程骏(1983-), 男, 四川什邡人, 工程师, 硕士, 主要从事3S技术在林草资源监测方面的应用研究。Email: qiao_cheng_jun@163.com

势监测及估产的依据,不同覆盖度草地光谱曲线呈现有规律的变化,可作为提取植被覆盖度的依据。张富华等^[5]将锡林郭勒草原4种典型草地植被作为研究对象,运用光谱微分、相关性分析、主成分分析等方法提取光谱特征,并采用神经网络算法对草地种类进行识别。安如等^[3]利用一阶微分法、连续统去除法和归一化微分比的方法对三江源中东部典型草原区常见草地植被光谱特性开展了研究,发现研究区高寒草甸植物群落间光谱反射的差异性。杜正朕等^[6]研究了典型滩涂植被米草和芦苇叶片光谱特征,结果表明,芦苇和米草可以用高光谱数据进行区分,同一植物类型的光谱特征在不同季节有显著差异。Schmid等^[7]发现非洲草原上可利用常见8种植物间的光谱特征差异,并对它们进行了区分。Mansour等^[8]采用高光谱数据对草地退化状况做了研究和评价,通过分析反射光谱和分辨率,区分了不同程度的草地退化。

川西北牧区为我国5大牧区之一,该区域不仅是四川省重要的畜牧业基地,也是长江、黄河上游及主要支流的源头,更是我国重要的生态核心区和生态建设高地^[9]。为了进一步探索高光谱遥感技术在川西北草地资源监测及分类等方面的应用,本研究采用地物光谱仪野外实测数据,对川西北高寒草甸主要植物光谱特征作了对比分析,以期对川西北草地资源遥感监测、植被分类以及草畜管理提供理论基础。

1 材料和方法

1.1 研究地区概况

研究地区主要位于四川省甘孜州雅江县境内,雅江县地处青藏高原东南麓川西北高原区,横断山脉的中部,雅砻江中游,地理范围在 $100^{\circ}22'20''\sim 101^{\circ}25'43''$ E, $29^{\circ}03'11''\sim 30^{\circ}32'10''$ N。雅江县属青藏高原亚湿润气候区,多年平均气温 10.9°C ,多年平均降水为 705.7 mm ,多年无霜期为 100.9 d ,雅砻江由北至南横贯雅江县全境,将全县东西分为两部分,河谷深切成“V”字形^[10],区域内草地类型以高寒草甸类为主。本研究观测样地设在雅江县八角楼乡、德差乡、红龙镇、柯拉乡4个区域,选取了该区域8种较为常见的植物,分别为:蕨麻(*Potentilla anserina*)、高山嵩草(*Kobresia pygmaea*)、花葶驴蹄草(*Caltha scaposa*)、藏蒲公英

英(*Taraxacum tibetanum*)、广叶橐吾(*Ligularia euryphylla*)、淡黄香青(*Anaphalis flavescens*)、圆穗蓼(*Polygonum macrophyllum*)、黄花棘豆(*Oxytropis ochrocephala*)进行实地光谱测量和分析^[11-12]。

1.2 数据采集

光谱测量仪器采用便携式地物光谱仪 Field-Spec4Hi-Res,由便携式计算机、高分辨率分光计和光纤探头组成,共计2151个数据输出通道。光谱测量范围为 $325\sim 2500\text{ nm}$,其中 $350\sim 1000\text{ nm}$ 波段光谱采样间隔为 1.4 nm ,光谱分辨率为 3 nm ^[13], $1001\sim 2500\text{ nm}$ 波段光谱采样间隔为 1.1 nm ,光谱分辨率为 10 nm ,可选 1° 、 5° 、 8° 、 25° 视场角的镜头。

2021年7月下旬至8月上旬,选择天气晴朗、无风或者微风、无云或者少云、光照条件好的时段进行光谱采集,具体测量时间控制在 $11:00\sim 14:00$ 。每次测量前利用白板进行1次校正,减小误差。对每类植物的叶片进行光谱测量,每类植物叶片样本不少于5个,每1个叶片样本保存10条光谱记录。由于光谱仪在野外工作时受环境影响较大,为减小水汽和光谱仪随机噪声的干扰,对获得的原始光谱数据进行筛选,只保留有效的光谱数据,尤其是以 1368 nm 和 1875 nm 为中心波长的光谱数据,此范围波长的反射率在野外实测情况下受到水的影响较大,因此每类植物测量波段为 $350\sim 1350\text{ nm}$ 、 $1386\sim 1800\text{ nm}$ 、 $1950\sim 2400\text{ nm}$ 的所有叶片光谱数据取平均值后,作为所测定植物的光谱数据。

