

DOI: 10.7522/j.issn.1000-0240.2018.0084

GU Jilin, LIU Miao, TANG Hongshan. Analysis of the optical properties of typical surface emissivity based on the data of MODIS satellite telemetry [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2018, 40(4): 784-791. [顾吉林, 刘淼, 汤宏山, 等. 基于MODIS卫星遥感图像数据典型地表发射率光学特性分析[J]. 冰川冻土, 2018, 40(4): 784-791.]

# 基于 MODIS 卫星遥感图像数据典型地表发射率 光学特性分析

顾吉林, 刘淼, 汤宏山

(辽宁师范大学 物理与电子技术学院, 辽宁 大连 116029)

**摘要:** 地表发射率是红外遥感中的重要参量,也是辐射传输中的重要参数。基于 MODIS 卫星遥感图像数据,利用 HDF 插件获取典型地表温度参数,具体包括沙地、黄土、草坪、江水、冰面和雪地。在 ENVI Classic 软件环境下,针对 2015 年 12 月至 2016 年 8 月不同区域、不同季节的典型地表进行 6 个红外波段发射率数据获取,研究不同季节典型地表的发射率随波长以及温度的变化规律。研究表明:冬季典型地表发射率参数最高且变化范围小在 0.02 内。沙地的发射率数值平均在 0.870~0.990 之间;草坪、黄土和江水的发射率数值平均在 0.910~0.990 之间,冰面和雪地的发射率数值平均在 0.965~0.985 之间。草坪、沙地、黄土、江水、雪地和冰面地表发射率在波长 3~5  $\mu\text{m}$  范围内随温度成波浪型分布;草坪、江水、雪地和冰面地表发射率在波长 8~12  $\mu\text{m}$  范围内随温度不变化。

**关键词:** 地表发射率;地表温度;MODIS;光学特性

**中图分类号:** P407      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-0240(2018)04-0784-08

## 0 引言

发射率是表征物质表面辐射能力强弱的物理量,是物体自身的固有特性。本文主要研究地表发射率的光学特性、不同季节典型地表的发射率随波长以及温度的变化规律。随着现代遥测技术的不断改进,越来越多的卫星辐射观测资料通过数据同化系统被应用到数值天气预报领域中,环境和突发气象灾害的预报预警成为各级政府和社会公众广泛关注的问题之一<sup>[1-2]</sup>。地表温度作为众多基础学科和应用领域的一个关键参数,是大气、海洋、陆地和太阳辐射等多圈层之间相互作用的综合结果,在数值预报、全球环流模式以及区域气候模式等研究领域中得到广泛的应用<sup>[3-5]</sup>。地物的辐射温度、发射率(又名比辐射率)和环境辐照度是影响地表温度的基本因素,自然地物的红外特征数据在伪装、遥感等领域有着重要的作用<sup>[6-8]</sup>。对于温度为 300 K

左右的常温地表,0.01 的发射率误差会导致地表温度 1 K 以上的反演误差<sup>[9]</sup>。

地表发射率是地表特征的重要参数,物体发射率  $\varepsilon_\lambda$  可定义为在给定波长  $\lambda$  和温度  $T$  下,物体的辐射出射度  $R_\lambda(T)$  与相同温度相同波长下绝对黑体的辐射出射度  $B_\lambda(T)$  的比值,其值介于 0~1 之间。发射率不仅依赖于地表物体的组成成分,而且与物体的表面状态(表面粗糙度等)及物理性质(介电常数、含水量、温度等)有关<sup>[10]</sup>。因此,  $\varepsilon_\lambda$  可概括为地物类型、温度、波长三者的函数。

目前国内外专家学者针对地表发射率研究取得一定的成果,张丰等<sup>[11]</sup>研发了一种测量红外光谱发射率的实验装置,该装置主要对温度从 473~1 273 K 以及波长从 0.8~2.2  $\mu\text{m}$  的近红外光谱发射率进行测量。郑远志等<sup>[12]</sup>研究中国西北三类典型裸土下垫面地表宽波段发射率变化特征,发现戈壁、沙漠和黄土三个观测站点地表长波辐射和地表

收稿日期: 2018-04-23; 修订日期: 2018-07-15

基金项目: 大连市高层次人才创新支持计划项目(2017RQ141); 国家自然科学基金项目(11547234); 辽宁省创新创业教育改革试点专业项目; 辽宁省普通高等教育本科教学改革研究项目“虚拟结合应用型物理实验教学体系的构建与实践”资助

作者简介: 顾吉林(1981-), 男, 辽宁大连人, 讲师, 2012 年在大连海事大学获博士学位, 从事大气辐射传输特性研究与光电检测技术研究。E-mail: gujilin2003@163.com.

