

引用格式: Ma Mingguo, Song Yi, Wang Xufeng, *et al.* Development Status and Application Research of the Time Series Remote Sensing Data Products based on AVHRR, VEGETATION and MODIS[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2012, 27(5): 663-670. [马明国, 宋怡, 王旭峰, 等. AVHRR、VEGETATION 和 MODIS 时间系列遥感数据产品现状与应用研究进展[J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(5): 663-670.]

# AVHRR、VEGETATION 和 MODIS 时间系列 遥感数据产品现状与应用研究进展

马明国<sup>1</sup>, 宋怡<sup>2</sup>, 王旭峰<sup>1</sup>, 韩辉邦<sup>3</sup>, 于文凭<sup>1</sup>

(1. 中国科学院寒旱区观测系统试验站, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国科学院地球环境研究所, 陕西 西安 710075; 3. 安徽农业大学, 安徽 合肥 230036)

**摘要:** 全球时间系列卫星遥感产品自产生之日起就得到了高度关注, 被广泛地应用于全球、洲际和区域的地表动态监测, 并与气温、降水等气候变化表征参数结合起来, 应用于全球变化分析。随着时间系列的逐渐延长和新兴传感器的不断涌现, 时间系列遥感产品的内容和应用领域更是得到了极大扩展。主要介绍了: ① 当前国际上流行的可见光/近红外、短波红外和热红外时间系列卫星数据产品的发展现状, 传感器主要包括 AVHRR、VEGETATION 和 MODIS。早期以开发波段信息和植被指数等基础数据为主, 当前大量专题产品的生产得到广泛开展; ② 在数据产品的进一步处理和分析方面, 重点介绍了时间系列重建、比较和延长、产品真实性检验的研究进展和发展趋势; ③ 在数据产品应用方面, 重点介绍了地表覆被特征的动态监测、物候和种植结构等信息提取、遥感产品在模型中的应用等方面的研究进展和发展趋势。

**关键词:** 时间系列; 遥感数据产品; AVHRR; VEGETATION; MODIS

中图分类号: TP 391; TP 75 文献标志码: A 文章编号: 1004-0323(2012)05-0663-08

## 1 引言

遥感是以航空摄影技术为基础, 在 20 世纪 60 年代初发展起来的一门新兴技术。早期多以航空遥感为主, 仅有以军方为主的军事侦察卫星在应用, 这些资料目前已经逐步对外开放。自 1972 年美国发射了第一颗陆地卫星 ERTS 后, 民用航天遥感时代真正开始, 到后来的 Landsat 系列卫星的发射, 其数据形成了目前全球最长时间系列的高分辨率遥感资料, 被广泛地应用于全球和区域的资源、环境、水文、气象、地质和地理等各个领域, 也成为我们长期监测地表覆盖变化的主要数据来源。而 20 世纪 80 年代以后, 各类陆地卫星相继发射, 使各类研究有了更多的数据选择。到 20 世纪末, 随着美国先后发射的

QuickBird、IKONOS 和 OrbView3 等米级分辨率卫星的发射, 标志着航天遥感又进入了一个高分辨率卫星数据广泛应用的时代<sup>[1]</sup>。

以上卫星主要能够获取中高分辨率和高分辨率遥感资料, 但受视场宽度的影响, 其重访周期一般较长, 再加之云覆盖的影响, 一般要十多天到数十天才能获取一个时相比较好的数据。而这些数据大多数也是有偿获取, 因此不便于开展大范围连续的地表特征的监测。随着业务运行粗分辨率卫星的应用, 全球日覆盖的遥感数据产品得以实现。仅从可见光/近红外和热红外波段看, 美国发射的 NOAA 气象卫星, 从 1981 年发射 NOAA-7 开始, 到目前在轨的 NOAA-18, 形成了包含可见光红色波段、近红外波段、中红外波段和两个热红外波段在内的 5 个波

收稿日期: 2012-05-09; 修订日期: 2012-08-21

基金项目: 国家 863 计划项目(2009AA122104)、中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-EW-312)、国家重点基础研究发展计划项目(2009CB421305)资助。