1.3 数据处理

本试验采用导数光谱计算方法、包络线去除法、植被指数分析方法等常用光谱数据分析法对实测光谱数据进行分析,数据处理和计算采用MATLAB软件。

1.3.1 导数光谱计算方法 光谱数据经导数计算后能够部分消除大气效应,并可以减少植被光谱中土壤的影响,反映植被的本质光谱特征,并能分辨重叠光谱,便于提取可识别地物的光谱吸收峰参数^[14]。光谱导数还可以明显反映出波谱曲线在坡度上的细微变化,光谱数据的导数计算如下^[15]:

$$FDR_{\lambda_i} = \frac{dR}{d\lambda} = \frac{R_{\lambda_{i+1}} - R_{\lambda_i}}{\Delta\lambda} \quad (1)$$

$$SDR_{\lambda_i} = \frac{d^2 R}{d\lambda^2} = \frac{d}{d\lambda} \left(\frac{dR}{d\lambda} \right) = \frac{R_{\lambda_{i+2}} - 2R_{\lambda_{i+1}} + R_{\lambda_i}}{(\Delta\lambda)^2} \quad (2)$$

式中: λ_i 是第 i 波段; FDR_{λ_i} 是波段 i 和波段 $i+1$ 之间的光谱一阶导数; SDR_{λ_i} 是波段 i 和波段 $i+2$ 之间的光谱二阶导数; $R_{\lambda_i}, R_{\lambda_{i+1}}, R_{\lambda_{i+2}}$ 是第 $i, i+1$ 和 $i+2$ 波段的原始光谱反射率, $\Delta\lambda$ 是波段 i 和波段 $i+1$ 之间的波长差距。

1.3.2 包络线去除法 包络线去除法可以有效的突出光谱曲线的吸收和反射特征, 将其归一到一个一致的光谱背景上, 有利于和其他光谱曲线进行特征参数比较, 从而提取出特征波段以供分类识别^[14]。根据包络线去除后的曲线, 可以得到吸收峰面积、吸收峰左边峰面积和吸收峰对称度等特征值, 计算公式见式 (3)~(6)^[3,16]:

$$CR_i = \frac{R_i}{RH_i} \quad (3)$$

$$A = \int_{\lambda_{start}}^{\lambda_{end}} CR \quad (4)$$

$$AL = \int_{\lambda_{start}}^{\lambda_{CRmin}} CR \quad (5)$$

$$S = \frac{AL}{A} \quad (6)$$

式中: CR_i 为波段 i 对应的包络线去除值, R_i 为波段 i 的光谱反射率, RH_i 为原始光谱波段对应的包络线外壳值, A 为吸收峰面积, AL 为吸收峰左边峰面积, λ_{start} 为吸收起点的波长, λ_{end} 为吸收终点波长, λ_{CRmin} 为包络线去除值最小处的波长, S 为吸收峰的对称度。

1.3.3 植被指数分析法 植被指数 (Vegetation index, VI) 是利用多光谱数据, 经线性或非线性组合构成的能反映植被生长状况和分布的各种指数的总称^[17]。不同的植被指数, 能够突出各种地物的光谱特征, 同时植被指数与植被的生理参数 (叶面积指数、叶绿素含量、水分含量、花青素含量等)、冠层结构等有很好的相关性, 常用来进行植被的光谱分析^[18], 本研究选择了以下 7 种常用的植被指数模型分析研究 8 种高寒草甸植物光谱特征。

归一化植被指数 (NDVI): 计算方式为近红外和红光波段反射率差值除以两者相加之和, 常用于估算植被覆盖度、叶绿素含量、生物量等^[19]。增强型植被指数 (EVI): 考虑到土壤和大气的影

响, 在归一化植被指数 (NDVI) 的基础上做了改进, 研究表明 EVI 与植被的光合作用相关, 更适合用于高植被覆盖地区的植被研究^[20]。大气阻抗植被指数 (ARVI): 是 NDVI 的改进, 它使用蓝色波段矫正红光波段中的大气影响, ARVI 常用于大气气溶胶浓度高的区域^[21]。红边归一化植被指数 (NDVI₇₀₅): 能够突出叶片冠层光谱的微小变化, 常用于植被胁迫性监测^[22]。改进红边比值植被指数 (mSR₇₀₅): 修正了冠层的镜面反射效应^[22]。归一化氮指数 (NDNI): 用于估算植被冠层中氮的相对含量, 1 510 nm 的反射率主要取决于叶片氮的含量和冠层总体叶生物量, 1 680 nm 反射率作为参考反射率, 此波长范围内没有氮吸收影响^[23-24]。归一化水指数 (NDWI): 857 nm 和 1 241 nm 波段具有相似的反射率, 但不同于液态水的吸收特性, 以 857 nm 为参考波段, 采用 1 300~2 500 nm 来反演植被水分含量, NDWI 对植被冠层水分含量的变化表现敏感^[25-26]。上述植被指数模型计算方法如表 1 所示。