温度变化波动较小。意大利 Carlo 等<sup>[13]</sup>提出了一种由单色高温计提供半经验公式的光谱发射率测量方法,并验证了半经验公式预测的实验发射率与实际发射率的一致性。李火青等<sup>[14]</sup>提出了基于 FTIR 和 MODIS 数据估算新疆沙漠宽波段地表比辐射率的估算模型,该估算模型对估算新疆沙漠区域宽波段地表比辐射率有较高的适用性。

因为发射率误差对气溶胶光学厚度反演有影响,而发射率又是随着波长和温度变化的物理量,目前发射率与温度相关关系的研究较少。本文通过阅读相关文献资料对发射率的测量方法进行了分析研究,提出通过 MODIS 数据获取地表发射率以及温度的方法,利用 ENVI 5.1 软件和 HDF 插件读取 MODIS 遥感影像数据,对草坪、沙地、黄土、江水、冰面和雪地等典型的地物进行反演。通过对反演数据的统计分析,研究地表发射率随波长和地表温度的变化趋势,对红外传输等领域有重要意义。

## 1 数据来源与处理方法

### 1.1 数据来源

中分辨率成像光谱仪(MODIS)是 EOS 卫星上的一种星载仪器,将卫星观测到的实时数据无偿的播报给全世界的遥感数据能手。MODIS 的光谱域

很宽,共有 36 个光谱通道,从低至 0.4  $\mu\text{m}$  的可见光,到高至 14.4  $\mu\text{m}$  的热红外。MODIS 数据共有 44 种标准产品,按照数据产品特征可以划分为陆地数据产品、校正数据产品、海洋数据产品和大气数据产品。MODIS 数据的水平分辨率为 250 m (Band 1~2), 500 m (Band 3~7) 和 1 000 m (Band 8~36)。MODIS 每天当地时 10:30 AM、10:30 PM 过境,地表温度数据包含白天和夜晚<sup>[15-17]</sup>。

本文 MODIS 数据下载于 NASA 网站 <https://modis.gsfc.nasa.gov/>, 选择 MODIS 地表产品 MOD11B1 作为主要地表发射率和地表温度(LSE/LST)的数据获取,包含 6 个热红外波段分别为 20、22、23、29、31 和 32 通道。MOD11B1 属于 3 级产品(Level-3),即已经过定标定位,采用正弦投影将全球按照 10°经度和 10°纬度分片,全球陆地被分为 600 多个文件,每个 HDF 格式文件包含 17 个图层,具体情况如表 1 所示。

### 1.2 区域选择

地表发射率除具有明显的波谱特征外,其主要取决于植被覆被、土壤湿度、土壤纹理、矿物质组分以及冰雪。本文选取沙地、黄土、草坪、江水、冰面和雪地这 6 种典型地表进行研究,根据气候和地表类型不同等影响因素,为了提高发射率的精确

表 1 地表温度产品(MOD11B1)参数  
Table 1 Information of the LST product (MOD11B1)

图层	单位	位数	有效范围	系数
LST 白天	K	16	7 500 ~ 65 535	0.02
白天质量控制	bit	8	0 ~ 255	无
白天平均观测时间	h	8	0 ~ 120	0.2
白天平均天顶角	(°)	8	0 ~ 130	1.0(-65)
LST 夜晚	K	16	7 500 ~ 65 535	0.02
夜晚质量控制	bit	8	0 ~ 255	无
夜晚平均观测时间	h	8	0 ~ 120	0.2
夜晚平均天顶角	(°)	8	0 ~ 130	1.0(-65)
B20 发射率	无	8	1 ~ 255	0.002(0.49)
B22 发射率	无	8	1 ~ 255	0.002(0.49)
B23 发射率	无	8	1 ~ 255	0.002(0.49)
B29 发射率	无	8	1 ~ 255	0.002(0.49)
B31 发射率	无	8	1 ~ 255	0.002(0.49)
B32 发射率	无	8	1 ~ 255	0.002(0.49)
白天 5 km LST(由 1 km 累积)	K	16	7 500 ~ 65 535	0.02
夜晚 5 km LST(由 1 km 累积)	K	16	7 500 ~ 65 535	0.02
发射率质量控制	bit	8	0 ~ 255	无

度, 6 种典型地表分别选取 3~4 个不同地点。由于选取数据的空间分辨率为  $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ , 为了可以保持所选区域为特定地表类型, 故选取地表类型地表区域广阔的中心坐标作为研究区域, 具体取点情况如表 2 所示。温度是影响发射率的重要因素, 并且部分地表受季节影响, 因此针对不同的地表类型分别获取相应的季节的发射率数据, 以排除一些影响因素。由于草坪的茂密程度、枯萎程度都会对红外辐射发射率有一定的影响, 本文对草坪的研究主要集中在夏季 6 月至 8 月份; 阴雨天气的云层会影响 MODIS 数据的准确性, 因此, 本文对沙地、黄土的研究主要集中在春季 3 月至 5 月份, 忽略地表湿度对发射率的影响; 对于江水的研究集中于夏季 6 月至 8 月, 此时处于降水频繁期, 有利于选点; 冰面和雪地的发射率和温度的研究, 选取冬季 12 月至翌年 1 月。