作者简介: 马明国(1976-), 男, 湖北宜昌人, 研究员, 主要从事中国西北生态和陆面过程遥感研究。E-mail: mmg@lzb.ac.cn。

段近 30 a 的时间系列遥感数据。

由欧洲联盟委员会赞助的 VEGETATION 传感器搭载在 SPOT 4 卫星上,从 1998 年 4 月开始接收用于连续观测地球表面的天然和人工植被覆盖状况及其状态特征的全球逐日卫星数据,其后续的 VEGETATION 2 搭载在 SPOT 5 卫星上,从而形成了一个近 15 a 时间系列的数据集。在波段设计方面,该传感器除了红色和近红外波段以外,还设计了一个蓝色波段( $0.43\sim 0.47\ \mu\text{m}$ ),可用于计算大气中短时间内烟雾分布状况,有利于进行大气校正;以及一个短波红外波段,最能反映树冠中的水分含量及其细胞结构特征的峰值。VEGETATION 拥有独立的、十分完善和有效的数据接收和处理机构,能够快速为全球用户提供数据产品。

Terra 于 1999 年发射,其搭载的传感器之一中分辨率成像光谱仪(MODIS)于 2000 年 2 月开始获取数据,开启了中尺度遥感的一个新的里程碑。和后期发射的 Aqua 一起,形成上午、下午以及晚上过境,可以得到每天最少 2 次白天和 2 次黑夜更新数据;同时其空间分辨率相对于 AVHRR 和 VEGETATION 有了较大进展,达到 250 m;其涉及到的波段范围也更广,从  $0.4\ \mu\text{m}$ (可见光)到  $14.4\ \mu\text{m}$ (热红外)全光谱覆盖,有 36 个离散光谱波段。目的在于实现对陆地、海洋和底层大气的全球动态和过程进行长期观测,由于 MODIS 的全球免费发布政策,使其快速得到广泛应用。

全球时间系列遥感产品自产生之日起就得到了高度关注,被广泛应用于全球、洲际和区域在大气、沙尘暴、植被覆盖、沙漠化、干旱、水体、海冰、冻土、积雪等方面的动态变化与监测,并与气温、降水等气候变化表征参数结合起来,应用于全球变化分析<sup>[2]</sup>。随着时间系列的逐渐延长和新兴传感器的不断涌现,时间系列遥感产品的内容和应用领域更是得到了极大地扩展。本文重点介绍基于可见光/近红外、热红外系列传感器,即从 NOAA AVHRR 到 SPOT VEGETATION 再到 Terra\Aqua MODIS 的所生成的主要时间系列遥感产品发展现状,总结针对产品进一步处理和分析的步骤,并对数据产品深入应用的可能进行探讨。

## 2 时间系列卫星数据产品

### 2.1 NOAA AVHRR

在可见光/近红外、短波红外和热红外时间系列数据中,NOAA AVHRR 形成了最长时间系列的遥

感产品数据集。在美国的不同项目支持下,采取了不同的数据与处理方案,形成了多套 AVHRR 的时间系列产品,王正兴等<sup>[3]</sup>对这些产品的处理过程作了详细介绍。目前比较常用的系列产品是 PAL 数据集(NOAA/NASA Pathfinder AVHRR Land Data)和 GIMMS 数据集(Global Inventory Modeling and Mapping Studies)(表 1)。而新近发布的 LTDR 数据集(Land Long Term Data Record),则是利用 AVHRR、MODIS 和未来的 VIIRS 数据来形成长期全球低分辨率数据记录(表 1),LTDR 使用和 MODIS 类似的业务流程,试图达到“气候数据”的质量要求<sup>[4]</sup>。三者数据预处理(辐射定标、云检测、大气校正和卫星漂移校正)和数据内容(波段、时间系列长短)等方面有比较大的差别,其中 PAL 和 LTDR 波段信息丰富;而 GIMMS 数据系列最长、数据最为完整,因此也是目前应用最为广泛的 AVHRR 时间系列数据集。LTDR 在 2008 年发布了 V3 版数据,重点改进气溶胶校正和 BRDF 校正(<ftp://ltdr.nascom.nasa.gov/allData/Ver3/>)。而且 LTDR 与 2000 年以后的 MODIS 时间序列在内容与格式等方面有较好的一致性,可以很好地进行延长,形成更长时间系列数据集;同时其时间分辨率达到逐日,是目前能够下载到时间分辨率最高且时间系列最长的 NDVI 数据集(表 1)。只是其发布时间较晚,还没有广泛地应用,可以作为一个新的数据源被重视。

### 2.2 VEGETATION

VEGETATION 数据由比利时佛莱芒技术研究所(Flemish Institute for Technological Research, Vito)VEGETATION 影像处理中心(VEGETATION Processing Centre, CTIV)负责预处理成逐日 1 km 全球数据,其数据产品包括 VGT-P( $P$ =physical)、VGT-S1( $S$ =synthesis)、VGT-S10 和 VGT-D10。其中 VGT-P 数据产品提供高质量的物理量原型数据以便于科研人员发展自己的处理算法;VGT-S1 是完成了相关预处理(辐射校正、大气校正、几何校正等)的逐日地表反射率数据集,同时提供相关辅助参数;VGT-S10 则是在 VGT-S1 基础上合成的 10 d 一次的数据集,免费分发;VGT-D10 是在 VGT-S 基础上考虑了 BRDF 影响的 10 d 一次的数据集。

