

权文婷,赵青兰,王卫东,等.不同季节下FY-3B/MERSI数据大气校正前后对比[J].干旱气象,2015,33(4):666-674, [QUAN Wenting, ZHAO Qinglan, WANG Weidong, et al. Atmospheric Correction of FY-3B/MERSI in Different Seasons and Evaluation[J]. Journal of Arid Meteorology, 2015, 33(4):666-674], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-04-0666

## 不同季节下FY-3B/MERSI数据大气校正前后对比

权文婷<sup>1</sup>,赵青兰<sup>1</sup>,王卫东<sup>1</sup>,能佳<sup>2</sup>

(1. 陕西省农业遥感信息中心,陕西 西安 710014;2. 中国石油长庆油田分公司,陕西 西安 710018)

**摘要:**应用FLAASH模型对FY-3B/MERSI数据进行大气校正,并从大气校正前后反射率变化、NDVI和EVI变化及其与MODIS地表反射率产品比较等4方面对校正效果进行讨论分析,以期提供一种行之有效的FY-3B/MERSI数据大气校正方法。结果表明:(1)校正后削弱了大气分子与气溶胶在可见光波段的散射影响,且各通道反射率区间变宽;(2)除红光波段外,可见光其余波段各通道大气校正后的反射率均有所减小,且秋、冬季比春、夏季影像反射率减小幅度更大;对于近红外波段,除秋、冬季第16通道外,大气校正后的反射率均有所增加;(3)与MODIS地表反射率产品相比较,FY-3B/MERSI校正后的反射率与MYD09GA产品的误差均小于校正前,校正后的植被和居民地2种地物的反射率比校正前更具有较好的一致性;(4)校正后,植被与居民地的NDVI和EVI均有所增大,且NDVI较EVI增加的幅度大,同时校正前后两者的NDVI、EVI差值均增大,表明FY-3B/MERSI影像经大气校正后更有利于植被与非植被信息的区分。

**关键词:**FY-3B/MERSI影像;FLAASH模型;大气校正

**文章编号:**1006-7639(2015)-04-0666-09 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-04-0666

**中图分类号:**TP79;P407

**文献标识码:**A

### 引言

卫星传感器获取信息的过程中,受到大气分子和气溶胶的散射以及水汽吸收作用的影响,使其测量值与实际值之间存在偏差,因此在定量遥感反演研究中,为了提高反演精度,必须通过大气校正消除这些影响<sup>[1-2]</sup>。目前,国内外已提出的大气校正模型主要有基于图像特征模型、地面线性回归经验模型、大气辐射传输理论模型等,其中大气辐射传输理论模型可以较合理地描述大气散射、吸收、发射等过程,并能产生连续光谱,因此得到了广泛应用<sup>[3]</sup>。常用的辐射传输模型有MODTRAN<sup>[4]</sup>、LOWTRAN<sup>[5]</sup>、6S<sup>[6]</sup>、FLAASH<sup>[7]</sup>等,其中FLAASH(Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes)模型基于MODTRAN 4开发,在可见光、近红外到短波红外波段的大气校正中均得到较好的应用<sup>[8-9]</sup>。

风云三号卫星(FY-3)是我国自行设计和研制的气象极轨卫星,其携带的传感器覆盖紫外、可见

光、红外和微波波段,除对大气湿度、温度进行三维立体观测外,还可监测云、雨、臭氧分布及地表特征参数等,是目前国内综合探测能力最强的应用卫星<sup>[10-11]</sup>。其携带的传感器中分辨率光谱成像仪(MERSI)具有5个250 m和15个1 km空间分辨率通道,光谱范围为0.41~12.5 μm<sup>[12]</sup>,同时具备高时空分辨率和多光谱的特点,具有巨大应用潜力,然而目前对MERSI数据的大气校正研究并不多,姜秋富等<sup>[13]</sup>基于ENVI/QUAC模块对MERSI数据进行了大气校正;武永利等<sup>[14]</sup>采用6S模型对MERSI数据中250 m空间分辨率通道进行大气校正研究;刘伟刚等<sup>[15]</sup>针对上述研究不足,采用FLAASH模型对FY-3A/MERSI数据1 km空间分辨率的15个通道进行大气校正,并比较了大气校正前后各波段反射率和植被指数变化情况。上述研究均采用1景卫星影像进行大气校正研究,缺乏对不同时间、不同大气状况下卫星数据的大气校正及评价对比分析。为此,本文基于FLAASH模型,结合MODIS反射率产

收稿日期:2014-09-19;改回日期:2015-05-06

基金项目:国家重点基础研究专项(2013CB429701)和陕西省气象局科技创新基金计划项目(2014M-15)共同资助

作者简介:权文婷(1985-),女,陕西西安人,工程师,硕士,主要从事遥感监测方面的研究. E-mail: quanwenting@163.com

品,拟开展不同季节大气状况下的 FY-3/MERSI 数据的大气校正对比研究,以期提供一种行之有效的 FY-3B/MERSI 数据大气校正方法,为今后植被监测、干旱监测等业务化服务提供较高精度的地表反射率产品,进一步提高 FY-3 卫星的应用水平。

## 1 数据与方法

### 1.1 资料获取

选取我国粮食主产区陕西省作为研究区,数据来源于风云卫星遥感数据网<sup>[16]</sup> FY-3B/MERSI 的 L1 级数据,4 景影像数据时间见表 1,分别对应着四季,且均为晴空质量高的数据。鉴于 FY-3A/MERSI 数据第 6 通道条带现象较严重,本文采用了 FY-3B/MERSI 影像,仅对其 1 km 空间分辨率的 15 个通道进行大气校正,通道特性见表 2。区域气象参数(能见度)数据来源于地面观测站。