2 结果与分析

2.1 反射率光谱

图 1 为 8 类高寒草甸植物反射光谱曲线。在 350~760 nm 可见光波段, 广叶橐吾光谱反射率最高, 在 760~1 350 nm 近红外波段, 淡黄香青和高山嵩草反射率明显低于其余植物, 在波段 1 450~1 800 nm 之间以及在波段 2 220 nm 附近, 花葶驴蹄草反射率最大, 蕨麻次之。由于不同植被叶面积大小、叶绿素含量、花青素含量、含水量、细胞内部结构等不相同, 导致其光谱反射曲线存在着差异^[3]。8 类植物原始光谱特征参量见表 2, 绿峰幅值由大到小依次为: 广叶橐吾 > 淡黄香青 > 圆穗蓼 > 花葶驴蹄草 > 蕨麻 > 藏蒲公英 > 黄花棘豆 > 高山嵩草; 红谷幅值由大到小依次为: 淡黄香青 > 广叶橐吾 > 圆穗蓼 > 花葶驴蹄草 > 蕨麻 > 藏蒲公英 > 黄花棘豆 > 高山嵩草。通过上述不同光谱波段特征可将广叶橐吾、高山嵩草、花葶驴蹄草、淡黄香青从 8 种草中区分出来。

2.2 光谱导数

图 2 和图 3 分别为研究对象的一阶导数光谱曲线和二阶导数光谱曲线。光谱数据经过导数运算后, 突出了反射光谱中的反射峰、吸收谷以及其它特征位

表 1 植被指数模型

Table 1 Models of different hyperspectral vegetation indexes

植被指数	简称	模型公式	参考文献
归一化植被指数	NDVI	$\frac{R_{750} - R_{680}}{R_{750} + R_{680}}$	[19]
增强型植被指数	EVI	$2.5 \times \frac{R_{800} - R_{680}}{R_{800} + 6 \times R_{680} - 7.5 \times R_{450} + 1}$	[20]
大气阻抗植被指数	ARVI	$\frac{R_{800} - (2 \times R_{680} - R_{450})}{R_{800} + (2 \times R_{680} - R_{450})}$	[21]
红边归一化植被指数	NDVI ₇₀₅	$\frac{R_{750} - R_{705}}{R_{750} + R_{705}}$	[22]
改进红边比值植被指数	mSR ₇₀₅	$\frac{R_{750} - R_{445}}{R_{750} + R_{445}}$	[22]
归一化氮指数	NDNI	$\frac{\log(\frac{1}{R_{1510}}) - \log(\frac{1}{R_{1680}})}{\log(\frac{1}{R_{1510}}) + \log(\frac{1}{R_{1680}})}$	[23—24]
归一化水指数	NDWI	$\frac{R_{857} - R_{1241}}{R_{857} + R_{1241}}$	[25—26]

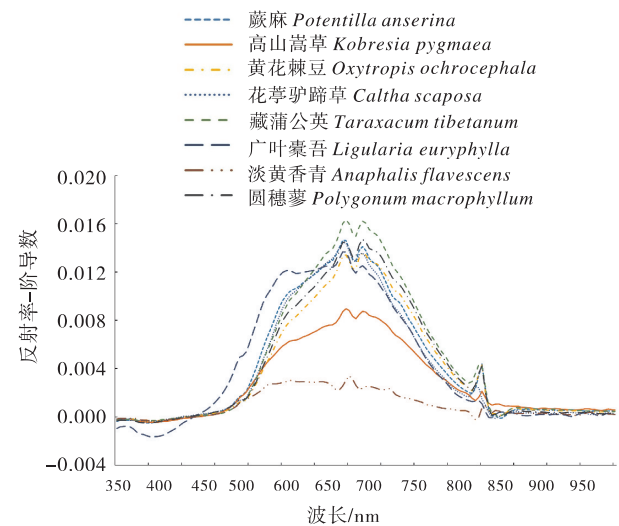


图 1 8类高寒草甸植物光谱曲线

Fig. 1 Spectral curves of 8 alpine meadow vegetations

置,尤其是草地红边特征,红边是导数光谱在 680~760 nm 区间的拐点,是植被在红光波段强烈的吸收与近红外波段强烈的反射造成的^[2]。红边的位置对于叶绿素 a 和 b 浓度、植物叶细胞结构变化很灵敏,也与植物冠层结构密切相关,但对噪声不敏感,是描述植物色素状态和健康状况的重要指示波段^[17]。“红边”斜率是指 680~760 nm 波段内一阶导数光谱的最大值,即“红边”幅值,对应的光谱波长即为“红边”位置,“红边”面积为此光谱范围内一阶导数光谱所覆盖的面积^[3],红光波段范围内叶绿素表现出强吸收,而近红外