### 2.3 MODIS

MODIS 到目前已经先后发布了 40 多个系列产品(表 1),包括标定产品、大气产品、海洋产品和陆

表 1 AVHRR、VEGETATION 和 MODIS 长时间系列全球卫星遥感产品一览表

Table 1 A list of the time-series global satellite remote sensing products based on AVHRR, VEGETATION and MODIS

产品名称	产品	传感器	时间系列	空间分辨率/时间分辨率
GIMMS NDVI	NDVI	AVHRR	1981.7~2006.12	8 km/15 d
PAL	分波段数据、NDVI、云检测、QA	AVHRR	1981.7~2001.12	8 km/10 d
LTDR Product	分波段数据、NDVI、角度信息、QA	AVHRR	1981.7~1999.12	0.05°/1 d
VGT-P	未经过大气校正分波段数据	VEGETATION	1998.4~至今	1 km/1 d
VGT-S	分波段数据、NDVI、辅助信息等	VEGETATION	1998.4~至今	1 km/10 d
VGT-D		VEGETATION	1998.4~至今	1 km/1 d
MOD01-02	1A 数据、1B 数据	MODIS	2000.2~至今	250 m, 500 m, 1 km/1 d(日、夜)
MOD03	地理定位信息	MODIS	2000.2~至今	1 km/1 d(日、夜)
MOD04-08	大气产品	MODIS	2000.2~至今	10 km/1 d; 1 km, 5 km/1 d 两次; 1°/1 d, 8 d, 月
MOD09	地表反射	MODIS	2000.2~至今	250 m/1 d (Band1-2); 500 m/1 d (Band3-7)
MOD10	雪覆盖	MODIS	2000.2~至今	500 m, 0.25°/1 d, 8 d
MOD11	地表温度和发射率	MODIS	2000.2~至今	1 km, 5 km, 0.5°/6 h, 8 d, 月
MOD12	土地覆盖/土地覆盖变化	MODIS	2000.2~至今	1 km, 0.25°, 0.5°, 1°/季
MOD13	NDVI, EVI, QA	MODIS	2000.2~至今	250 m, 1 km, 0.25°/8 d, 16 d, 月
MOD14	热异常、火、生物燃烧	MODIS	2000.2~至今	1 km, 10 km, 0.5°/1 d, 8 d, 16 d, 月
MOD15	LAI/FPAR	MODIS	2000.2~至今	1 km/1 d, 8 d
MOD16	蒸散发	MODIS	2000.2~至今	1 km/8 d, 月
MOD17	PSN/NPP/GPP	MODIS	2000.2~至今	1 km/8 d & 1 km/a
MOD18-31	海洋参数	MODIS	2000.2~至今	1~36 km, 1°/1 d, 8 d, 月、年
MOD32	1 km 逐日海洋产品处理结构和配套数据	MODIS	2000.2~至今	1 km/无
MOD35	云掩膜	MODIS	2000.2~至今	250 m, 1 km/1 d
MOD36-37	海洋总吸收系数和海洋气溶胶特性	MODIS	2000.2~至今	1 km/1 d, 8 d, 月、年
MOD39	纯净水 Epsilon 系数	MODIS	2000.2~至今	1 km, 4.6 km, 36 km, 1°/1 d, 8 d, 月、年
MOD40	栅格的热异常	MODIS	2000.2~至今	1 km, 10 km, 0.5°/1 d, 8 d, 16 d, 月
MOD43	BRDF/反照率	MODIS	2000.2~至今	1 km, 10 km, 0.5°/16 d; 0.25°/32 d
MOD44	植被覆盖转变	MODIS	2000.2~至今	250 m, 10 km/3 月、年
GLASS LAI, $\alpha$ , $\epsilon$	叶面积指数、反照率、发射率	AVHRR+ MODIS	1985~2010	5 km/8 d
GLASS PAR, S	光合可利用辐射、下行短波辐射	MODIS	2008~2010	5 km/3 h