表 1 FY-3B/MERSI 数据获取日期及大气状况

Tab.1 Dates of FY-3B/MERSI and its atmospheric conditions

日期	世界时	平均能见度 /km	平均相对湿度/%
2012 年 4 月 26 日	06:05	21.06	46
2012 年 7 月 10 日	05:45	23.26	76
2012 年 11 月 16 日	06:00	22.28	74
2013 年 1 月 9 日	06:00	20.12	51

表 2 FY-3B/MERSI 影像 6~20 通道的特性

Tab.2 Properties of 6-20 channels of FY-3B/MERSI

通道号	中心波长 / $\mu\text{m}$	光谱带宽 / $\mu\text{m}$	噪声等效反照率/%	动态范围 /%
6	1.640	0.05	0.08	90
7	2.130	0.05	0.07	90
8	0.412	0.02	0.1	90
9	0.443	0.02	0.1	90
10	0.490	0.02	0.05	90
11	0.520	0.02	0.05	90
12	0.565	0.02	0.05	90
13	0.650	0.02	0.05	90
14	0.685	0.02	0.05	90
15	0.765	0.02	0.05	90
16	0.865	0.02	0.05	90
17	0.905	0.02	0.10	90
18	0.940	0.02	0.10	90
19	0.980	0.02	0.10	90
20	1.030	0.02	0.10	90

遥感定量研究中,MODIS 数据具有高空间分辨率、时间连续性等特点,成为目前最广泛使用的重要信息源<sup>[17-18]</sup>。本文选用 MODIS 反射率产品作参考,分别与 FY-3B/MERSI 大气校正前、后的数据进行对比分析。选择了 MODIS 的 MYD09GA 产品日资料,空间分辨率为 500 m,7 个波段,时间与 FY-3B/MERSI 数据相同。在比较前,首先对 MYD09GA 产品进行预处理,即通过 MRT 和 ArcGIS 软件对其产品进行投影转换和拼接及裁剪,然后将 500 m 空间分辨率重采样为 1 km。由于 MYD09GA 产品的 7 个波段中的第 3、第 5 通道和 MERSI 数据没有对应的通道,故而采用 MYD09GA 产品的第 1、2、4、6 与 7 通道与 MERSI 数据进行比较。为方便比较,将 MYD09GA 产品各通道按波长由小到大顺序重新排列(表 3)。

表 3 MYD09GA 产品与 MERSI 数据通道比较

Tab.3 Comparison between MYD09GA product and MERSI data

MYD09GA		MERSI	
波段号	波段范围/ $\mu\text{m}$	波段号	中心波长/ $\mu\text{m}$
4	0.545~0.565	12	0.565
1	0.620~0.670	13	0.650
2	0.841~0.876	16	0.865
6	1.628~1.652	6	1.640
7	2.105~2.155	7	2.130

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 辐射定标

由 FY-3B/MERSI 数据的 HDF 格式头文件中读取定标系数、太阳天顶角参数,通过定标公式 1,将影像中 DN 值转化为表观反射率。定标前,所有通道数据都要进行 DN 值调整恢复(公式 2),式中的 slope 和 intercept 参数也是从头文件中获取。

$$\rho_{\lambda} = \frac{K_0 + K_1 \times DN + K_2 \times (DN^*{}^2)}{\cos\theta} \quad (1)$$

$$DN^* = \text{slope} \times (DN - \text{intercept}) \quad (2)$$

其中, $\rho_{\lambda}$  为表观反射率(单位: $\text{sr}^{-1}$ ); $K_0$ 、 $K_1$ 、 $K_2$  均为定标系数; $\theta$  为太阳天顶角(单位: $^{\circ}$ );slope 和 intercept 是对应数据集的内部属性。

由于 FLAASH 模型的输入文件为辐亮度数据,可根据表观反射率计算公式(式 3)推导出辐亮度(式 4)。

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi L_{\lambda} d^2}{E_{\text{SUN}\lambda} \cos\theta} \quad (3)$$

$$L_{\lambda} = \frac{\rho_B E_{\text{SUN}\lambda} \cos\theta}{\pi d^2} \quad (4)$$

式中,  $L_{\lambda}$  为  $\lambda$  波段的表观辐亮度数据, 单位:  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \mu\text{m} \cdot \text{sr})$ ;  $E_{\text{sun}\lambda}$  为  $\lambda$  波段大气层外太阳光谱辐照度, 单位:  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \mu\text{m})$ ;  $d$  为天文单位的日地距离<sup>[19]</sup>。

为便于后续分析, 波段合成时按中心波长由小到大顺序进行调整, 即将第 6、7 波段顺移至第 20 波段后, 在 ENVI 软件下构建 6~20 通道的光谱响应函数。

### 1.2.2 几何校正

MERSI 影像头文件中以经纬度方式提供了每个初始像元的地理定位信息, 故采用校正精度高<sup>[20]</sup>的地理位置查找表 (Geographic Lookup Table, GLT) 方法对原始数据进行几何校正, 并将 BSQ 格式文件转化为 FLAASH 模型所需的 BIL 格式文件。

### 1.2.3 基于 FLAASH 模型的大气校正

FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) 是基于 MODTRAN 4 大气校正模块, 是目前精度最高的大气校正模型之一<sup>[21]</sup>, 被集成在遥感软件 ENVI 中, 可对 400~2500 nm 波长范围内的遥感影像进行大气校正, 标准的 MODTRAN 大气模型和气溶胶类型可以被直接使用<sup>[22]</sup>。FLAASH 模型是基于像素进行大气纠正, 可以纠正邻域效应, 提供对整幅影像的能见度, 对光谱进行平滑, 消除噪声, 并可生成卷云与薄云的分类影像<sup>[23]</sup>。