表 2 原始光谱特征参量

Table 2 Original spectral characteristic parameters

植物名称	绿峰位置	绿峰幅值	红谷位置	红谷幅值
蕨麻	555	0.099 47	672	0.033 69
高山嵩草	557	0.058 77	674	0.022 46
黄花棘豆	554	0.077 89	671	0.027 23
花葶驴蹄草	554	0.110 40	670	0.049 59
藏蒲公英	555	0.087 32	673	0.030 74
广叶橐吾	553	0.224 23	674	0.092 69
淡黄香青	557	0.116 96	674	0.099 34
圆穗蓼	554	0.110 64	671	0.053 12

波段又表现出强烈反射,是影响“红边”特征的主要原因。整体来看,不同高寒草甸植物的红边位置基本处于 718~724 nm,红边幅值由大到小依次为:藏蒲公英>圆穗蓼>蕨麻>花葶驴蹄草>广叶橐吾>黄花棘豆>高山嵩草>淡黄香青;红边面积由大到小依次为:藏蒲公英>广叶橐吾>圆穗蓼>蕨麻>花葶驴蹄草>黄花棘豆>高山嵩草>淡黄香青。根据红边幅值和红边面积可以将藏蒲公英和淡黄香青与其他植物区分表 3。

2.3 去包络线

经过包络线去除后的 8 种高寒草甸植物光谱吸收曲线如图 4 所示,相对原始光谱曲线,吸收峰特征更为

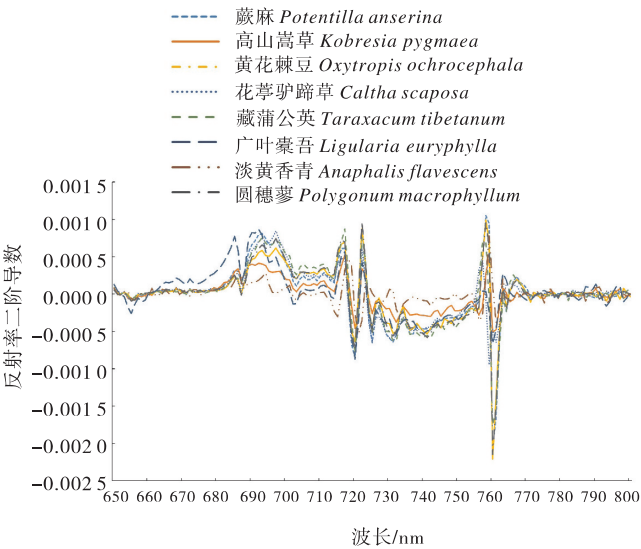


图2 8类高寒草甸植物一阶导数光谱
Fig. 2 First derivative spectral of 8 alpine meadow vegetations

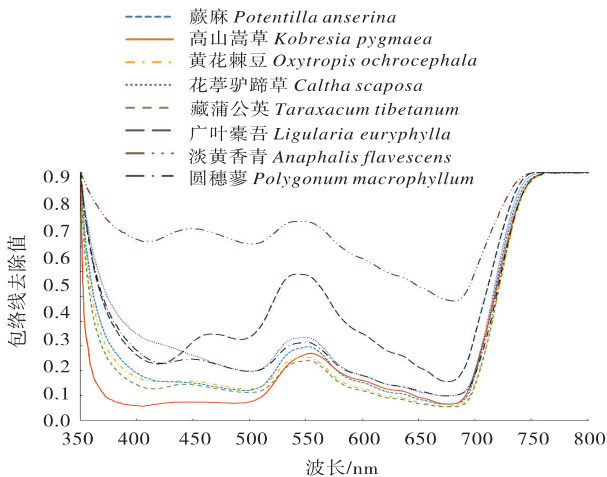


图3 8类高寒草甸植物二阶导数光谱
Fig. 3 Second derivative spectral of 8 alpine meadow vegetations

明显。在 550~760 nm 波段内,对包络线去除后的光谱曲线进一步计算得到的光谱特征参量如表 4 所示,

表 4 反射率去除包络线特征参量

Table 4 The characteristic parameters of continuum-removed reflectance

植物名称	包络线去除值	吸收峰总面积	吸收峰左边峰面积	吸收峰对称度
蕨麻	0.06464	63.1279	18.4993	0.2930
高山嵩草	0.06546	63.0399	19.1228	0.3033
黄花棘豆	0.05686	57.4320	15.6172	0.2719
花葶驴蹄草	0.09830	68.9033	22.3389	0.3242
藏蒲公英	0.05396	56.5001	14.8561	0.2629
广叶橐吾	0.15613	94.0826	41.6980	0.4432
淡黄香青	0.48155	144.1434	81.7932	0.5674
圆穗蓼	0.09794	65.8054	22.0584	0.3352