地产品。该系列产品是当前种类最多的全球遥感产品数据集,被广泛地应用于陆表过程和低层大气内的各个方面,监测其动态变化过程。但由于 MODIS 的大量产品是在波段数据上的衍生产品,算法都是针对全球覆盖,在区域上的应用精度有待进一步分析,因此利用区域地面观测结果进行 MODIS 产品精度验证和改进的工作被大量开展。

#### 2.4 整合多个传感器

除了前面提到的 LTDR 计划整合 AVHRR、MODIS 和未来的 VIIRS 数据来开发全球低分辨率(0.05°)长期数据记录以外,2009 年依托国家高技

术研究发展计划(863)项目的支持,在收集整理不同传感器的全球长时间序列遥感数据、地面观测数据、各种遥感数据产品的基础上,我国发展全新的遥感数据反演算法,生成了 1985~2010 年长时间系列的全球 LAI、反照率和发射率产品(<http://glass.bnu.edu.cn/>)。其 2000 年以前的产品主要来源于 AVHRR 数据,其 2000 年以后的产品主要来源于 MODIS 产品,时间分辨率为 8 d,空间分辨率 5 km(表 1)。该数据集是我国第一个自主生产、全球覆盖的长时间遥感产品系列,也是全球第一个基于不同传感器形成的更长系列的遥感数据产品集。其整

合模式将是未来几年里遥感产品生产值得借鉴的一种新模式。

## 2.5 其他遥感产品

表 1 列出了基于 AVHRR、VEGETATION 和 MODIS 传感器获取的卫星数据生成的主要的长时间系列的数据产品。除此之外,全球还有研究人员基于这些数据反演出大量遥感产品,包括 LAI/FPAR、Fire/火迹、LST/发射率、物候、土地覆盖、雪盖、反照率等,多数是全球覆盖,分辨率多在 1 km,时间系列部分为某一年,也有和卫星的数据时间一致的,基于 MODIS 数据的产品较多,其次是 VEGETATION 和 AVHRR。由于这些产品数量众多,例如仅 LAI 产品就多达 20 多种,因此不再一一列出,部分产品的信息可以从地球观测卫星委员会 (CEOS) 的陆地产品真实性检验 (Land Product Validation, LPV) 网站查询 (<http://lpvs.gsfc.nasa.gov/>)。

## 3 数据产品处理与分析

### 3.1 时间系列重建

时间系列遥感产品数据集一般都经过了较为严格的预处理,但由于受到云和气溶胶等大气条件和传感器自身等因素的影响,仍然残留较多噪声,出现陡升或者陡降的情况,影响了数据集的使用<sup>[5]</sup>。时间系列遥感产品的重建是解决这一问题的主要手段,目前国际和国内学者已经发展了 10 多种时间系列重建的方法。例如:最佳指数斜率提取法<sup>[6]</sup>、均值迭代滤波法<sup>[5]</sup>、傅立叶变换法<sup>[7]</sup>、Savitzky-Golay 滤波法<sup>[8]</sup>、非对称高斯函数拟合法<sup>[9]</sup>及时间序列谐波分析法<sup>[10]</sup>等。因此新方法的发展已经显得不是那么重要,重点可以开展以下 3 个方面的深入研究:① 对已有方法的比较,对各种方法的适合性进行评价,给用户一些指导性意见<sup>[11]</sup>;② 对某个方法进行改进和完善<sup>[12]</sup>;③ 发展综合性的方法,将多种方法的各自优势体现出来,可以从两个方面考虑,一是分析每一个可能噪声点的特性,选择最优重建方法进行重建,对噪声点的分析是关键,第二利用多种方法进行重建,根据重建结果进行噪声概率分析和重建<sup>[13]</sup>。

### 3.2 时间系列资料比较和延长

不同时间序列的数据比较和相互转换是这两年来一个新的热点,很多学者在这方面做出了初步的尝试。早期的长时间系列可见光/近红外产品主要是基于 NOAA AVHRR,这种比较研究主要针对 AVHRR 生成的不同遥感产品,例如 Pathfinder、

GIMMS 和 FASIR 进行比较,比较内容主要体现在由于不同数据预处理方法而导致的产品差异。20 世纪末,一些新型的传感器涌现,例如 SPOT VEGETATION、MODIS、MERIS 等,由于不同传感器的时间覆盖有重叠,基于不同传感器生成的产品的比较成为热点。在此过程中,除了考虑大气校正等预处理对产品的影响,传感器波段的选择对产品的影响也是比较分析的重要因素。其主要的比较方法分为三大类:一类是针对不同传感器每个相对应的像元,比较其在相似波段上的观测值的相关性;第二类是比较不同传感器时间序列 NDVI 数据的相关性;第三类是在前两者的基础上,分别针对不同的植被类型进行像元不同观测值或者 NDVI 数据的比较<sup>[14]</sup>。