FLAASH 模型输入参数可分为 3 部分: 输入文件、传感器参数、大气参数。输入辐亮度数据时要进行单位换算, 比例因子“scale factor”为 10.0。传感器参数可由头文件获取, 根据图像获取时间和研究区地理位置, 输入大气参数。以 2012 年 4 月 26 日一景为例, 设置的大气模型为中纬度夏季, 气溶胶模型为乡村气溶胶, 能见度为 21.06 km (来源于地面观测站)。

### 1.2.4 NDVI 和 EVI 的计算

归一化植被指数 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 是定量遥感的基本地表参数, 是反映植被生长状况的一项重要指标<sup>[14,24]</sup>, 在植被、干旱等监测研究中发挥着重要作用。此外, Liu 等<sup>[25]</sup>发展的“改进型土壤大气修正植被指数 (Enhanced Vegetation Index, EVI)”, 是将背景调整和大气修正结合起来, 同样得到了广泛的应用。通过比较大气校正前后 NDVI 和 EVI 的变化来进一步讨论 FY-3B/MERSI 数据的大气校正效果。NDVI 和 EVI 的

计算公式如下:

$$NDVI_{\text{TOA}} = \frac{TOA_{\text{NIR}} - TOA_{\text{R}}}{TOA_{\text{NIR}} + TOA_{\text{R}}} \quad (5)$$

$$NDVI_{\rho} = \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{R}}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{R}}} \quad (6)$$

$$EVI = 2.5 \times \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{R}}}{\rho_{\text{NIR}} + 6\rho_{\text{R}} - 7.5\rho_{\text{B}} + 1} \quad (7)$$

其中,  $NDVI_{\text{TOA}}$  为表观反射率计算的 NDVI, 即为大气校正前 NDVI;  $NDVI_{\rho}$  为地表反射率计算的 NDVI, 即为大气校正后 NDVI;  $TOA_{\text{NIR}}$  与  $TOA_{\text{R}}$  分别表示近红外波段与红光波段的表观反射率;  $\rho_{\text{NIR}}$ 、 $\rho_{\text{R}}$ 、 $\rho_{\text{B}}$  分别表示近红外波段、红光波段和蓝光波段的地表反射率。

## 2 结果分析

### 2.1 大气校正前后光谱特征变化

表观反射率是地表反射率与大气反射率之和<sup>[26]</sup>, 可通过表观反射率与地表反射率的比较来分析大气校正的效果<sup>[19]</sup>, 以 2012 年 4 月 26 日的影像为例。

#### 2.1.1 可见光波段

图 1 是可见光蓝光波段大气校正前后反射率分布。可以看出, 大气校正前后蓝光各波段 (8~10 通道) 反射率分布均有较大变化, 校正后各通道反射率均明显降低, 分布区间有所变宽。校正前, 相似地物的反射率较集中; 校正后, 各通道反射率的波峰明显左移, 波长越小, 左移范围越大, 且第 8、9 通道反射率区间明显拉宽, 各通道反射率变化平均值分别为 -0.0436、-0.0601、-0.0418。由于大气分子和气溶胶影响, 可见光中蓝光波段的散射强度显著强于其它波段, 致使部分经过散射的辐射在到达地面前进入传感器, 从而增加了蓝光波段的反射率。校正后消除了这部分的大气影响, 使得地表反射率降低。大气校正后反射率区间拉宽, 表明校正前部分显示为同一反射率的地物经大气校正后表现为不同的反射率, 大气校正加大了地物类别之间光谱的差异性, 增强了地物的辨别能力。

图 2 同样可以看到, 大气校正后可见光绿光各波段 (11~12 通道) 的反射率也明显降低且左移, 反射率区间有所变宽, 这同样是气溶胶散射所致。校正后反射率变化均值分别为 -0.0297 与 -0.0106。

图 3 给出可见光红光波段 (13~14 通道) 大气校正前后反射率变化情况。可以看出, 大气校正后, 红光波段的反射率并没有明显减小, 其原因是随着波长的增大, 气溶胶散射影响逐渐减小, 但反射率区间略有变宽, 反射率变化均值分别为 0.0038 与 0.0094。

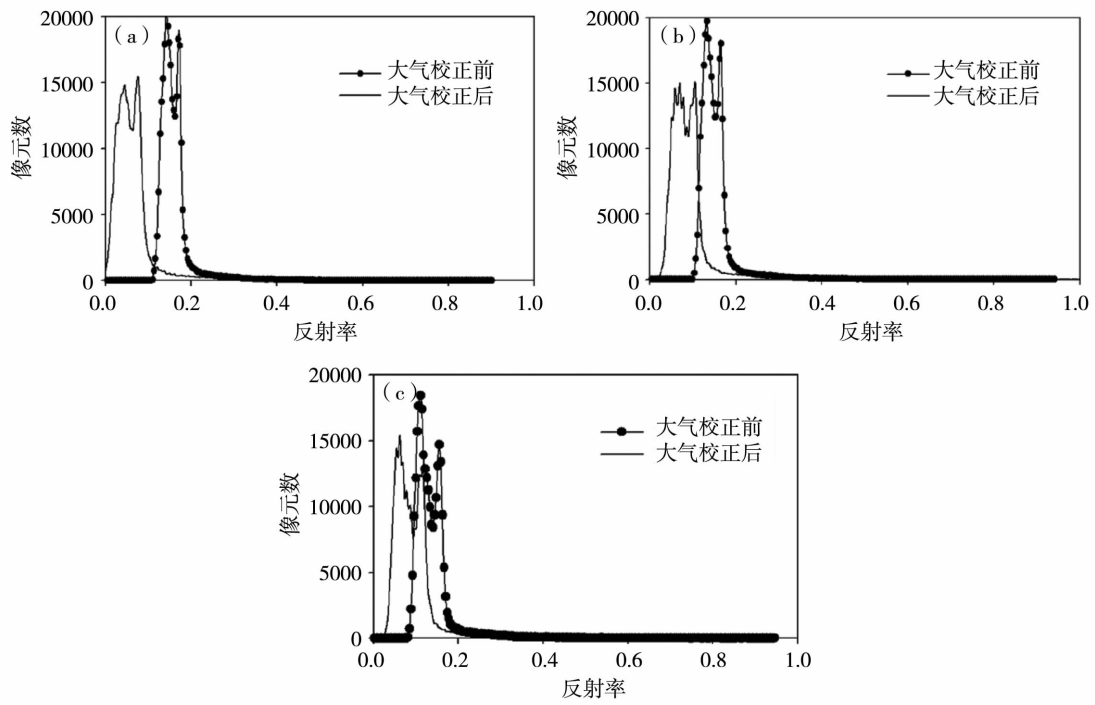


图1 大气校正前后FY-3B/MERSI数据第8(a)、9(b)、10(c)通道蓝光反射率分布(单位:  $\text{sr}^{-1}$ )

Fig. 1 The reflectivity distribution of band 8 (a), band 9 (b) and band 10 (c) of FY-3B/MERSI before and after atmosphere correction of FLAASH (Unit:  $\text{sr}^{-1}$ )

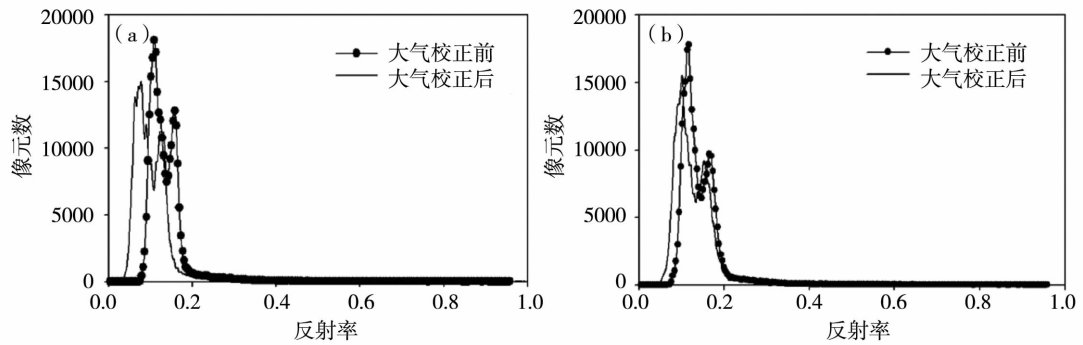


图2 大气校正前后FY-3B/MERSI数据第11(a)、12(b)通道绿光反射率分布(单位:  $\text{sr}^{-1}$ )

Fig. 2 The distribution of reflectivity for band 11 (a) and band 12 (b) of FY-3B/MERSI before and after atmosphere correction (Unit:  $\text{sr}^{-1}$ )

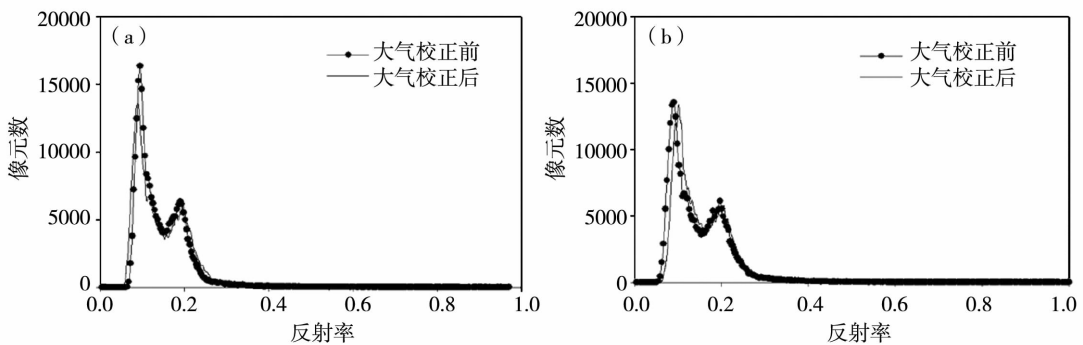


图3 大气校正前后FY-3B/MERSI数据第13(a)、14(b)通道红光反射率分布(单位:  $\text{sr}^{-1}$ )

Fig. 3 The distribution of reflectivity for band 13 (a) and band 14 (b) of FY-3B/MERSI before and after atmosphere correction (Unit:  $\text{sr}^{-1}$ )

综上所述,在可见光范围内,随着波长的增加,大气校正的效果越不明显,校正前后反射率变化随波长增加而减小。

### 2.1.2 近红外波段

图4给出近红外波段(15~20通道与6~7通道)大气校正前后反射率变化情况。可以看到,除

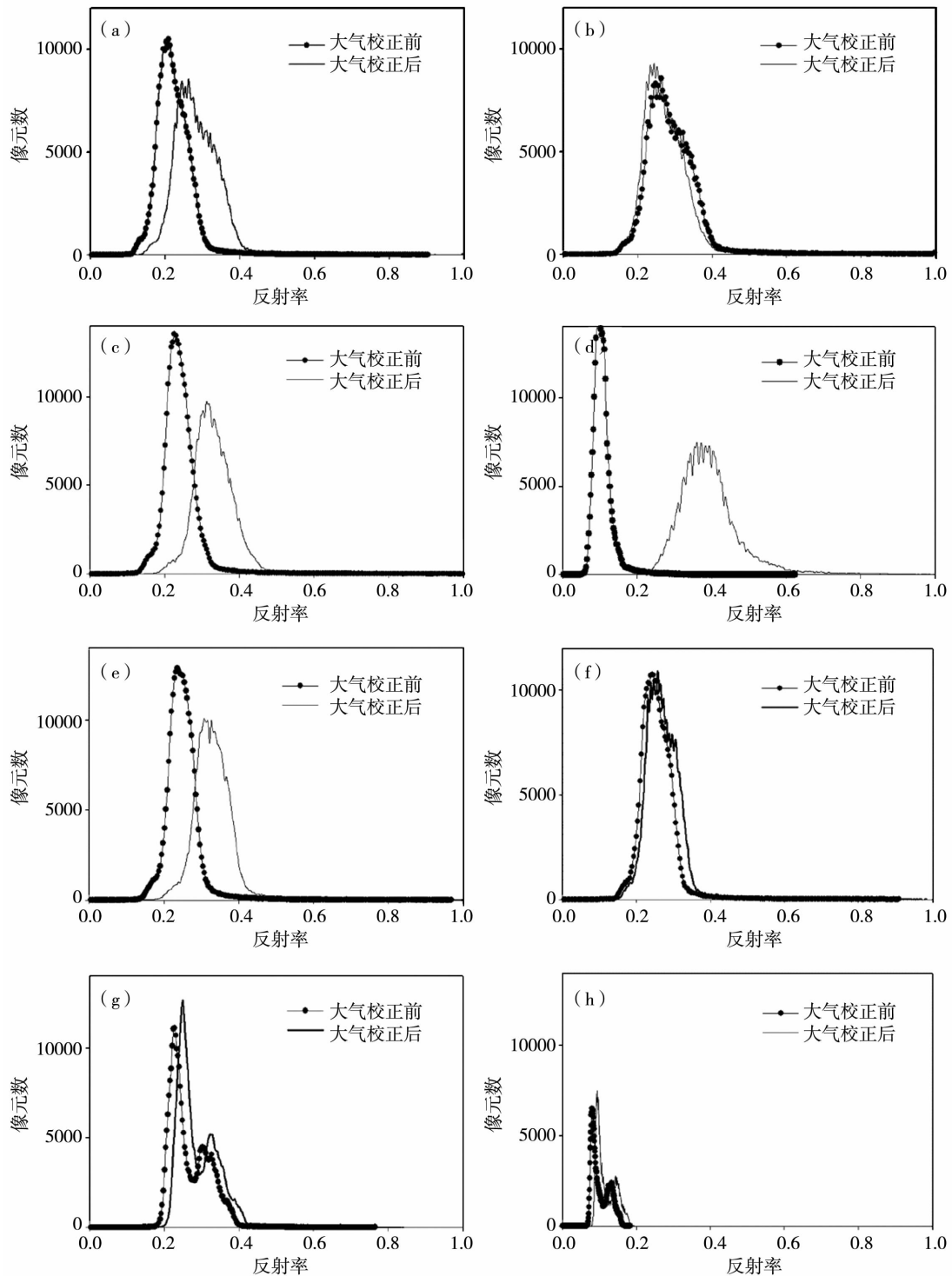


图4 大气校正前后 FY-3B/MERSI 数据第15~20与第6~7通道近红外反射率分布(单位:  $\text{sr}^{-1}$ )

(a)第15波段,(b)第16波段,(c)第17波段,(d)第18波段,

(e)第19波段,(f)第20波段,(g)第6波段,(h)第7波段

Fig. 4 The distribution of reflectivity from 15 to 20 and 6 to 7 channels of FY-3B/MERSI before and after atmosphere correction (Unit:  $\text{sr}^{-1}$ )

(a) band 15, (b) band 16, (c) band 17, (d) band 18, (e) band 19, (f) band 20, (g) band 6, (h) band 7

第16和第20通道外,其余通道大气校正后的反射率均明显增大,第15通道和第17~19通道反射率增大较为明显,其中第18通道反射率增加最明显;同时,近红外各通道大气校正后的反射率区间均变宽,第15~20通道反射率变化均值分别为0.0647、0.0118、0.0947、0.2940、0.0838与0.0177,第6~7通道分别为0.0220与0.0152。在近红外波段,由于大气的吸收作用占主导,从而降低了反射率,大气校正减小了吸收作用的影响,故而反射率增大。大气中水分子在0.94  $\mu\text{m}$ 有一个吸收带<sup>[27]</sup>,FY-3B/MERSI数据的第18通道中心波长为0.94  $\mu\text{m}$ ,恰好位于该吸收带上,因此反射率增加幅度最大。

## 2.2 不同季节状况下大气校正前后光谱特征变化

不同季节条件下大气的温度、密度及运动状况并不相同,从而引起气溶胶光学厚度分布随季节呈现出不同特点。同时,大气中的水汽含量也显著不同,进而对每个波段的影响存在明显差异。

### 2.2.1 可见光波段变化

表4是不同季节FY-3B/MERSI可见光波段各通道大气校正前后反射率变化。可以看出,分别代表四季的4景影像大气校正后的反射率在蓝光波段(第8~10通道)均减小了,且秋(11月16日)、冬

(1月9日)季影像大气校正后的反射率较春(4月26日)、夏(7月10日)季减小幅度更大。其中夏季减小的最少,第8~10通道校正前后的变化率分别为-52%、-36%和-31%。绿光波段(第11~12通道)校正前后反射率变化与蓝光波段类似,其中秋季与冬季影像反射率减小的范围为-48%~-22%,春季与夏季反射率减小范围为-24%~-7%,可见秋、冬季反射率减少的范围远大于春、夏季。红光波段(第13~14通道),春季校正后的反射率较校正前有小幅度增加,变化率范围为2%~6%;秋、冬季校正后的反射率仍略有减小,变化率仅为-9%~-4%;校正后的夏季影像第13通道的反射率减小,而第14通道的反射率有所增加,变化率分别为-3%和5%。可见,MERSI数据大气校正前后反射率变化有一定的季节性规律,总体来说,除春、夏季影像的红光波段外,校正后的反射率四季均有所减小,秋、冬季影像的反射率比春、夏季减小幅度更大,且反射率的变化均随波长增大而减少。这是因为研究区秋冬季雾霾较重,雾霾中颗粒物对可见光波段尤其是蓝光波段的影响较大,而大气校正过程消除了部分颗粒物分子的散射影响,故而秋、冬季大气校正后反射率变化较春、夏季更大,且波长越短,校正效果越明显。

表4 不同季节FY-3B/MERSI可见光波段各通道大气校正前后反射率变化

Tab.4 The changes of reflectance in each channel of visible wavelengths from FY-3B/MERSI in four seasons before and after atmosphere correction

波段	通道		2012-04-26	2012-07-10	2012-11-16	2013-01-09
蓝光	8	变化均值/ $\text{sr}^{-1}$	-0.0436	-0.0507	-0.0727	-0.4665
		变化率/%	-60	-52	-91	-91
	9	变化均值/ $\text{sr}^{-1}$	-0.0601	-0.0339	-0.0488	-0.1198
		变化率/%	-39	-36	-62	-71
	10	变化均值/ $\text{sr}^{-1}$	-0.0418	-0.0271	-0.0354	-0.0807
		变化率/%	-30	-31	-51	-60
绿光	11	变化均值/ $\text{sr}^{-1}$	-0.0297	-0.0209	-0.0271	-0.0598
		变化率/%	-21	-24	-41	-48
	12	变化均值/ $\text{sr}^{-1}$	-0.0106	-0.0221	-0.0314	-0.0316
		变化率/%	-7	-11	-22	-26
	13	变化均值/ $\text{sr}^{-1}$	0.0038	0.0069	-0.0135	-0.0115
		变化率/%	2	-3	-9	-9
红光	14	变化均值/ $\text{sr}^{-1}$	0.0094	0.01022	-0.0066	-0.0049
		变化率/%	6	5	-4	-4

### 2.2.2 近红外波段变化

除秋季和冬季第 16 通道外,近红外波段其余通道大气校正后的反射率均有所增加,其中第 16、20 和第 6 通道反射率增加的较少,变化率范围为  $-2\% \sim 9\%$ ;第 18 通道反射率增加的最大,变化率范围为  $163\% \sim 345\%$ ;第 15、17、19、7 通

道反射率变化范围为  $12\% \sim 39\%$ (表 5)。可见,近红外波段大气校正后反射率随季节的变化没有可见光波段明显,在第 15、16 通道,反射率变化自春、夏、秋、冬逐渐减小;第 17~20 通道与第 6~7 通道,反射率变化随季节均呈先减小后增大的特征,但存在细微差别。

表 5 不同季节 FY-3B/MERSI 近红外波段各通道大气校正前后反射率变化

Tab. 5 The changes of reflectance in each channel of near-infrared wavelengths from FY-3B/MERSI in four seasons before and after atmosphere correction

通道		2012-04-26	2012-07-10	2012-11-16	2013-01-09
15	变化均值/ $\text{sr}^{-1}$	0.0647	0.0695	0.0339	0.0287
	变化率/%	28	24	21	21
16	变化均值/ $\text{sr}^{-1}$	0.0118	0.0058	-0.0050	-0.0017
	变化率/%	4	1	-2	-1
17	变化均值/ $\text{sr}^{-1}$	0.0947	0.0602	0.0619	0.0572
	变化率/%	39	23	32	36
18	变化均值/ $\text{sr}^{-1}$	0.2940	0.1783	0.2917	0.2756
	变化率/%	270	163	323	345
19	变化均值/ $\text{sr}^{-1}$	0.0838	0.0621	0.0535	0.0510
	变化率/%	33	23	27	30
20	变化均值/ $\text{sr}^{-1}$	0.0176	0.0153	0.0038	0.0066
	变化率/%	6	5	2	4
6	变化均值/ $\text{sr}^{-1}$	0.0220	0.0174	0.0200	0.0277
	变化率/%	8	7	7	9
7	变化均值/ $\text{sr}^{-1}$	0.0152	0.0103	0.0174	0.0237
	变化率/%	14	12	13	16

### 2.3 与 MODIS 地表反射率产品对比

首先从 4 景影像中分别随机挑选易于辨别的植被与居民地 2 种地物各 40 个像元,并尽可能保证每个像元接近为纯像元,即每个像元至少 50% 比例由 1 种地物构成。然后,分别提取这些像元在 MERSI 原始数据及大气校正后的数据和 MODIS 反射率产品各通道的反射率,并计算均值。最后,根据公式 8 计算 MERSI 大气校正后的反射率与 MODIS 反射率产品的差异。

$$E = \frac{|\rho_{\text{MERSI}} - \rho_{\text{MODIS}}|}{\rho_{\text{MODIS}}} \quad (8)$$

式中, $E$  表示误差(单位:%), $\rho_{\text{MERSI}}$ 、 $\rho_{\text{MODIS}}$  分别表示 MERSI、MODIS 数据的地表反射率,单位: $\text{sr}^{-1}$ 。

从表 6 中可以看出,MERSI 大气校正后的反射率与 MODIS 反射率产品的差别均比较校正前小。对

于植被来说,除第 12 通道外其余 4 个通道的误差均在 25% 以内;就居民地而言,第 6 通道校正后的反射率误差减小幅度并不明显,其余通道误差减小幅度较大。由于 MODIS 与 MERSI 传感器在设计上存在偏差,如在波段、波长以及光谱响应函数等方面设置不同,往往会造成两者数值上的差异。但 MODIS 反射率产品作为参照,通过对比可以反映出 FY-3B/MERSI 大气校正后的结果与 MODIS 数据在植被和居民地 2 种地物的反射率较校正前具有更好的一致性。

### 2.4 大气校正前后 NDVI 与 EVI 的对比

图 5 给出了 FY-3B/MERSI 大气校正前后植被与居民地 NDVI 和 EVI 变化,可以看出,大气校正后植被的 NDVI 增大最明显,校正前植被与居民地的 NDVI 差值为 0.1828,校正后为 0.2211,校正后

表6 MERSI 大气校正前后的反射率与 MYD09GA 反射率之间的误差(单位:%)

Tab.6 Errors of reflectivity between before and after atmosphere correction of MERSI and MYD09GA9 (Unit:%)

MERSI 波段号	植被		居民地	
	大气校正前	大气校正后	大气校正前	大气校正后
12	58.8	35.8	41.6	28.7
13	42.5	22.8	20.7	17.7
16	10.4	3.1	0.8	0.5
6	24.7	20.5	43.9	43.1
7	16.4	1.3	25.2	6.5

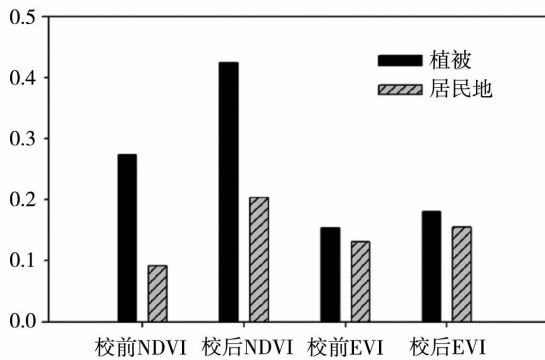


图5 FY-3B/MERSI 大气校正前后植被与居民地的 NDVI 及 EVI 变化

Fig.5 The variations of NDVI and EVI of

FY-3B/MERSI before and after atmospheric correction

近红外波段各通道的反射率明显增大,加大了近红外波段与红光波段的差值。大气校正后植被和居民地的 EVI 同样也有所增大,但增幅没有 NDVI 明显,大气校正前植被与居民地 EVI 差值为 0.0232,校正后为 0.0251。可见,大气校正后植被与居民地 NDVI 和 EVI 的差值均增大,更有利于植被与非植被信息的区分。

### 3 结论

(1)基于 FLAASH 模型对 FY-3B/MERSI 数据进行大气校正发现(以 2012 年 4 月 26 日影像为例),从可见光到近红外波段各通道校正后的反射率区间均变宽。同时,可见光中绿光和蓝光波段各通道校正后的反射率普遍降低。其中蓝光波段反射率降低幅度最大,绿光波段次之;而可见光中红光波段和近红外波段各通道校正后的反射率有所变大。其中第 18 通道反射率增加最大,变化率为 270%。

(2)不同季节条件下,可见光中蓝光和绿光波段各通道大气校正后的反射率秋、冬季比春、夏季减小幅度更大。这是因为研究区秋冬季雾霾中颗粒物对可见光波段尤其是蓝光波段的影响所致。对于近

红外波段,除秋季和冬季第 16 通道外,其余通道大气校正后的反射率均有所增加,且校正后的反射率变化没有可见光波段明显。

(3)与 MYD09GA 产品对比发现,MERSI 大气校正后的反射率与 MODIS 的误差均比校正前小。对植被来说,校正后的与 MODIS 产品误差均在 25% 以内;就居民地而言,除第 6 通道外,大气校正后反射率误差减小幅度均较大。表明 FY-3B/MERSI 数据大气校正后在植被和居民地 2 种地物的反射率较校正前更具有较好的一致性。

(4)大气校正后植被和居民地 2 种地物的 NDVI 较校正前均明显增大,EVI 也有小幅增加,且校正后植被与居民地 2 种植被指数的差值有所增大,表明 FY-3B/MERSI 影像经大气校正后更有利于植被与非植被信息的区分。

由于未能进行实地样点的地表反射率观测,无法对大气校正后反射率的准确性进行定量分析。另外,未对 4 景影像对应日期的气溶胶情况做相关介绍,在后续的研究中可以考虑选取不同气溶胶状况下 FY-3 系列数据的大气校正前后对比。同样,利用土地利用数据分析不同地表覆盖大气校正前后的差异也是后续的研究方向之一。

#### 参考文献:

[1] 阿布都瓦斯提·吾拉木,秦其明,朱黎江. 基于 6S 模型的可见光、近红外遥感数据的大气校正[J]. 北京大学学报(自然科学版),2004,40(4):611-618.

[2] 元雪勇,田庆久. 光学遥感大气校正研究进展[J]. 国土资源遥感,2005,66(4):1-6.

[3] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2003. 23-30.

[4] Nerry F, Petitcolin F, Stoll M P. Bidirectional Reflectivity in AVHRR Channel3:Application to a Region in Northern Africa[J]. Remote Sensing of Environment,1998,66(3):298-316.

[5] Isaacs R G, Vogelmann A M. Multispectral sensor data simulation modeling based on the multiple scattering LOWTRAN code[J]. Remote Sensing of Environment, 1988,26(1):75-99.



- [6] 孙源, 顾行发, 余涛, 等. 环境星 CCD 数据大气校正研究[J]. 国土资源遥感, 2010, (4): 6-9.
- [7] 笕梅, 李登秋, 居为民, 等. 基于 HJ-CCD 影像数据的新疆喀纳斯自然保护区植被叶面积指数估算[J]. 冰川冻土, 2013, 35(4): 892-903.
- [8] 韩小庆, 苏艺, 李静, 等. 海岸带地区 SPOT 卫星影像大气校正方法比较及精度验证[J]. 地理研究, 2012, 31(11): 2007-2016.
- [9] HJ-1A/B 卫星 CCD 影像水环境遥感大气校正方法评价研究—以鄱阳湖为例[J]. 光谱学与光谱分析, 2013, 33(5): 1320-1326.
- [10] 杨军, 董超华, 卢乃锰, 等. 中国新一代极轨气象卫星—风云三号[J]. 气象学报, 2009, 67(4): 501-509.
- [11] 李峰, 赵玉金, 赵红, 等. FY-3A/MERSI 数据在山东省农田干旱监测中的应用[J]. 干旱气象, 2014, 32(1): 17-22.
- [12] 黄永璘, 农民强, 孙涵. 基于 FY-3A/MERSI 的洪涝灾害遥感监测初探[J]. 气象研究与应用, 2009, 30(2): 59-61.
- [13] 姜秋富, 赵朝方. FY-3A/MERSI 数据大气校正对海上溢油检测的改进[J]. 海洋湖沼通报, 2011, (4): 17-24.
- [14] 武永利, 栾青, 田国珍. 基于 6S 模型的 FY-3A/MERSI 可见光到近红外波段大气校正[J]. 应用生态学报, 2011, 22(6): 1537-1542.
- [15] 刘伟刚, 郭锐, 李耀辉, 等. 基于 FLAASH 模型的 FY-3A/MERSI 数据大气校正研究[J]. 高原气象, 2013, 32(4): 1140-1147.
- [16] 风云卫星遥感数据网. [http://satellite.cma.gov.cn/portalsite/default.aspx\[DB/OL\]](http://satellite.cma.gov.cn/portalsite/default.aspx[DB/OL]). 2014.
- [17] 姚云军, 秦其明, 赵少华, 等. 基于 MODIS 短波红外光谱特征的土壤含水量反演[J]. 红外与毫米波学报, 2011, 30(1): 9-14.
- [18] 蝴蝶, 张镭, 沙莎, 等. 西北地区 MODIS 气溶胶产品的对比应用分析[J]. 干旱气象, 2013, 31(4): 677-683.
- [19] 郑盛, 赵祥, 张颢, 等. HJ-1 卫星 CCD 数据的大气校正及其效果分析[J]. 遥感学报, 2011, 15(4): 709-721.
- [20] 邓书斌, 于强, 骆知萌, 等. ENVI 下基于 GLT 的风云三号气象卫星几何校正研究[J]. 遥感信息, 2009(2): 98-99.
- [21] 郝建亭, 杨武年, 李玉霞, 等. 基于 FLAASH 的多光谱影像大气校正应用研究[J]. 遥感信息, 2008(1): 78-81.
- [22] 李国砚, 张仲元, 郑艳芬, 等. MODIS 影像的大气校正及在太湖蓝藻监测中的应用[J]. 湖泊科学, 2008, 20(2): 160-166.
- [23] 宋晓宇, 王纪华, 刘良云, 等. 基于高光谱遥感影像的大气纠正: 用 AVIRIS 数据评价大气纠正模块 FLAASH[J]. 遥感技术与应用, 2005, 20(4): 393-398.
- [24] 郭锐. 植被指数及其研究进展[J]. 干旱气象, 2003, 21(4): 71-75.
- [25] Liu H Q, Huete A R. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise [J]. IEEE Trans Geosci Remote sens, 1995, 33: 457-465.
- [26] 池宏康, 周广胜, 许振柱, 等. 表观反射率及其在植被遥感中的应用[J]. 植物生态学报, 2005, 29(1): 74-80.
- [27] 梅安新, 彭望球, 秦其明. 遥感导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001. 26-29.

## Atmospheric Correction of FY-3B/MERSI in Different Seasons and Evaluation

QUAN Wenting<sup>1</sup>, ZHAO Qinglan<sup>1</sup>, WANG Weidong<sup>1</sup>, NENG Jia<sup>2</sup>

(1. Shaanxi Provincial Agricultural Remote Sensing Information Center, Xi'an 710014, China;  
2. Petro China Changqing Oilfield Company, Xi'an 710018, China)

**Abstract:** Based on the FY-3B/MERSI images, MYD09GA products from MODIS and visibility from weather station in Shaanxi, the FY-3B/MERSI images on 26 April, 10 July, 16 November 2012 and 9 January 2013 were corrected by FLAASH model. And on this basis the results of MERSI before and after atmospheric correction were comparatively analyzed, including the reflectivity, NDVI and EVI of MERSI before and after atmospheric correction, and the difference of reflectivity between MERSI before and after atmospheric correction and MYD09GA. The results are as follows: (1) The scattering effect of atmospheric molecules and aerosols was weakened in visible wavelengths after atmospheric correction and the intensity of scatter decreased with the wavelengths, and the ranges of reflection in each channel were obviously widened, which indicated that the phenomenon of different objects with same spectrum was eliminated. (2) Except red bands, the reflectance in invisible wavelengths after atmospheric correction decreased in different seasons, and the decreasing ranges in autumn and winter were larger than that in spring and summer. However, the reflectance in near-infrared wavelengths increased after atmospheric correction except for the 16 channel in autumn and winter. (3) Compared with the surface reflection of MODIS, the differences of FY-3B/MERSI after atmospheric correction were smaller than that before atmospheric correction, and the reflectance of vegetation and residential area after atmospheric correction was well consistent with MYD09GA than that before atmospheric correction. (4) The values of NDVI and EVI for vegetation and habitation areas after atmospheric correction increased, and the increasing of the former was higher than the latter. Furthermore, the differences of NDVI and EVI between vegetation and habitation after atmospheric correction was larger than that before atmospheric correction, the former between vegetation and habitation increased from 0.1828 to 0.2211 and the latter increased from 0.0232 to 0.0251, which would be beneficial to distinguish vegetation and non-vegetation in image classification.

**Key words:** FY-3B/MERSI image; FLAASH model; atmospheric correction