表 2 典型地表地理位置信息

Table 2 Information of the typical surfaces in this paper

观测点	经度/E	纬度/N	地表类型
呼伦贝尔草原	119.5709°	49.1899°	草坪
鄂尔多斯草原	108.6361°	39.8295°	草坪
珠日河草原	121.5593°	44.2056°	草坪
月牙泉 1	94.6649°	40.0802°	黄土
月牙泉 2	94.7841°	40.0337°	黄土
大同土林	113.4920°	39.9531°	黄土
黄土高原	106.8158°	36.9438°	黄土
长江	114.3697°	30.6476°	江水
黄河	116.9779°	36.7276°	江水
鸭绿江	124.3764°	40.0270°	江水
松花江	126.4128°	45.7328°	冰面
牡丹江	129.6287°	44.5641°	冰面
嫩江	123.8555°	47.2377°	冰面
哈尔滨	126.2690°	45.4844°	雪地
黑河	127.4607°	50.1911°	雪地
齐齐哈尔	123.9209°	47.2222°	雪地
库木塔格沙漠	90.2045°	42.8382°	沙地
塔克拉玛干沙漠	83.4667°	38.8926°	沙地
巴丹吉林沙漠	102.3765°	39.4744°	沙地
腾格里沙漠	105.0033°	37.4824°	沙地

### 1.3 数据获取方法

数据获取包括地表温度数据获取以及地表发射率数据获取, 具体流程如图 1 所示。根据选择区域的经纬度信息通过卫星地图在 MODIS 数据发布官

网 (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>) 获取陆地标准产品 MOD11B1 数据以及下载 MODIS 数据及处理工具等相关产品。

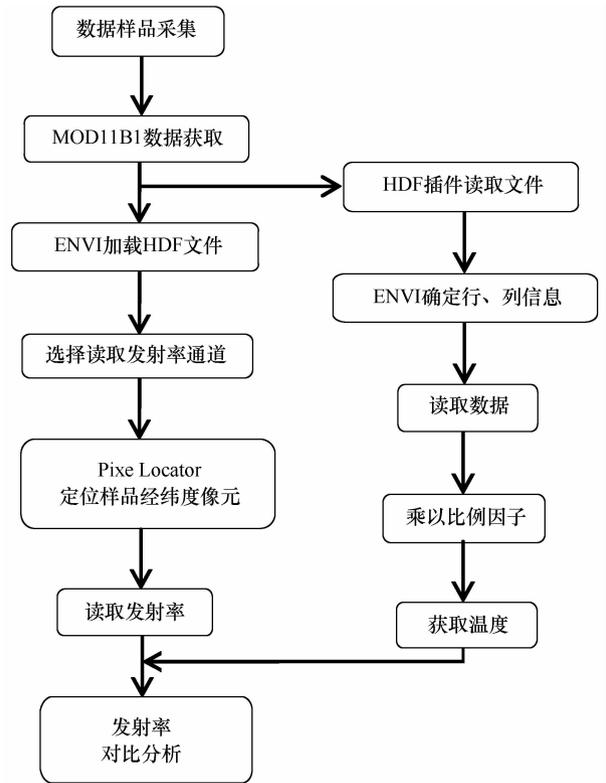


图 1 发射率的获取流程

Fig. 1 Acquisition flow chart of the emissivity

由于 MOD11B1 是已经经过辐射校正和大气校正后的数据产品, 因此可以用 ENVI 软件直接打开。选择 HDF 文件, 出现 MODIS 数据影像及 Emis20 ( $3.660 \sim 3.840\ \mu\text{m}$ )、Emis22 ( $3.929 \sim 3.989\ \mu\text{m}$ )、Emis23 ( $4.020 \sim 4.080\ \mu\text{m}$ )、Emis29 ( $8.400 \sim 8.700\ \mu\text{m}$ )、Emis31 ( $10.780 \sim 11.280\ \mu\text{m}$ ) 和 Emis32 ( $11.770 \sim 12.270\ \mu\text{m}$ ) 六个波段通道。然后选择需要读取的波段通道, 加载波段的影像信息, 即能获取所在地理位置的发射率数据。整体效果如图 2 所示。

通过 HDF 文件, 选取 LST\_Day\_6 km 的下拉选项, 可以得到  $200 \times 200$  的数字表格, 根据经纬度信息, 从而读取温度数据。该温度数据需要加权处理, 乘以比例因子, 即可得到该位置的温度值, 单位为 K。温度数据处理过程如图 3 所示。