由于不同传感器时间系列资料覆盖的时间段不同,例如 GIMMS NDVI 到 2006 年,而 VEGETATION 和 MODIS 持续至今,因此也有不少学者在时间序列延长上也作出了尝试。延长的方法主要有水平延长和垂直延长两类。水平延长是利用两景相同时相上两传感器测得的 NDVI 数据,或者相同时间间隔内两传感器的合成数据,在一个特定小区域内选取样本像元,或者分别针对不同的植被类型选取样本像元,然后建立回归模型<sup>[15]</sup>;垂直延长是针对同一像元,将两传感器不同时间步长的数据利用同样的数据合成方法,如最大值法,合成为相同时间步长的时间序列,再用这两组时间序列数据建立该像元的回归模型<sup>[14]</sup>。

### 3.3 遥感产品真实性检验

随着遥感技术的不断发展,越来越多的遥感卫星升空,新型的星载传感器也不断涌现,形成了内容丰富的遥感产品。遥感反演产品和应用产品是否准确、真实地反映实际情况,最终必须经过遥感产品的真实性检验才能得以确认。然而,由于遥感产品真实性检验工作的不足,真实性检验系统性理论、方法和手段严重缺乏,对非均匀地表特性的尺度转换研究的滞后,使得像元尺度的遥感反演结果与单点或者光斑尺度的地表观测信息严重脱节,极大地制约着遥感数据及其产品的推广应用、遥感定量化水平的提高<sup>[16]</sup>。

针对 MODIS 遥感产品的检验工作在全球许多区域广泛开展,例如 1999 年启动了大足迹研究计划 (Big Foot),通过对站点周围 5 km×5 km 范围的土地覆盖、叶面积指数、光合有效辐射、NPP 等参数的地面观测,验证 MODIS 的相应产品并改进产品生产算法<sup>[17]</sup>。欧空局也于 21 世纪初启动了 VALERI

(Validation of Land European Remote Sensing Instruments) 计划,对包括 MODIS、VEGETATION、MERIS、POLDER、AVHRR 等传感器生产的陆地遥感产品,例如反照率、植被覆盖度、LAI/FPAR、植被指数等进行全球范围的真实性检验<sup>[18]</sup>。而目前正在执行 LPV,其任务就是协调包括两大真实性检验计划在内的国际陆地遥感产品真实性检验,制定陆地遥感产品真实性检验的标准指南与规范,促进陆地遥感产品真实性检验相关数据和信息的共享和交换<sup>[19]</sup>。以上验证多是利用地面单点的观测资料对遥感数据或产品进行精度评价,也有少量研究考虑了尺度问题,重点是探讨地面观测尺度上推到像元尺度,有些研究则重点考虑观测足迹(Footprint)。针对全球遥感产品的验证,依托一些观测网络开展是比较可行的办法,例如气溶胶自动观测网(AERONET)<sup>[20]</sup>、国际通量观测网络(FLUXNET)<sup>[21]</sup>和国际土壤水分观测网络(International Soil Moisture Network)<sup>[22]</sup>。

随着无线传感器网络(WSN)、基于足迹的观测手段的应用,考虑尺度效应和地面观测空间代表性的研究逐渐得到深入。例如针对土壤水分、地表温度等变量,可以在  $3\text{ km} \times 3\text{ km}$  的范围内充分考虑地表空间异质性的特征,布设数十个乃至上百个 WSN 的观测节点,来捕捉这些参数在空间分布上的特征,发展尺度转换方法,实现像元尺度遥感观测结果真实性检验。而涡动相关系统 EC(Eddy Covariance)、大孔径闪烁仪 LAS(Large Aperture Scintillometer)、宇宙射线土壤水分和积雪观测系统 COSMOS(Cosmic-Ray Soil Moisture/Snow Observing System)等手段,相对于单点上的观测,可以获取一定区域覆盖的地表参数观测结果,在验证时考虑源区的影响,可以很好地改善验证结果。以黑河流域盈科绿洲的 EC 观测为例,考虑了源区的验证策略可以更加合理地评价遥感估算的精度,并且源区越大,其在验证评价可靠性中的作用越明显<sup>[23]</sup>。

有些遥感产品在局部区域有较大偏差,主要是由于反演模型中的参数拟定问题造成的,所以在区域尺度上对参数进行重新拟定,可以很好地改善遥感产品的精度。针对 MODIS GPP 产品,利用北方干旱一半干旱地区协同观测的 10 个通量站观测结果进行验证,结果表明该产品存在大幅低估的现象,主要是由于最大光能利用率所导致的,同时 MODIS GPP 算法中没有区分 C3 和 C4 作物。基于以上原因,充分利用现在已有的大量的通量观测数据,重新

标定 MODIS GPP 算法中的参数,对 FPAR 数据做进一步的处理,减小噪声,同时应用更加详细和分辨率更高的植被类型图来实现 C3 和 C4 作物区分。修正该参数后模拟的结果与观测结果明显改善<sup>[24]</sup>。

针对 MODIS 1 km 分辨率的日地表温度产品,利用黑河流域自动气象站红外辐射温度计数据和四分量长波辐射观测数据进行对比验证,结果表明使用长时间的夜间长波辐射数据验证 MODIS 地表温度产品更合理;黑河流域的 MODIS 地表温度产品的平均绝对误差小于  $2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[25]</sup>。利用北方干旱一半干旱协同观测的 12 个气象站的四分量观测数据进行验证,结果表明该产品存在一定程度上的低估现象,尤其是在高温范围。同时产品的低估程度也和地表覆盖类型有关,表现在沙漠地区低估现象要比植被覆盖区域明显。

## 4 数据产品应用研究

### 4.1 地表覆被特征的动态监测

在早期,长时间系列数据产品多被用于监测区域植被覆盖的动态变化特征,并分析气候或者人为因素驱动作用<sup>[2]</sup>。但相关的研究在全球、洲际和区域尺度上被广泛地开展,目前如果仅是在不同区域上开展类似的研究已经意义不大,但可以作为一种常规监测手段,和其他研究结合起来,例如在干旱区,可与地下水模拟结合,也可以和沙尘暴的监测结合起来。同样,时间系列的遥感产品还可以用来监测其他地表覆盖的动态变化特征,例如干旱区水体变化、大面积雪盖变化、生物多样性特征变化等。基于时间系列的 SPOT/VEGETATION 数据,利用 NDVI 和 NDWI 两个指数来监测 Ebinur 湖 1998~2005 年的面积变化,精度能达到 91.4%,结果表明:其湖泊面积有较为显著的增加趋势,但近期的研究表明 2006 年下半年以后,水面又出现持续下降的趋势<sup>[26]</sup>。

### 4.2 物候、种植结构等信息提取

由于多时相遥感资料比单时相具有更丰富的特征信息,特别是粗分辨率遥感影像逐日的全球覆盖,可以精细地提取作物生长季的开始、生长最盛和结束时间的物候信息。而不同年份的物候信息的提取,可以用来分析物候在时空上的动态变化特征,从而进一步分析气候变化或者气象驱动因子对生长季变化的影响<sup>[27]</sup>。基于物候信息的差别,多时相遥感资料在作物分类识别中也具有重要意义。例如借助 Adaboost(Adaptive Boosting)和支持向量机 SVM

(Support Vector Machine)算法,对黑河中游灌区主要农作物进行分类获得较高的分类精度,分类结果能够较好地反映主要农作物的空间分布状况<sup>[28]</sup>。与此同时,在了解灌区主要农作物分布信息的基础上,得到相应的混合像元分解产品,对改进和优化陆面过程模型以及其他应用具有重要意义。

#### 4.3 遥感产品在模型中的应用

遥感产品作为一种对地观测信息,可以通过3种方式应用到模型研究中:①提供参数和初始状态,例如提供辐射、降水等,而像LAI、反照率、积雪面积等产品可以直接作为过程变量输入到模型中;②模型和观测的融合,通过参数估计方法在区域尺度上标定模型,也可以通过数据同化的方法,把遥感作为观测算子同化到模型中去;③验证模型模拟结果,遥感作为区域的观测结果,可以和模型模拟结果进行比较,分析模型在空间分布上模拟的能力。目前我们也在尝试这方面的时间系列资料应用研究。

以黑河中游的人工绿洲为例,获得一个区域每个像元的灌溉信息(灌溉时间、灌溉量)是比较困难的,而灌溉对作物的生长起着关键的作用,在这些区域生态过程模型模拟的植被生产力、叶面积等都会有一定的偏差,而通过同化遥感获取的叶面积指数、FPAR或者通过观测算子同化遥感获得的地表反射率就可以纠正模型的这一偏差。为了准确模拟陆表生态过程的动态变化,陆地生态系统模型需要精确地表达物候过程,为了提高模型模拟的精度,一方面,我们需要加强对物候过程的机理认识,改进物候过程的参数化方案;另一方面,我们可以充分利用已有的观测数据或卫星产品,比如MODIS LAI产品,替换模型对物候过程的模拟,从而提高模型的模拟精度;或者利用模型—数据融合的方法,通过数学方法调整模型的参数或状态变量,使模拟结果与观测数据之间达到最佳匹配。

### 5 时间系列遥感数据产品展望

随着全球发射越来越多的各类卫星,可以用于产品生产的数据源也会越来越丰富,同一波段多个传感器数据整合将是一种发展趋势,有助于获得更长时间系列的遥感产品。这些可见光/近红外、短波红外和热红外段由于受到云的影响,数据会出现不连续的情况,融合其他波段的信息,例如微波观测,可以插补或者重建部分缺失的区域,形成空间和时间内更为连续的遥感产品。现在我们同时期能够获得多个卫星传感器的数据,从而生成不同系列的遥

感产品。由于各个传感器在波段设计、资料预处理和产品生产算法等方面有一定的区别,因此生成的产品也有一定的差别,同时使用,需要对这些产品进行比较,分析其可比性。同时,全球中高分辨率的传感器数据逐渐免费开放,其中Landsat TM/ETM+就是典型代表之一,基于这些数据的遥感产品也快速兴起,例如NASA的WELD项目<sup>[29]</sup>。但受限于中高分辨率的重访周期,数据处理也是巨大的挑战,此类产品很难达到粗分辨率产品的时间分辨率。

随着研究不断深入,系列遥感产品从早期以波段信息(反射率和亮温等)和植被指数为主的初级产品发展到现在的大量专题产品。原始产品在时间和空间方面的一致性较好,一般不用考虑数据在不同区域的精度,也不开展细致的地面精度验证。其预处理多为时间系列重建,用于插补部分受到污染的某一个或者一段数据,对于重建的精度,也只有少量实地测量予以验证和精度评价。但对于专题产品,反演算法是研究的热点之一,不同的反演算法所考虑到侧重点不一样,从而具有一定的针对性,使得产品在某一方面有优势,例如对某一地表类型的估计精度更高等。许多遥感产品都有带有质量控制标记(QA),目前许多研究在利用这些数据时,都不将其作为一个重要的信息应用到数据质量判断中。也有部分在产品验证<sup>[25]</sup>、系列重建<sup>[30]</sup>和模型应用等过程中考虑QA的研究。在今后时间系列产品评价和应用研究中,需要考虑在QA信息基础上进行进一步分析,这样有利于减少质量不好的数据对分析结果的影响。

产品反演有时会需要提供部分先验信息,但不同区域能够获取的先验信息质量不一样,导致数据产品在不同区域上的精度差别很大,特别是全球产品,很难做到在全球尺度上精度一致。对于这些产品在不同区域上进行精度验证在当前是非常重要的工作,LPV计划是一项非常有意义的尝试,可以对不同来源(算法和原始数据)、同一要素的遥感产品进行验证和精度评价。但验证像元尺度遥感产品,以前以单点地面观测为主要数据源的方式需要大力改进,需要充分考虑地面要素本身的空间异质性和地面观测的代表性,通过多点观测、足迹/斑块观测,发展地面优化采样和尺度上推技术,获取地面像元尺度“真值”,从而更好地实现遥感产品的真实性检验。

可见光/近红外、短波红外和热红外长时间系列遥感基础原始数据产品的开发以美国和欧洲为主,从AVHRR(PAL、GIMMS、LTDR)到VEGETA-

TION 到 MODIS, 中国虽然也发射了风云系列卫星, 但在基础原始数据的处理和产品提供上还没有完全实现。而当前基于这些原始数据开展专题遥感产品的生产可谓百花齐放, 全球众多研究机构都在开展相关的工作。中国在近几年也大力关注这一领域的发展, 在国家高技术研究发展计划(863)的支持下, 先后启动了“十一五”期间的两个全球遥感产品生产的项目, 一个为 GLASS 产品系列(表 1), 另一个为全球 30 m 分辨率的两期土地覆盖数据。在“十二五”期间, 分两期分别支持全球遥感产品算法的发展和生产体系的建立。在这些项目的支持下, 我国的遥感产品生产有望实现突飞猛进, 在国际上取得一席之地。这些研究计划如果能够基于国产遥感卫星数据(例如风云 3)开展深入研究, 获得高精度的产品, 应该比仅应用当前国际上主要的几个传感器获取的数据更具有划时代的意义。

#### 参考文献(References):

- [1] Wang Xuemei, Gao Feng, Ma Mingguo. Introduction of Global Land Imaging Satellites[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2006, 21(6): 607-611. [王雪梅, 高峰, 马明国. 全球民用陆地成像卫星概览[J]. 遥感技术与应用, 2006, 21(6): 607-611.]
- [2] Ma Mingguo, Wang Jian, Wang Xuemei. Advance in the Inter-annual Variability of Vegetation and Its Relation to Climate based on Remote Sensing[J]. Journal of Remote Sensing, 2006, 10(3): 421-431. [马明国, 王建, 王雪梅. 基于遥感的植被年际变化及其与气候关系研究进展[J]. 遥感学报, 2006, 10(3): 421-431.]
- [3] Wang Zhengxing, Suo Yuxia, Lin Xin, et al. Advances in AVHRR Global Time Series: PAL-GIMMS-LTDR[J]. Resources Sciences, 2008, 30(8): 1252-1260. [王正兴, 索玉霞, 林昕, 等. AVHRR 全球时间序列研究进展: PAL-GIMMS-LTDR[J]. 资源科学, 2008, 30(8): 1252-1260.]
- [4] Pedelty D R, Vermonte E, Crystal S, et al. Generating a Long-Term Land Data Record from AVHRR and MODIS Instruments[C]//Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Barce Lona, 2007: 1021-1025.
- [5] Ma M G, Frank V. Reconstructing Pathfinder AVHRR Land NDVI Time-series Data for the Northwest of China[J]. Advances in Space Research, 2006, 37: 835-840.
- [6] Viovy N, Arino O, Belward A S. The Best Index Slope Extraction (BISE): A Method for Reducing Noise in NDVI Time Series[J]. International Journal of Remote Sensing, 1992, 13: 1585-1590.
- [7] Roerink G J, Menenti M, Verhoef W. Reconstructing Cloud-free NDVI Composites Using Fourier Analysis of Time Series[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(9): 1911-1917.
- [8] Chen J, Jönsson P, Masayuki T, et al. A Simple Method for Reconstructing a High-Quality NDVI Time-series Data Set based on the Savitzky-Golay Filter[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 91: 332-344.
- [9] Jönsson P, Eklundh L. Seasonality Extraction by Function Fitting to Time-series of Satellite Sensor Data[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2002, 40(8): 1824-1832.
- [10] Mark E J, David R L, Jude H K. Harmonic Analysis of Time-series AVHRR NDVI Data[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2001, 4: 461-470.
- [11] Hird J N, McDermid G J. Noise Reduction of NDVI Time Series: An Empirical Comparison of Selected Techniques[J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113: 248-258.
- [12] Yves J, José A S. Comparison of Cloud-reconstruction Methods for Time Series of Composite NDVI Data[J]. Remote Sensing of Environment, 2010, 114: 618-625.
- [13] Li Hangyan, Xie Yaowen, Ma Mingguo. Integrated Reconstruction Methods of Time-series NDVI Data Set[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2009, 24(5): 596-602. [李杭燕, 颀耀文, 马明国. 时序 NDVI 数据集重建方法评价与实例研究[J]. 遥感技术与应用, 2009, 24(5): 596-602.]
- [14] Song Y, Ma M G, Frank V. Comparison and Conversion of AVHRR GIMMS and SPOT VEGETATION NDVI Data in China[J]. International Journal of Remote Sensing, 2010, 31(9): 2377-2392.
- [15] Gallo K, Ji L, Reed B, et al. Multi-platform Comparisons of MODIS and AVHRR Normalized Difference Vegetation Index Data[J]. Remote Sensing of Environment, 2005, 99: 221-231.
- [16] Zhang R H, Tian J, Li Z L, et al. Principles and Methods for the Validation of Quantitative Remote Sensing Products[J]. Science China (Earth Sciences), 2010, 53: 741-751.
- [17] Warren B C, Christopher O J. Validating MODIS Terrestrial Ecology Products: Linking in Situ and Satellite Measurements[J]. Remote Sensing of Environment, 1999, 70: 1-3.
- [18] Baret F, Morisette J T, Fernandes R A, et al. Evaluation of the Representativeness of Networks of Sites for the Global Validation and Intercomparison of Land Biophysical Products: Proposition of the CEOS-BELMANIP[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2006, 44(7): 1794-1803.
- [19] Morisette J T, Baret F, Privette J L, et al. Validation of Global Moderate-resolution LAI Products: A Framework Proposed Within the CEOS Land Product Validation Subgroup[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2006, 44(7): 1804-1817.
- [20] Holben B N, Eck T F, