

库布齐沙漠东缘荒漠藻生物结皮光谱特性研究

杨光¹, 李庆和²

(1. 内蒙古农业大学生态环境学院, 呼和浩特 010019;

2. 内蒙古水事监理服务中心, 呼和浩特 010020)

摘要: 根据测定研究区各种地物的光谱数据, 分析了内蒙古林科院达拉特旗沙漠综合科学研究所不同年份接种的荒漠藻黑色、绿色结皮及裸沙、沙打旺、油蒿、沙柳的光谱特性及其变化规律。研究结果表明: 三种植物光谱曲线与健康植被光谱曲线相近, “红边”位置明显, 荒漠藻黑色、绿色结皮及裸沙的光谱反射率变化比较平缓; 荒漠藻绿色结皮表现出绿色植物所具有的光谱曲线变化特点; 荒漠藻黑色与绿色结皮光谱反射率相比, 总的变化趋势为: 350~710nm 之间, 黑色结皮光谱反射率较绿色结皮高, 710~1350nm 之间, 黑色比绿色结皮的光谱反射率低。

关键词: 光谱特性; 荒漠藻; 人工生物结皮; 库布齐沙漠

中图分类号: O433.1

Study on the Spectral Characteristics of Desert Algae Artificial Biological Crust in the East Edge of Kubuqi Desert

YANG Guang¹, LI Qinghe²

(1. College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019;

2. Inner Mongolia Water Supervision Center, Hohhot 010020)

Abstract: According to the spectral data of the various objects measured in the study area, analyzed the spectral characteristics and its variation rules of black and green desert algae crust, bare sand, adsurgens, oil Artemisia, Salix inoculated in different years in Inner Mongolia Academy of Forestry Dalateqi Desert Research Station. The results showed that the spectral curves of three kinds of plants are similar to the spectral curve of healthy vegetation. "red edge" position is obvious, the spectral reflectance changes of black and green desert algae crust and bare sand are relatively gentle; The spectral characteristics of green desert algae crust are similar to green plants; The trend of spectral reflectance changes compared between black and green desert algae crust is that black crust is higher than green crust between 350 to 710nm, and lower than it between 710~1350nm.

Keywords: the Spectral Characteristics; Desert Algae; Artificial Biological Crust; Kubuqi Desert

0 引言

荒漠地表生物结皮是由土壤微生物、藻类、地衣和苔藓等孢子植物类群与土壤形成的有机复合体, 它的形成使土壤表面在物理、化学和生物学特性上均明显不同于松散沙土, 具有较强的抗风蚀、水蚀功能, 也是干旱荒漠区植被演替的重要基础^[1-3]。20 世纪 80 年代以来, 伴随着沙漠化威胁的日益加重, 生物结皮在荒漠生态系统中的作用愈发突出, 生物结皮所具有的生态功能亦引起了学者的普遍重视, 并逐渐成为荒漠地区生态研究的热点。研究者分别从地表生物结皮的发育及生物结皮对土壤入渗、植物生长、土壤抗冲性、土壤微生物的影响等方面进行了研究与探讨^[4-11], 而对荒漠地表生物结皮的光谱特性研究较少。本文以库布齐沙漠东缘荒漠藻人工生物结皮为研究对象, 对不同年份接种的黑色与绿色藻结皮进行地物光

基金项目: 教育部新教师基金项目(2009151520005); 内蒙古自然科学基金项目(2011BS0608)

作者简介: 杨光, (1974-), 男, 汉族, 博士, 副教授, 主要研究方向: 荒漠化遥感监测。E-mail: yg331@126.com

谱测定，并与研究区裸沙及典型植物进行对比，分析其光谱特性，找出其变异规律，不仅是建立地面光谱数据与遥感图像空间光谱数据之间的桥梁，也是提高地物识别精度和信息定量反演精度的基础。

1 研究区概况

研究区位于库布齐沙漠东缘内蒙古林科院达拉特旗沙漠综合科学研究所，即达拉特旗白土梁林场解放滩作业区，地理位置 $N40^{\circ}21'30'' \sim 40^{\circ}22'30''$ ， $E109^{\circ}50'30'' \sim 109^{\circ}51'50''$ 。气候属中温带大陆性季风气候，年平均降水量 240~360mm，年平均蒸发量为 2160mm。极端最高气温 40.2°C ，极端最低气温 -34.5°C ， $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年平均积温为 3197.4°C 。无霜期为 58d。8 级以上大风日数 27d，扬沙日数 58d，多出现在 3~5 月，年平均风速 3.3m/s，最大瞬时风速达 30m/s。地势南高北低，起伏不平。立地类型主要有流动沙地，固定、半固定沙地和丘间地。主要植物种有寸苔草、披碱草、沙米、油蒿、沙打旺等，植被盖度为 30~60%，森林植被以人工林为主，主要有杨树、沙枣、沙柳等。2002~2007 年，研究所分别对所属区域沙地进行了荒漠藻人工喷播接种，藻种以具鞘微鞘藻 (*Microcoleus vaginatus*) 和爪哇伪枝藻 (*Scytonema javanicum*) 为主，治沙效果良好，并通过国家专家组评审验收。

2 研究方法及数据处理

2.1 研究区选取

分别选取 2002 年、2003 年、2004 年、2005 年和 2007 年荒漠藻人工结皮喷播接种区作为光谱数据采集点，每个接种区黑色与绿色荒漠藻结皮分别选择 2 个典型样区，样区荒漠藻结皮盖度均为 50~60%，每个典型样区按梅花形布设测定 5 个地物光谱数据。

2.2 观测仪器

本研究采用的是由美国 Spectra Vista 公司生产的 SVC HR-1024 便携式地物光谱仪 (Field Portable Spectroradiometers)，有效光谱范围在 350~2500nm，通道数为 1024，光谱分辨率为：350 - 1000 nm 内 $\leq 3.5\text{nm}$ ，1000 - 1850 nm 内 $\leq 8.5\text{nm}$ ，1850 - 2500 nm 内 $\leq 6.5\text{nm}$ ，最小积分时间 1ms，信号采集方式采用蓝牙传输。

2.3 光谱数据采集及处理

2.3.1 光谱数据采集

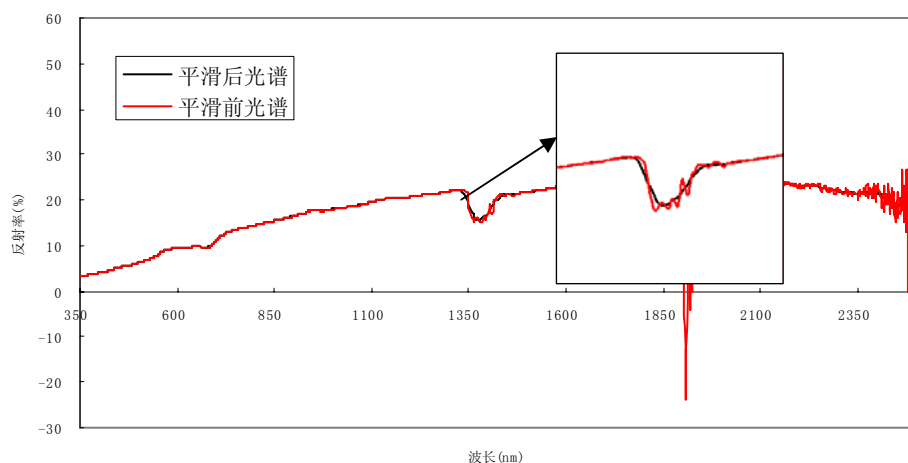
野外地物光谱特性测量受太阳高度角和天气状况的影响较大。为了克服太阳高度角变化对测量结果的影响，选择每天 10:00~14:00 为野外测量时间。在 2012 年 8 月 17 日~8 月 19 日天气晴朗无风的时段进行了研究区地物光谱测量。每个全光谱数据测量时间设定为 5s，地物光谱测量前首先对光谱仪进行暗电流采集和白板标定，以后每更换一次地点，进行一次白板标定。测量高度即探头距离地物 60cm，每类地物测量均在 10 分钟内完成 10 次测量，取其平均值作为该类地物的反射率。

2.3.2 光谱数据融合

首先利用地物光谱仪自带的 SVC HR-1024 软件对研究区变异较大的地物光谱曲线进行剔除，然后利用该软件的 Overlap/Matching 功能对数据重叠部分进行匹配，再利用 Merge 功能对地物光谱数据进行融合。