## 2 数据结果分析

### 2.1 发射率参数分析

针对选择区域, 本文获取了 2015 年 12 月至

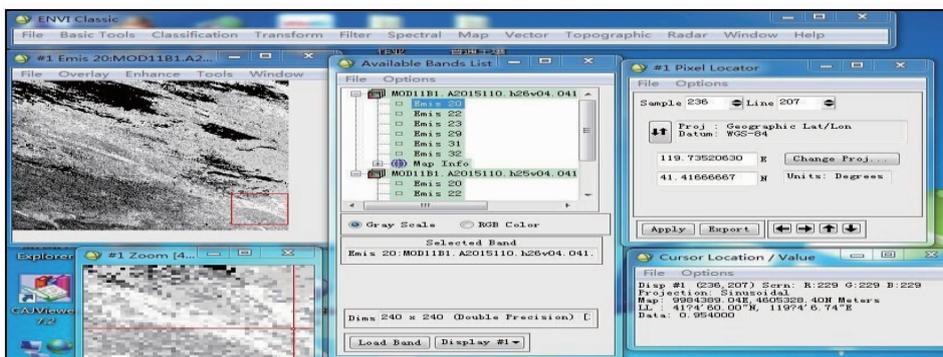


图 2 发射率的获取过程示意图

Fig. 2 The Schematic of emissivity acquisition

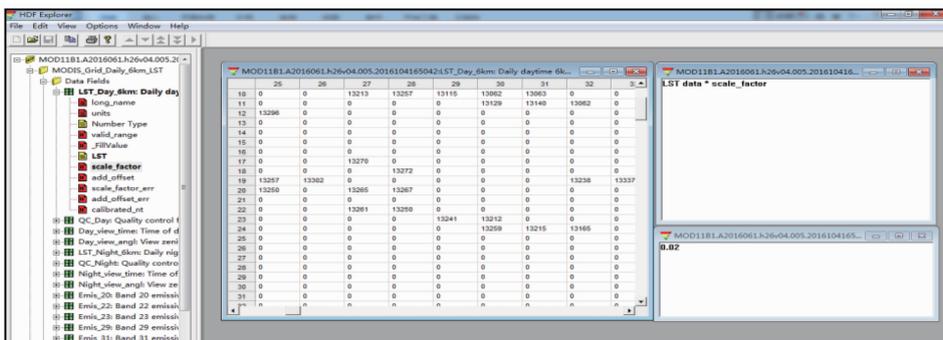


图 3 温度数据的获取过程示意图

Fig. 3 The Schematic of temperature acquisition

2016 年 8 月 6 个波段的地表发射率数据, 包括重复和缺失数据共 11 340 个指标样本。剔除异常数据, 利用 Excel 表格分别筛选整理各典型地表的数据, 所得发射率数据的平均值作为该月的平均值, 从而得到地表发射率随波长变化的折线图(图 4), 分析发射率的变化趋势。由于 MODIS11B1 遥感数据中的发射率数据包括 6 个波段通道, 为了便于作图和分析, 取每个波段通道的平均值为作图点, 波长分别为  $3.75 \mu\text{m}$ 、 $3.96 \mu\text{m}$ 、 $4.05 \mu\text{m}$ 、 $8.55 \mu\text{m}$ 、 $11.03 \mu\text{m}$ 、 $12.02 \mu\text{m}$ 。

2016 年春季腾格里沙漠沙地的地表发射率数值在  $0.870 \sim 0.990$  之间波动, 整个春季三个月发射率的变化趋势相同, 均在波长  $3.96 \mu\text{m}$  处达到最小值, 发射率数值由大到小的月份依次是 5 月、4 月、3 月, 波长为  $11.03 \mu\text{m}$  和  $12.02 \mu\text{m}$  的发射率数值不变。2016 年大同土林春季 3-5 月黄土地表的地表发射率随波长先减小后增大, 发射率的数值在  $0.910 \sim 0.990$  之间, 波长为  $3.75 \mu\text{m}$ 、 $3.96 \mu\text{m}$  和  $4.05 \mu\text{m}$  发射率数值在 0.01 的范围内浮动, 波长为  $8.55 \mu\text{m}$ 、 $11.03 \mu\text{m}$ 、 $12.02 \mu\text{m}$  的发射率数值逐渐增大但不随时间发生变化。2016 年夏季呼伦

贝尔草原草坪的发射率变化范围在  $0.940 \sim 0.990$  之间, 夏季的三个月发射率随波长的变化趋势相同, 地表发射率的数值先减小后增大, 波长为  $3.96 \mu\text{m}$  时地表发射率达到最小值。2016 年夏季黄河江水的发射率数值在  $0.910 \sim 0.990$  之间波动, 随波长先增大再减小然后逐渐增大, 在波长  $3.96 \mu\text{m}$  处出现极大值的峰值。2015 年冬季齐齐哈尔雪地的地表发射率随波长先减小后增大, 发射率数值在  $0.960 \sim 0.985$  之间浮动, 在波长  $4.05 \mu\text{m}$  处取得最小值。2015 年冬季嫩江冰面的地表发射率变化范围在  $0.965 \sim 0.985$  之间, 在波长为  $4.05 \mu\text{m}$  处取得最小值, 在 12 月-翌年 1 月波长为  $8.55 \mu\text{m}$  的发射率数值相同, 波长小于  $8.55 \mu\text{m}$  时 1 月份的发射率数值大于 12 月份, 波长大于  $8.55 \mu\text{m}$  时 1 月份的数值小于 12 月份。