表 3 一阶导数光谱特征参量

Table 3 First derivative spectral characteristic parameters

植物名称	红边位置	红边幅值	红边面积
蕨麻	718	0.014 62	0.615 6
高山嵩	719	0.008 95	0.405 5
黄花棘豆	724	0.013 60	0.570 8
花葶驴蹄草	718	0.014 46	0.580 6
藏蒲公英	719	0.016 33	0.680 2
广叶橐吾	718	0.013 67	0.642 1
淡黄香青	720	0.003 41	0.144 7
圆穗蓼	724	0.014 72	0.619 4

包络线去除值与吸收峰左边峰面积趋势一致,由大到小依次为:淡黄香青>广叶橐吾>花葶驴蹄草>圆穗蓼>高山嵩草>蕨麻>黄花棘豆>藏蒲公英;吸收峰总面积为:淡黄香青>广叶橐吾>花葶驴蹄草>圆穗蓼>蕨麻>高山嵩草>黄花棘豆>藏蒲公英;对称度为:淡黄香青>广叶橐吾>圆穗蓼>花葶驴蹄草>高山嵩草>蕨麻>黄花棘豆>藏蒲公英。

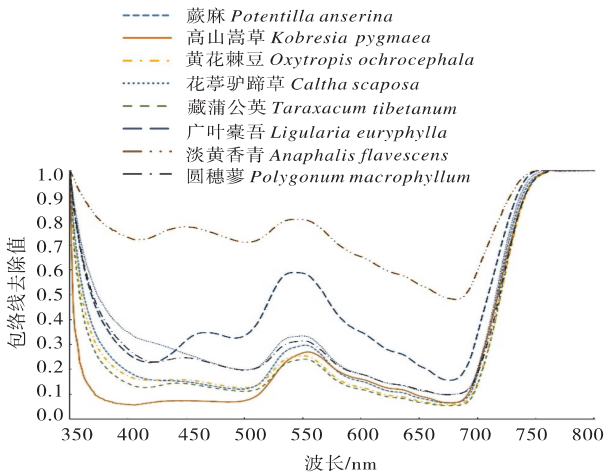


图4 8类高寒草甸植物反射率去包络线曲线
Fig. 4 Continuum-removed reflectance curves of 8 alpine meadow vegetations

2.4 高光谱植被指数

图5为8类植物的7种植被指数,NDVI、EVI、ARVI、NDVI₇₀₅以及NDNI指数一致表明淡黄香青指数值最小,易于与其他植物区分。运用matlab对7种植被指数进行方差分析,结果如图6所示,平方和SS为42.9002,自由度df为6;均方MS为7.15003;检验

统计量F为37.5,最小显著性概率 $P=1.1240e-16<0.01$ 。8种植被的NDVI和mSR₇₀₅指数具有一致性,指数由大到小依次为:藏蒲公英>黄花棘豆>高山嵩草>蕨麻>圆穗蓼>花葶驴蹄草>广叶橐吾>淡黄香青,且各植物mSR₇₀₅指数值差异明显,易于相互区分。