80 2.3.3 光谱数据平滑

由于光谱仪波段间对能量相应上的差异,使光谱曲线总存在一些噪声,为得到平衡与概略的变化,需平滑波形,以去除包含在信号内的少量噪声。实践表明:如果噪声频率较高,其量值也不大,用平滑法可在一定程度上降低噪声。常用的平滑方法有移动平均法、静态平均法、傅立叶级数近似等,其大部分方法是基于低通滤波,使用低通滤波保留低频部分的同时消除高频部分,以达到平滑和去噪的作用。本文采用 9 点移动平滑法对采集的地物光谱数据进行平滑处理。数据平滑在遥感影像处理软件 ENVI/IDL 支持下完成。利用 IDL 中的 Smooth 函数编写 9 点平滑代码,在 ENVI 中通过“Spectral”菜单下的“Spectral Math”,调用 9 点平滑函数对实测光谱数据进行平滑处理。平滑处理前后效果见图 1。



90

图 1 光谱平滑处理效果对比图

Fig1. Comparison chart of spectral smoothing effect

2.3.4 剔除水汽吸收波段

由于大气中水汽的强烈吸收,地面光谱和空中遥感数据在水汽吸收波段基本都是噪声。为使野外地面测量结果与今后遥感数据相匹配,需剔除水汽吸收峰影响严重的波段区域,去除明显错误波段数值。通过借鉴有关文献结论^[12]结合 SVC 地物光谱仪数据采集特点,具体剔除波段范围为:1350~1417nm, 1797~1971nm, 2470~2500nm。

95

剔除水汽吸收前后光谱曲线比较见图 2。

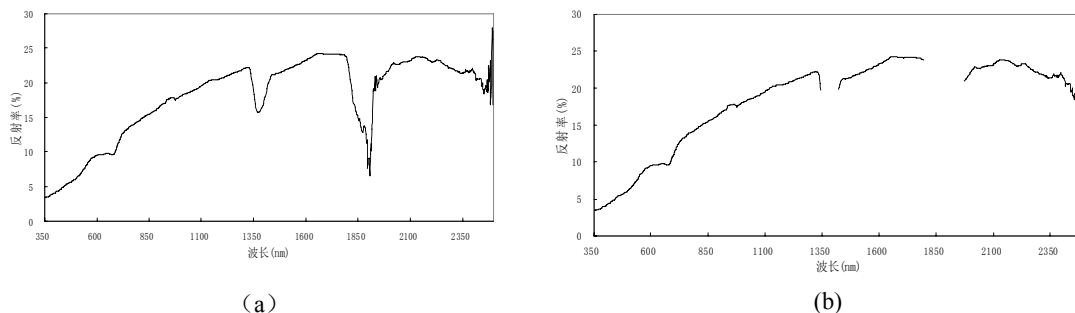


图 2 剔除水汽吸收波段前后光谱曲线对比图

(a) 剔除水汽吸收波段前光谱曲线; (b) 剔除水汽吸收波段后光谱曲线

100

Fig2. Comparison chart of spectral curves before and after excluding water vapor absorption band
(a) Spectral curves before excluding water vapor absorption band; (b) Spectral curves after excluding water vapor absorption band

3 结果与分析

3.1 荒漠藻黑色结皮、绿色结皮与裸沙地及典型植物光谱特性分析

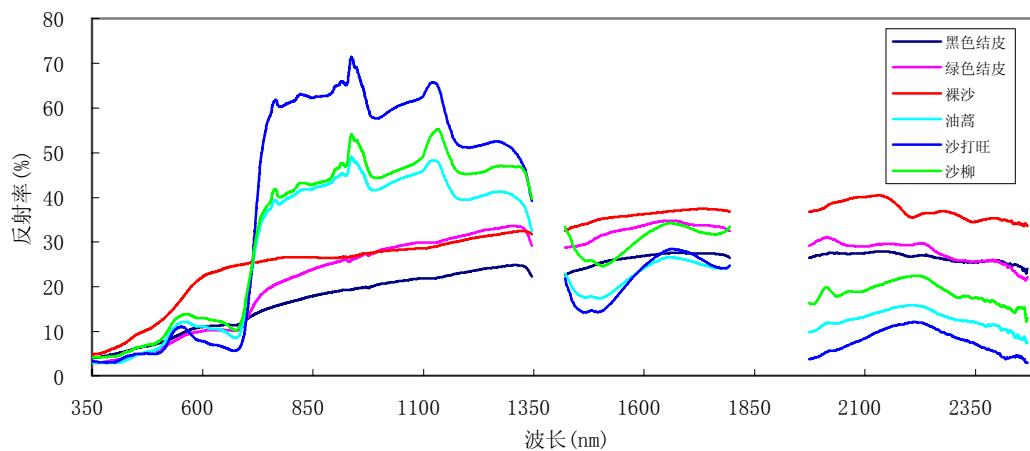


图 3 荒漠藻黑色、绿色结皮与裸沙及典型植物光谱曲线变化图

Fig3. Spectral curves of black and green desert algae crust, bare sand and the typical plants