冬季雪地和冰面地表发射率数值显高于其他地表覆被类型的发射率, 变化范围较小在 0.020 内。沙地发射率数值平均在  $0.870 \sim 0.990$  之间波动; 草坪、黄土和江水的发射率数值平均在  $0.910 \sim 0.990$  之间波动; 冰面和雪地的发射率数值平均在  $0.965 \sim 0.985$  之间波动。波长为  $8.55 \mu\text{m}$ 、 $11.3$

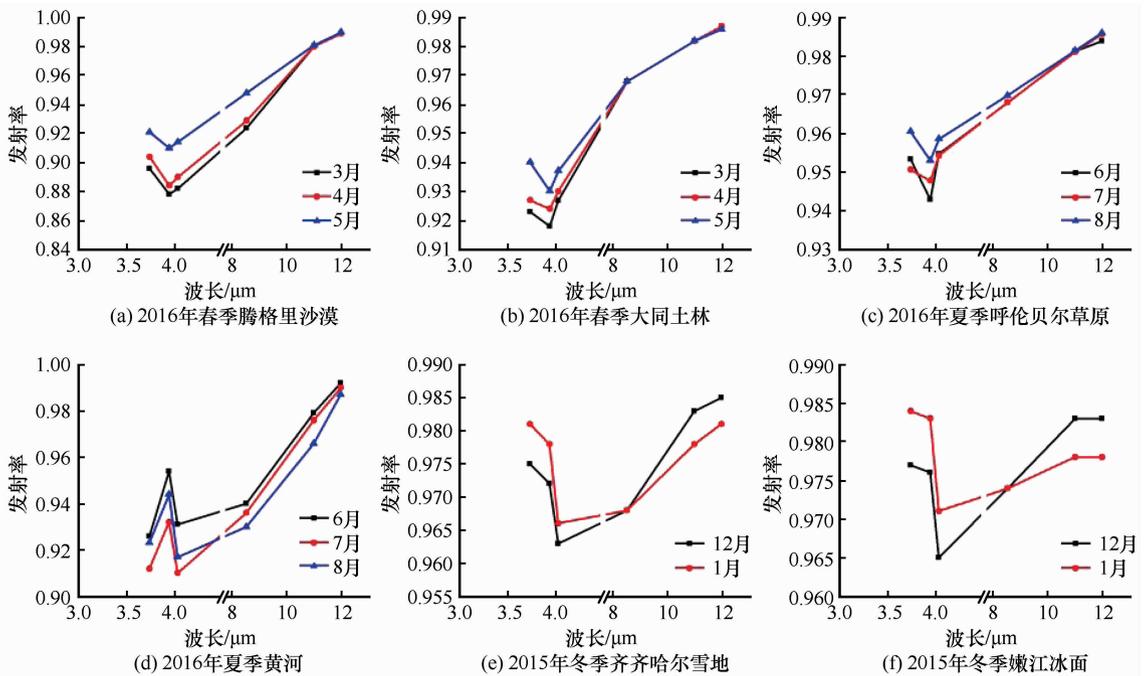


图4 典型地表发射率随波长变化曲线

Fig. 4 The curves of typical surface emissivity changing with wavelength [(a) Tengger Desert in 2016 (a), (b) earth forest of Datong in 2016, (c) Hulunbuir Grassland in 2016, (d) Yellow River in 2016, (e) Snow cover in Qiqihar in 2015, (f) Ice cover in Nenjiang River in 2015]

$\mu\text{m}$  和  $12.02 \mu\text{m}$  的发射率数值随着波长的增大而增大, 而  $3.75 \mu\text{m}$ 、 $3.96 \mu\text{m}$  和  $4.05 \mu\text{m}$  的地表发射率变化趋势随着地表的不同存在差异。

## 2.2 温度参数结果分析

根据区域选择, 本文共计获取 1 890 个地表温度数据点, 对其进行统计学分析删去重复及异常数据, 根据线性拟合对缺失的数据进行插值计算, 利用 Origin 做出地表发射率随温度的变化曲线, 分析发射率与温度的关系。

由图 5(a) 可知, 巴丹吉林沙漠 3 月沙地地表温度变化范围是  $288 \sim 304 \text{ K}$ 。31、32 波段通道的发射率与温度无关, 发射率的值分别恒为 0.964 和 0.972; 20、22、23、29 波段变化趋势相同, 发射率的总体趋势变化都呈波浪型变化趋势。第 29 波段通道的图像整体比其他三个波段通道图像突出, 即发射率数值整体偏高最大值为 0.932, 在  $303.44 \text{ K}$  处取得最小值为 0.880。由图 5(b) 可知 3 月月牙泉 2 黄土地表温度变化范围在  $285 \sim 306 \text{ K}$  之间。31、32 波段通道的发射率变化趋势基本与温度无关, 发射率的值分别恒为 0.964 和 0.972; 20、22、23、29 波段通道变化趋势相同, 发射率的总体趋势变化都呈波浪型变化趋势, 但 29 波段通道发射率数值整体偏高。由图 5(c) 可知 7 月份鄂尔多斯草原