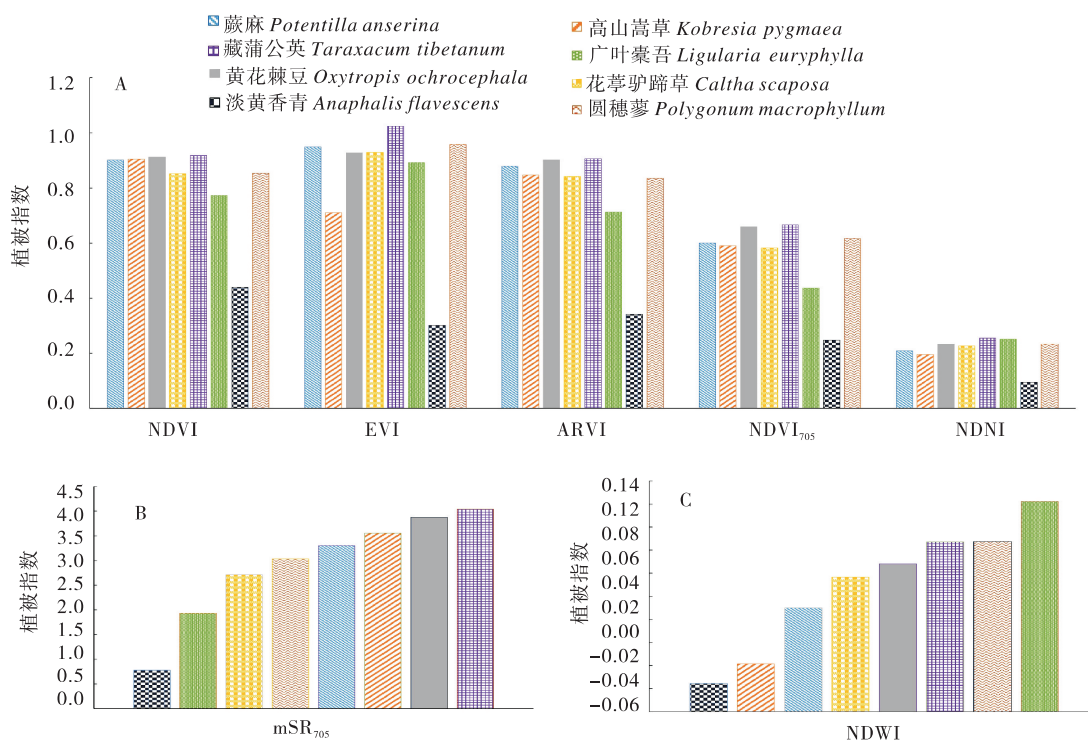


图5 8类高寒草甸植物植被指数

Fig. 5 Vegetation indexes of 8 alpine meadow vegetations

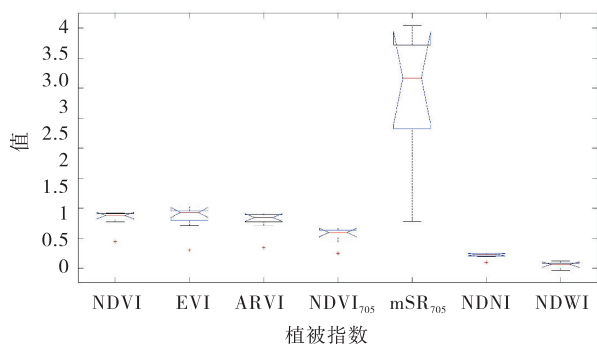


图6 植被指数方差分析箱线图

Fig. 6 Box diagram of vegetation index variance analysis

3 讨论

3.1 原始光谱曲线

叶绿素是植物吸收光能的主要化学物质,叶绿素浓度越低,蓝、红波段吸收越弱,可见光波段反射率升高,近红外反射率减弱,反之叶绿素浓度越高,蓝、红波段吸收越强,可见光波段反射率越低,近红外反射

率越强^[2]。如图2各的原始反射率光谱曲线,在350~760 nm可见光波段,广叶橐吾光谱反射率最高,高山嵩草最低,主要原因为广叶橐吾叶面积指数和地面生物量好于其余植物,对近红外线的反射强烈;在760~1350 nm近红外波段,淡黄香青和高山嵩草反射率明显低于其余植物,主要原因为淡黄香青和高山嵩草生物量和叶面积指数相对低于其余植物。在波段1450~1800 nm之间,以及在波段2220 nm附近,花葶驴蹄草反射率最大,蕨麻次之。

3.2 光谱导数曲线

从图3光谱导数可以看出,在557~667 nm波段范围内,所有8类植物的反射率一阶导数都为负值,因此它们在此波段内表现为强吸收。在650~800 nm波段范围内,除淡黄香青的光谱红边曲线“双峰”现象不明显,其余植物“双峰”现象均比较明显,主要原因为淡黄香青生物量较小、叶面积指数小,且受土壤背景影

响较大。在中心波长 760 nm 附近的 755~763 nm 范围内,除广叶橐吾外表现不明显外,其余植物出现了低谷并很快出现谷峰特征,此波段反射率增大速度达到最大值。8类植物红边幅值和红边面积基本具有一致性,一阶导数光谱曲线反映的是光谱曲线的变化速率,正值表示光谱反射速率递增,广叶橐吾光谱反射率先于其他植物增速,以上现象可能与植被个体的差异有关,广叶橐吾的叶面积指数,冠层生物量相对其他植物都较大。二阶导数光谱曲线可反映光谱曲线变化最显著的波段,如图4所示,在中心波长 760 nm 附近,8类植物的反射率二阶导数变化幅度最大,此处正是原始反射率急剧升高的波段,也是所有绿色植物光谱曲线最明显的特征。

3.3 去包络线曲线

经过去除包络线后,从图5中能看出这8种植物的包络线去除曲线具有明显差异,有利于区分不同植物。包络线去除后 350 nm~800 nm 波段范围,淡黄香青包络线去除值最大,广叶橐吾在 55 nm 附近有明显的峰值;在 350~500 nm 波段范围,高山嵩草包络线去除值最小,在此两个波段范围,易于区分淡黄香青和高山嵩草。从图5中可看出在 400 nm, 500 nm 和 680 nm 波段之间具有明显的差异,通过计算出的吸收峰特征可以将藏蒲公英和淡黄香青与其他植物区分。