健康植被的光谱曲线有着明显的特点：在可见光的 550nm 附近，有一个反射率为 10%~20% 的小反射峰；波长在 450nm~650nm 附近，有两个明显的吸收谷，这主要由叶子的叶绿素所决定；波长在 700~800nm 之间是一个陡坡，反射率急剧增高，在高光谱研究中它被称为植被“红边”，是植被具有诊断性的光谱特征^[13,14]，“红边”的位置、高度和斜率会因植被的不同及同一植被不同生长状况而存在差异；波长在 800~1300nm 之间是一个相对平坦的较高反射率区域，它主要由植被的细胞构造所决定；在 1450nm、1950nm、2600~2700nm 处一个吸收谷，主要由叶子的细胞液、细胞膜及吸收水分所形成。

图 3 中研究区实测的油蒿、沙打旺和沙柳的光谱曲线，其光谱特性与上面各波长处的分析一致，与荒漠藻生物结皮和裸沙相比，“红边”不仅存在而且有着明显的差异，“红边”位置反射率由 10% 左右急剧增加到 45~65%，因此在植被分类及地物光谱重建时应分别对待。

荒漠藻黑色、绿色结皮及裸沙的光谱反射率变化比较平稳，裸沙光谱反射率在 350nm~600nm 处有明显增高，600nm 后光谱反射率呈缓慢增加趋势。荒漠藻黑色结皮由于表面呈灰黑色而具有相对于绿色结皮和裸沙较小的反射率。1970~2470nm 之间，三种典型植物光谱曲线较荒漠藻黑色、绿色及裸沙结皮光谱反射率低，说明在该波段范围三种典型植物具有较强的吸收能力。

3.2 不同接种年份荒漠藻黑色结皮光谱特性分析

2002~2007 年接种的荒漠藻黑色结皮光谱曲线对比见图 4。

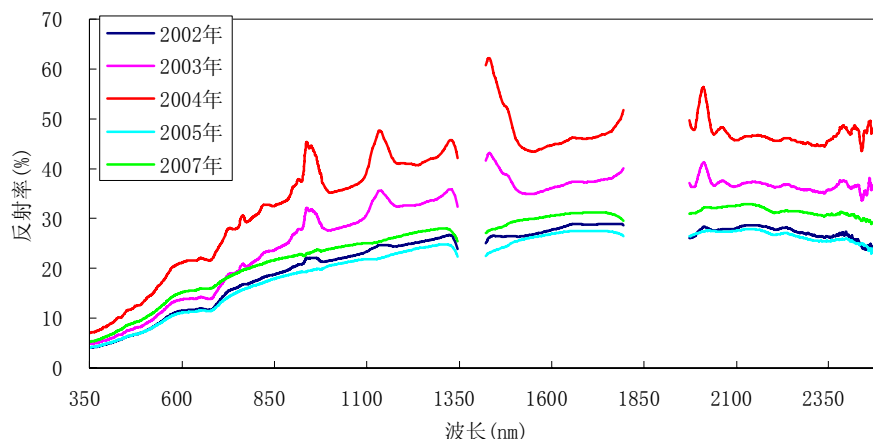


图 4 不同接种年份荒漠藻黑色结皮光谱曲线变化图

Fig4. The spectral curve chart of black desert algae crust inoculated in different years

由图 4 分析可知, 2002~2007 年接种的荒漠藻黑色结皮光谱反射率在 350~2500nm 全波段变化规律基本相同, 光谱反射率均表现为 2004 年>2003 年>2007 年>2002 年>2005 年。据相关研究表明, 当生物结皮的植物体干燥时呈黑色或灰黑色, 湿润时呈绿色或黄绿色^[15]。黑色结皮由于光合色素的吸收作用使得生物结皮在 580-700nm 范围内的光谱曲线较为平坦。

2003 年与 2004 年接种的黑色藻结皮在 960nm 与 1150nm 出现 2 个波峰, 较接近于绿色植物, 说明在数据采集时, 虽然人眼分辨到的结皮呈黑色, 但其中亦含有一定成分的绿色结皮。2002 年、2005 年和 2007 年接种的黑色藻结皮波形变化比较平坦, 波峰波谷不明显, 在整个波段范围反射率较 2003 年、2004 年接种的结皮低, 是由于 2002 年、2005 年和 2007 年接种的样区水分条件较 2003 年、2004 年接种的样区差, 空地杂草较少, 结皮更加干燥, 颜色更深, 吸收更强烈。

3.3 不同接种年份荒漠藻绿色结皮光谱特性分析

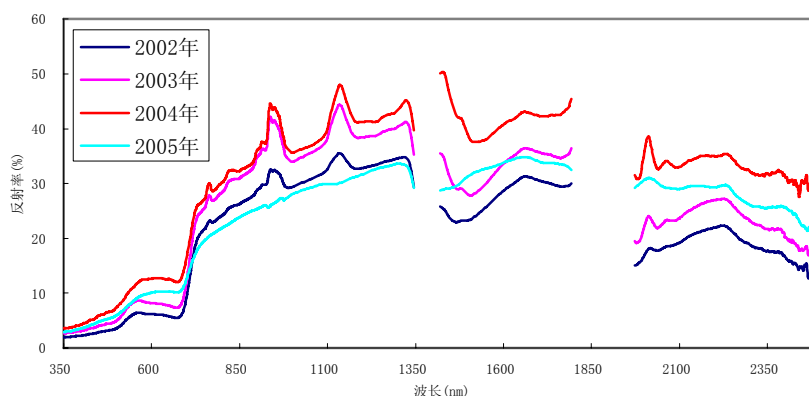


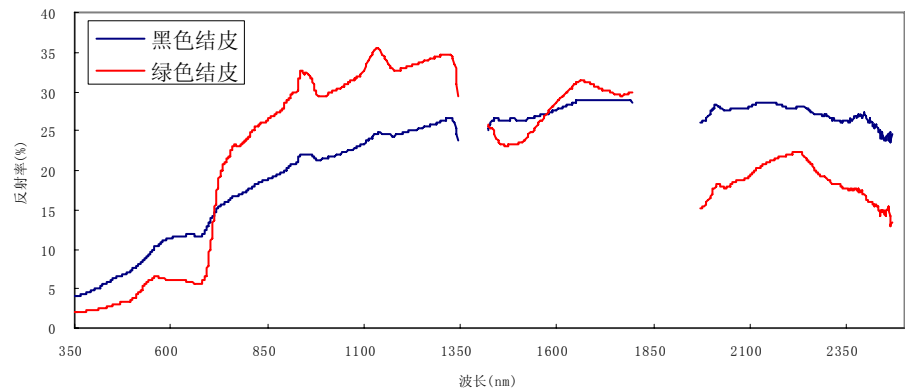
图 5 不同接种年份荒漠藻绿色结皮光谱曲线变化图

Fig5. The spectral curve chart of green desert algae crust inoculated in different years

图 5 为不同接种年份荒漠藻绿色结皮光谱曲线变化图。由图 5 分析可知, 2002~2005 年接种的荒漠藻绿色结皮均表现出绿色植物所具有的光谱曲线变化特点, “红边”位置明显但不如高等绿色植物反射率变化剧烈。在 580-700nm (黄光~红光) 范围内, 由于光合色素

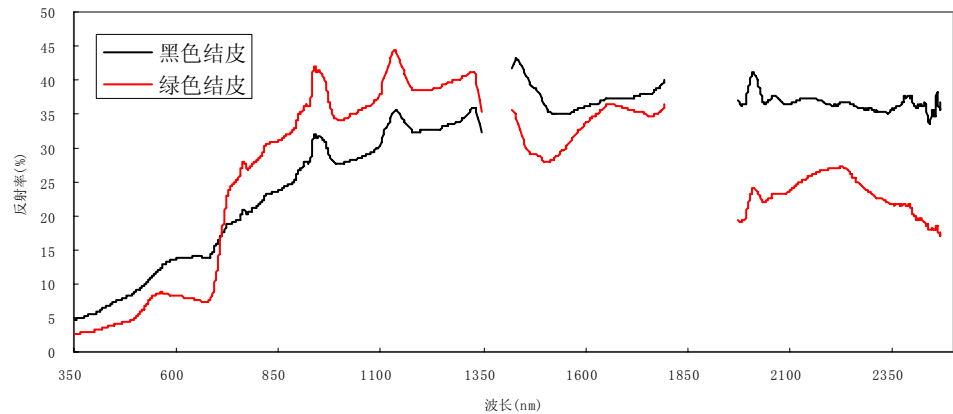
的吸收作用增强，光谱曲线更趋于平缓，而在 960nm 与 1150nm 两处出现明显的反射波峰（2005 年除外），2005 年接种的荒漠藻样地，颜色虽然呈现绿色，但可能含有相对较多的黑色结皮。

3.4 不同接种年份荒漠藻黑色与绿色结皮光谱特性分析



155

图 6 2002 年接种荒漠藻黑色与绿色结皮光谱曲线变化图
Fig6. The spectral curve chart of black and green desert algae crust inoculated in 2002 year



160

图 7 2003 年接种荒漠藻黑色与绿色结皮光谱曲线变化图
Fig7. The spectral curve chart of black and green desert algae crust inoculated in 2003 year

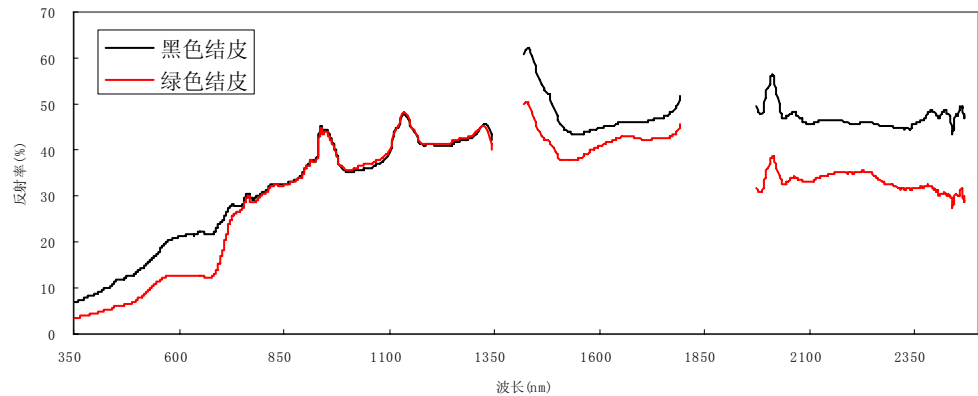


图 8 2004 年接种荒漠藻黑色与绿色结皮光谱曲线变化图
Fig8. The spectral curve chart of black and green desert algae crust inoculated in 2004 year

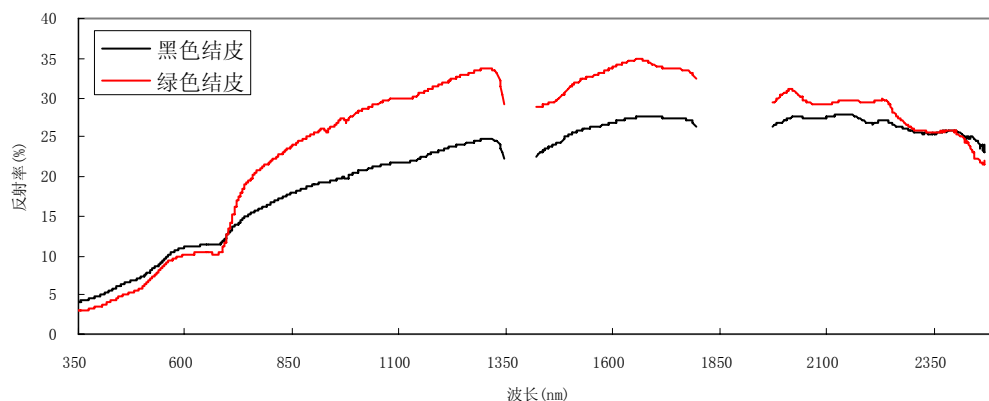


图 9 2005 年接种荒漠藻黑色与绿色结皮光谱曲线变化图
Fig9. The spectral curve chart of black and green desert algae crust inoculated in 2005 year

图 6~9 为 2002~2005 年接种的黑色结皮与绿色结皮光谱曲线对比图。由图可以看出，绿色结皮“红边”位置较黑色结皮明显。黑色与绿色结皮光谱反射率相比，总的变化趋势为：350~710nm 之间，由于叶绿素的吸收作用，绿色结皮光谱反射率较黑色结皮低，二者曲线在 710nm 处有一交点。710~1350nm 之间，黑色结皮比绿色结皮的光谱反射率要明显偏低，表明这一波段区间，黑色结皮的黑色素对太阳光吸收强烈。在其他波段区间变化规律不太明显。

4 结论与讨论

生物结皮作为固定、半固定沙漠中重要的地表覆盖类型，在防风固沙、改善生态环境等方面发挥着极其重要的作用。本文以内蒙古林科院达拉特旗沙漠综合科学实验站内的人工接种荒漠藻结皮为研究对象，实地采集了荒漠藻黑色、绿色结皮地物光谱数据，并与裸沙、油蒿、沙打旺、沙柳地物光谱进行了比较分析。结果表明：研究区油蒿、沙打旺及沙柳的光谱曲线与健康绿色植物相似；绿色结皮的光谱特性与绿色植物相似，“红边”位置明显但不如绿色植物反射率变化剧烈。350~710nm 波段范围内黑色结皮反射率高于绿色结皮，710nm 以后，低于绿色结皮。

荒漠藻结皮颜色随着地表水分的变化而变化。地表干燥时，结皮颜色表现为黑色或灰黑色，地表湿润时，结皮表现为绿色，其光谱特性上存在着较大的差异性，因此保持同一土壤水分条件下测定黑色与绿色结皮光谱数据，将会使研究结果更具有代表性。另外，生物结皮地物光谱数据与高光谱遥感数据相结合，对于评价沙漠沙地的治理效果将具有重要的意义。

[参考文献] (References)

- [1] 魏江春.沙漠生物地毯工程-干旱沙漠治的新途径[J].干旱区研究, 2005, 22 (3): 287-288.
- [2] Loria M,Hennstad I. Moss capsules as food for the harvestant messor[J].the bryologist,1980,83:524-525.
- [3] 饶本强,刘永定,胡春香等.人工藻结皮技术及其在沙漠治理中的应用[J].水生生物学报, 2009: 33 (4): 756-761.
- [4] 李莉,孟杰,杨建振等.不同植被下生物结皮的水分入渗与水土保持效应[J].水土保持学报, 2010, 24 (5): 105-109.
- [5] 张丙昌,张元明,赵建成等.古尔班通古特沙漠生物结皮不同发育阶段中藻类的变化[J].生态学报, 2009, 29 (1): 9-17.
- [6] 张侃侃,卜崇峰,高国雄.黄土高原生物结皮对土壤水分入渗的影响[J].干旱区研究, 2011, 28 (5): 808-812.

- [7] St Clair L L, Johansen J R. Introduction to the symposium on soil crust communities[J]. Great Basin Naturalist, 1993, 53(1): 1-4.
- 200 [8] 王蕊, 朱清科, 赵磊磊等. 黄土高原土壤生物结皮对植物种子出苗和生长的影响[J]. 干旱区研究, 2011, 28(5): 800-807.
- [9] 冉茂勇, 赵允格, 刘玉兰. 黄土丘陵区不同盖度生物结皮对土壤抗冲性研究[J]. 中国水土保持, 2011, 12: 43-45.
- 205 [10] 边丹丹, 廖超英, 孙长忠等. 黄土丘陵区土壤生物结皮对土壤微生物分布特征的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(4): 109-114.
- [11] 吴永胜, 哈斯, 李双权. 毛乌素沙地南缘沙丘生物结皮中微生物分布特征[J]. 生态学杂志, 2010, 29(8): 1624-1628.
- [12] 夏涛. 生态水遥感定量研究中野外地物光谱数据采集及处理[D]. 成都理工大学硕士学位论文, 2007.
- [13] 宫鹏, 谱瑞良. 高光谱遥感及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- 210 [14] 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.
- [15] 王红玲, 张元明. 古尔班通古沙漠生物结皮中藓类植物形态解剖特征[J]. 干旱区研究, 2008, 25(3): 363-370.