草坪地表温度变化范围在  $298 \sim 325 \text{ K}$  之间。29、31、32 波段通道的发射率随温度变化的波动范围很小, 发射率数值分别趋近于 0.968、0.982 和 0.986; 20、22、23 波段通道变化趋势相同, 发射率的总体趋势变化都呈波浪型变化趋势, 且三个波段的发射率数值差距不大。第 20、22、23 波段通道的地表发射率均在  $316.2 \text{ K}$  处出现了极小值的峰值, 发射率的值分别为 0.914、0.920、0.910; 且三个波段的发射率均在  $298.68 \text{ K}$  处取得最小值, 最小值分别为 0.898、0.902、0.894。由图 5(d) 可知长江 7 月江水地表温度变化范围是  $299 \sim 314 \text{ K}$ 。20、22、23 波段通道变化趋势相同, 发射率的总体趋势变化都呈波浪型变化趋势; 29 波段通道的发射率的变化趋势与温度无关, 发射率的值恒为 0.930; 31、32 波段通道随温度变化地表发射率有轻微波动, 平均值分别为 0.978、0.986。如图 5(e) 所示, 齐齐哈尔 12 月雪地地表温度变化范围是  $254 \sim 266 \text{ K}$ 。第 20、22、23 波段通道发射率随温度变化较大, 但发射率随温度变化的趋势大致相同, 均为多峰分布; 第 29 波段通道发射率与温度无关, 发射率的值恒为 0.968; 第 31、32 波段通道发射率随温度变化波动不明显, 两个波段通道的发射率最小值分别为 0.980 和 0.982, 发射率最大值分别为 0.986

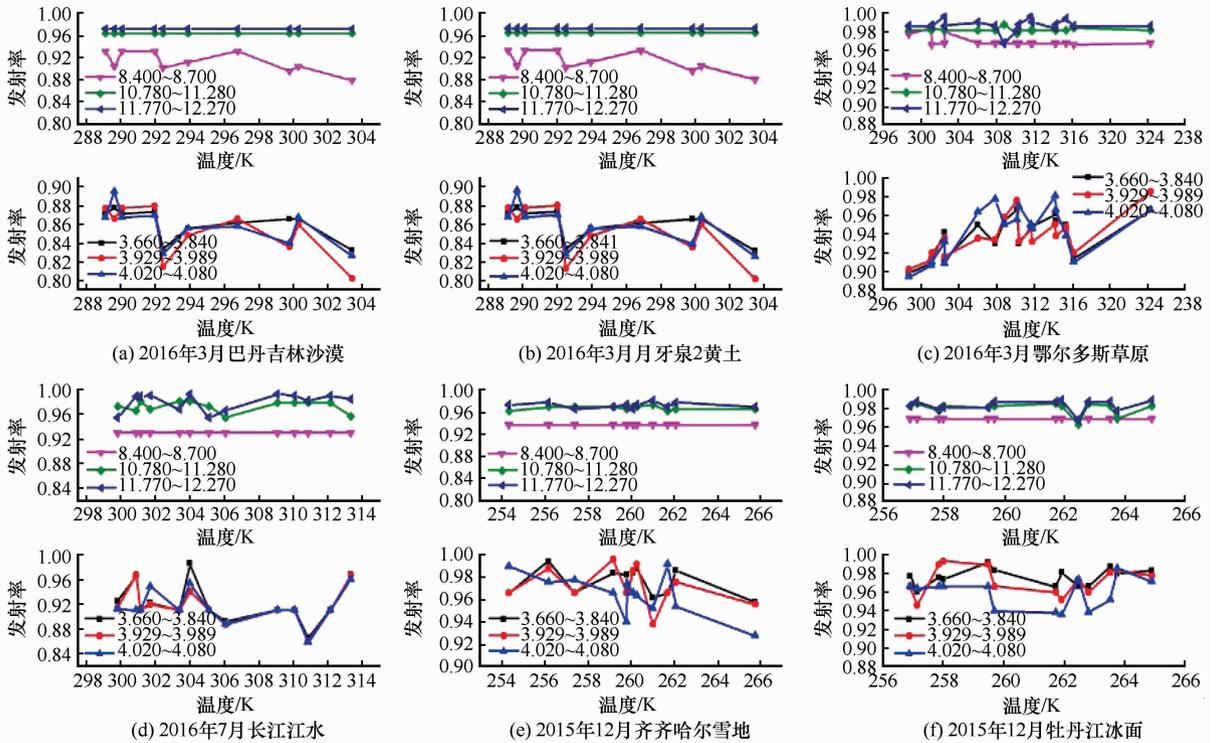


图5 典型地表发射率随温度变化曲线

Fig. 5 The curves of typical surface emissivity changing with temperature [(a) Badain Jaran Desert in March 2016, (b) Crescent Spring 2 in March 2016, (c) Ordos Grassland in July 2016, (d) Yangtze River in July 2016, (e) Qiqihar in December 2015, (f) Mudanjiang River in December 2015]

和 0.990。如图 5(f) 所示, 12 月牡丹江冰面地表温度变化范围在 256 ~ 265 K 之间。20、22、23 波段通道发射率随温度变化较大, 但发射率随温度变化的趋势大致相同, 均为多峰分布; 第 29 波段通道发射率与温度无关, 发射率的值恒为 0.968; 第 31、32 波段通道发射率随温度变化趋势几乎相同, 但 32 波段通道的发射率略大于 31 波段通道的发射率。两个波段通道的发射率均在 262.46 K 处取得最小值, 分别为 0.962 和 0.966, 发射率最大值分别为 0.984 和 0.988。

综上所述, MOD11B1 地表数据中包含的 6 个波段通道地表发射率随温度及地表类型的变化情况各不相同。20、22、23 波段通道发射率随温度成波浪型或多峰分布, 三个波段通道在不同典型地表下的变化趋势相同。29 波段通道除了沙地和黄土两个地表发射率随温度的变化而变化, 其余 4 个典型地表的发射率不随温度发生变化。31、32 波段通道的地表发射率整体上与温度无明显相关, 发射率波动在 0.02 之内。

### 3 结论

本文基于 2015 年 12 月至 2016 年 8 月份

MOD11B1 数据, 在 ENVI Classic 软件环境下, 对 6 种典型地表的 6 个波段通道进行发射率数据获取, 利用 Excel 分别筛选整理各典型地表的数据, 所得发射率数据的平均值作为该月的平均值, 将每个波段通道的波长取平均值作为作图点, 得到发射率数据随着波长变化的折线图, 分析发射率的变化趋势。

雪地和冰面地表发射率数值明显高于其他地表覆被类型的发射率, 波长为 8.55 μm、11.03 μm 和 12.02 μm 的发射率数值随依次增大, 而波长为 3.75 μm、3.96 μm 和 4.05 μm 的发射率变化趋势随着地表的的不同存在差异。

利用 HDF 插件读取典型地表的温度, 用 Origin 软件得到发射率随温度的变化曲线, 20、22、23 波段通道上发射率随温度的变化趋势相同, 只是变化幅度有所差别; 29 波段通道上在草坪、江水、冰面和雪地的发射率随温度不变化, 恒为常值; 31、32 波段通道的发射率总体上不随温度变化, 草地、江水和冰面地表发射率有轻微变化。