3.4 植被指数

因为产生光谱反射的主要元素相同,不同植物的反射光谱曲线大致相同^[3],在中心波长分别为 450 nm 和 650 nm 的谱带内,叶绿素吸收大部分的入射能量,在此叶绿素吸收带之间,在 550 nm 附近由于吸收作用较小,形成一个反射峰^[27],光谱反射率最大值对应的波长,即“绿峰”,波长对应的反射率即为“绿峰”幅值;在 650~690 nm 范围内,最小的光谱反射率对应的波长,波长对应的反射率即为“红谷”幅值^[3]。在可见光波段与近红外波段之间 700~760 nm 附近,反射率急剧上升,形成“红边”,这是植物光谱曲线最显著的特征^[14]。“绿峰”主要由植物中的色素对蓝光和黄光的强吸收而在绿光波段表现出强反射峰^[3]。“红谷”表征叶绿素等色素吸收红光强烈位置,在该波段范围内,植被的光合作用、生物量等形成过程、开花过程和光周期过程都以最大的速度来完成^[26]。从 760 nm 开始,光谱反射值缓慢增加,形成了一个较高的相对稳定的波

普曲线,这是植物叶内部组织结构多次反射、散射的结果,主要由生物量、叶面积指数等决定^[17]。通过对外野实测的光谱数据分析,本文中研究的8种植物光谱特性与上述研究成果一致,均具有绿色植物的典型光谱特征。由于不同植物对应的波段反射率差异,使得计算得到的同种植被指数差异明显,可一定程度上区分不同植物。

综上,8种植物的光谱曲线虽然大体上可能走向趋势一致,但是在不同波段的反射率存在差异,甚至在特定的波段,可能由于叶绿素含量、水分含量、花青素含量以及植被细胞结构的差异导致反射率差异明显,因此,需要根据光谱特征,有针对性的选择波段和方法进行分析和研究,才能有效的进行区分。本研究目的在于通过野外实测数据,逐步建立川西北主要植物光谱数据库,为进一步运用高光谱遥感影像数据开展草地资源的植被分类、草原基况调查与动态监测等提供理论支撑。本文仅开展了初步工作,需进一步完善和深入研究的方面:(1)本文的数据是在草地生长速度最快,生物量较大的夏季获取,时间尺度上较为单一,需要增加测量的时段,如春季和秋季;(2)本文仅对高寒草甸草地的常见植物进行了光谱测量,而川西北还有高寒灌丛草甸草地类、高寒沼泽草地类、干旱河谷灌木草丛草地类等不同的草地类型,需要增加观测的草地类型和植物;(3)本文仅测量了叶片的光谱数据用于分析,下一步需要增加冠层以及群落等不同尺度的实测光谱数据。

4 结论

本试验对8种高寒草甸植物进行了野外测量,对其原始光谱特征、光谱导数特征参量、光谱去包络线特征参量、光谱植被指数进行了分析和比较,揭示了此8种主要植物光谱反射特性。通过原始光谱曲线及其特征参量,可将广叶橐吾、高山嵩草、花葶驴蹄草和淡黄香青区分;通过光谱导数特征参量分析,可以将藏蒲公英和淡黄香青与其他植物区分;通过包络线去除值以及吸收峰特征参量,可以将藏蒲公英、淡黄香青、高山嵩草与其他植物区分。然而,以上三种方法均不能将8种高寒草甸植物互相区分开来。通过植被指数分析,发现采用指数值差异大的 mSR_{705} 可易于区分此8类高寒草甸植物。

参考文献:

- [1] 朱宁,王浩,宁晓刚,等. 草地退化遥感监测研究进展[J]. 测绘科学,2021,46(5):66—76.
- [2] 张凯,郭锐,王润元,等. 甘肃省两种主要草地类型的光谱反射特征比较[J]. 农业工程学报,2009,25(S2):142—148+349.
- [3] 安如,姜丹萍,李晓雪,等. 基于地面实测高光谱数据的三江源中东部草地植被光谱特征研究[J]. 遥感技术与应用,2014,29(2):202—211.
- [4] 张春梅,张建明. 基于高光谱影像的干旱区草地光谱特征分析[J]. 光谱学与光谱分析,2012,32(2):445—448.
- [5] 张富华,黄明祥,张晶,等. 利用高光谱识别草地种类的研究——以锡林郭勒草原为例[J]. 测绘通报,2014(7):66—69.
- [6] 杜正朕,王琳,包云轩,等. 典型滩涂植被米草和芦苇叶片高光谱特征分析[J]. 中国农业气象,2001,22(17):3421—3434.
- [7] Schmidt K S, Skidmore A K. Exploring spectral discrimination of grass species in African rangelands[J]. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22(17):3421—3434.
- [8] Mansour K, Mutanga O, Everson T, *et al.* Discriminating indicator grass species for rangeland degradation assessment using hyperspectral data resampled to AISA Eagle resolution[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2012, 70(2):56—65.
- [9] 周俊.“以草为本、草业优先”——川西北牧区可持续发展的新路径[J]. 农村经济,2011(5):113—115.
- [10] 胡海霞. 川西藏区“三生”空间分析与优化研究——以雅江县为例[D]. 四川:四川师范大学,2018.
- [11] 周青平,干友民. 川西北草地主要野生植物图谱[M]. 北京:科学出版社,2016.
- [12] 张振万,韦直,夏振岱,等. 中国植物志[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [13] 杨钧森,杨贵军,徐波,等. 田间作物NDVI测量仪可靠性分析及标定环境研究[J]. 农业工程学报,2019,35(8):230—236.
- [14] 童庆禧,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.
- [15] 王志辉,丁丽霞. 基于叶片高光谱特性分析的树种识别[J]. 光谱学与光谱分析,2010,30(7):1825—1829.
- [16] 程彦林,王正军,洪剑明. 野鸭湖湿地牛鞭草不同覆盖度的光谱特征分析[J]. 首都师范大学学报(自然科学版),2013,34(6):16—21.
- [17] 杨红飞,李建龙,穆少杰,等. 新疆三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.
- [18] 曹巍,邵全琴,喻小勇,等. 内蒙古不同利用方式温性草原植被光谱特征分析[J]. 草业学报,2013,21(2):243—252.
- [19] Gamon J A, Peñuelas J, Field C B. A narrow—waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency[J]. Remote Sensing of Environment, 1992, 41(1):35—44.
- [20] Huete A, Didan K, Minra T, *et al.* Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 83(1—2):195—213.
- [21] Kaufman Y J, Tanre D. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS—MODIS[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1992, 30(2):261—270.
- [22] Gitelson A, Merzlyak M N. Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. Leaves. Spectral Features and Relation to Chlorophyll Estimation[J]. Journal of Plant Physiology, 1994, 143(3):286—292.
- [23] Fourty T, Baret F, Jacquemoud S, *et al.* Leaf optical properties with explicit description of Its biochemical composition: direct and inverse problems[J]. Remote Sensing of Environment, 1996, 56(2):104—117.
- [24] 栗旭升. 基于3D残差卷积神经网络算法的遥感树种识别[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2020.
- [25] Gao B C. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space[J]. Remote Sensing of Environment, 1996, 58(3):257—266.
- [26] 胡远宁,崔霞,孟宝平,等. 甘南高寒草甸主要毒杂草光谱特征分析[J]. 草业科学,2015,32(2):160—167.
- [27] 李吉碑. 异常检测在高光谱图像蔬菜农药点检测中的应用研究[D]. 长沙:国防科学技术大学,2017.

Spectral characteristics of Northwest Sichuan's main alpine meadow vegetations

QIAO Cheng-jun¹, WEN Deng-xue², HAN Chun-tan³, Kang Lin-qi¹, WU Qi-fei¹

(1. Sichuan Forestry and grassland Inventory and Planning Institute, Chengdu 610081, China; 2. Sichuan Forestry Survey and Design Institute Co., Ltd, Chengdu 610081, China; 3. Qilian Alpine Ecology and Hydrology Research Station, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, CAS, Lanzhou 730000, China)

Abstract: 【Objective】 The spectral reflectance characteristics of grassland are the basis for using remote sensing data to study the physical and chemical characteristics of grassland vegetation and vegetation classification. Research on the spectral reflectance characteristics of different grassland plants provides theoretical reference and technical support for quantitative remote sensing and accurate identification of grassland vegetation. 【Method】 Portable ground object spectrometer was used to measure the field spectra of eight alpine meadow grass species: *Potentilla anserina*, *Kobresia pygmaea*, *Caltha scaposa*, *Taraxacum tibetanum*, *Ligularia euryphylla*, *Anaphalis flavescens*, *Polygonum macrophyllum* and *Oxytropis ochrocephala* in Yajiang, Ganzi, Sichuan Province from July to August 2021. The original spectral data were processed using the methods of first derivative, second derivative, continuum removal and vegetation index, and the spectral reflectance characteristics of eight alpine meadow species were revealed. 【Result】 The results showed that compared with the spectral characteristic parameters of different grassland plants, such as "green peak position", "green peak amplitude", "Red Valley position", "Red Valley amplitude", "red edge amplitude", "red edge area", "absorption peak area", "absorption peak symmetry", the Hyperspectral Vegetation index was easier to distinguish these 8 types of grassland vegetations. NDVI and mSR705 indexes of 8 plants were consistent, and the index values as follow: *Taraxacum tibetanum* > *Oxytropis ochrocephala* > *Kobresia pygmaea* > *Potentilla anserina* > *Polygonum macrophyllum* > *Caltha scaposa* > *Ligularia euryphylla* > *Anaphalis flavescens*. The mSR705 index values were obviously different among the 8 alpine meadow vegetations and easy to distinguish from each other. 【Conclusion】 Using different methods to analyze the spectral reflectance characteristics of grassland plants can effectively distinguish different types of grassland vegetation. This paper provides theoretical support for applying hyperspectral remote sensing in vegetation classification, grassland condition investigation and dynamic monitoring of grassland resources.

Key words: alpine meadow; spectral characteristics; spectral derivative; continuum removal; vegetation index

(责任编辑 靳奇峰)