以上结论可为大气遥感、大气辐射传输等研究领域提供科学的数据支持。

## 参考文献 (References):

- [1] Wu Ying, Weng Fuzhong. Effects of soil texture on the retrieved microwave emissivity at the different frequencies of a desert area and its modeling[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2014, 72(4): 749–759. [吴莹, 翁富忠. 沙漠地区土壤质地对不同频段微波地表发射率反演和模拟的影响[J]. *气象学报*, 2014, 72(4): 749–759.]
- [2] Zhai Jun, Liu Jiyan, Liu Ronggao, et al. Spatial-temporal patterns and important factors driving and surface emissivity in China, 2000–2011[J]. *Resources Science*, 2013, 35(10): 2094–2103. [翟俊, 刘纪远, 刘荣高, 等. 2000–2011年中国地表比辐射率时空格局及影响因素分析[J]. *资源科学*, 2013, 35(10): 2094–2103.]
- [3] Gong Qiang, Wang Hongyu, Zhu Ling, et al. Characteristics and variations of the ground temperature field in Liaoning Province[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2017, 39(3): 505–514. [龚强, 汪宏宇, 朱玲, 等. 辽宁省地温场结构及变化特征[J]. *冰川冻土*, 2017, 39(3): 505–514.]
- [4] Xu Hanqiu. Retrieval of the reflectance and land surface temperature of the newly-launched Landsat 8 satellite[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2015, 58(3): 741–747. [徐涵秋. 新型 Landsat8 卫星影像的反射率和地表温度反演[J]. *地球物理学报*, 2015, 58(3): 741–747.]
- [5] Zou Defu, Zhao Lin, Wu Tonghua, et al. Assessing the applicability of MODIS land surface temperature products in continuous permafrost regions in the central Tibetan Plateau[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2015, 37(2): 308–317. [邹德富, 赵林, 吴通华, 等. MODIS 地表温度产品在青藏高原连续多年冻土区的适用性分析[J]. *冰川冻土*, 2015, 37(2): 308–317.]
- [6] Hu Shenshen. Comparative analysis of GLASS albedos over the Tibetan Plateau based on multi-source data[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science and Technology, 2016. [胡慎慎. 多源数据对比分析青藏高原 GLASS 地表反照率[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2016.]
- [7] Li Shaoliang, Duan Sibao, Tang Bohui, et al. Review of methods for land surface temperature derived from thermal infrared remotely sensed data[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2016, 20(5): 899–920. [李召良, 段四波, 唐伯惠, 等. 热红外地表温度遥感反演方法研究进展[J]. *遥感学报*, 2016, 20(5): 899–920.]
- [8] Yao Tong. A study on parametric feature of the surface roughness and Albedo in North China[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2014. [姚彤. 我国北方地区地表粗糙度和反照率参数化特征研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2014.]
- [9] Zhang Renhua. Quantitative Model of thermal Infrared Remote Sensing and Ground Experiments[M]. Beijing: Science Press, 2009. [张仁华. 定量热红外遥感模型及地面实验基础[M]. 北京: 科学出版社, 2009.]
- [10] Zhang Feng, Yu Kun, Zhang Kaihua, et al. An emissivity measurement apparatus for near infrared spectrum[J]. *Infrared Physics & Technology*, 2015, 73: 275–280.
- [11] Zheng Zhiyuan, Wei Zhigang, Li Zhenchao, et al. A study of variation characteristics of surface broadband emissivity over three typical bare soil underlying surfaces innorthwestern China[J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2016, 40(6): 1227–1241. [郑志远, 韦志刚, 李振朝, 等. 中国西北三类典型裸土下垫面地表宽波段发射率变化特征研究[J]. *大气科学*, 2016, 40(6): 1227–1241.]
- [12] Carlo P, Eduardo T, Marilena M, et al. Methodology for spectral emissivity measurement by means of single color pyrometer[J]. *Measurement*, 2016, 403–409.
- [13] Li Huoqing, Wu Xinping, Ali Mamtimin, et al. Estimating the surface broadband emissivity of deserts in Xinjiang base on MODIS and FTIR data[J]. *Journal of Desert Research*, 2017, 37(3): 523–529. [李火青, 吴新萍, 买买提艾力·买买提依明, 等. 基于 FTIR 和 MODIS 数据估算新疆沙漠宽波段地表比辐射率[J]. *中国沙漠*, 2017, 37(3): 523–529.]
- [14] Hu Juyang, Tang Shihao, Dong Lixin, et al. Analysis of thermal infrared emissivity for sand dust source regions in northwest China[J]. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2013, 32(6): 550–554. [胡菊阳, 唐世浩, 董立新, 等. 我国西北沙漠区地表热红外发射率特征分析[J]. *红外与毫米波学报*, 2013, 32(6): 550–554.]
- [15] Shi Yaya, Yang Chengsong, Che Tao. Accuracy verification of the Tibetan Plateau Permafrost Map based on MODIS LST product[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2017, 39(1): 70–78. [石亚亚, 杨成松, 车涛. MODIS LST 产品青藏高原冻土图的精度验证[J]. *冰川冻土*, 2017, 39(1): 70–78.]
- [16] Wang Xinsheng, Xu Jing, Liu Fei, et al. Spatial-temporal changes of land surface emissivity in China from 2001 to 2010[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(1): 93–100. [王新生, 徐静, 柳菲, 等. 近 10 年我国地表比辐射率的时空变化[J]. *地理学报*, 2012, 67(1): 93–100.]
- [17] Qiu Yubao, Zhang Huan, Chu Duo, et al. Cloud removing algorithm for the daily cloud free MODIS-based snow cover product over the Tibetan Plateau[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2017, 39(3): 515–526. [邱玉宝, 张欢, 除多, 等. 基于 MODIS 的青藏高原逐日无云积雪产品算法[J]. *冰川冻土*, 2017, 39(3): 515–526.]

## Analysis of the optical properties of typical surface emissivity based on the data of MODIS satellite telemetry

GU Jilin, LIU Miao, TANG Hongshan

(*School of Physics and Electronic Technology, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China*)

**Abstract:** The emissivity is a physical quantity that represents the physical surface radiation ability and is an important parameter in radiation transmission and infrared remote sensing. The optical characteristics of surface emissivity have been studied by means of the variation of the emissivity rate of typical surface in different seasons with various wavelength and temperature. Here the typical surfaces include grass, sand, loess, river, snow and ice. By summarizing the relevant literatures and analyzing the measurement methods of emissivity, a method to obtain surface emissivity and surface temperature was proposed based on the data of MOD11B1. The emissivity rates of six thermal infrared bands in different regions and seasons were inverted under the ENVI Classic software environment from December 2015 through August 2016. The line charts of 11 340 indicator samples were drawn to analyze the variation trend of surface emissivity with wavelength. Using the HDF plug-in to read the typical surface temperature parameters, 1 890 data points of the surface temperature were obtained according to the missing data of the linear fitting supplement. The relationship between emissivity and temperature was analyzed by using Origin to draw the surface emissivity curves changing with temperature. The results showed that the typical surface emissivity parameter in winter is the maximum, with a changing range less than 0.02. The emissivity rate from grass, loess and river water is in between 0.910 and 0.990, and that of sand is in between 0.87 and 0.99. The emissivity of ice and snow is in between 0.965 and 0.985 in average. The change of surface emissivity of grass, sand, loess, river, surface of snow and ice with temperature was in a wavy form within the wave range of 3 ~ 5  $\mu\text{m}$ . But the surface emissivity of grass, water, snow and ice surface do not change with temperature significantly in the wave length range of 8 ~ 12  $\mu\text{m}$ .

**Key words:** surface emissivity; surface temperature; MODIS; optical property

(本文编辑：庞瑜，周成林)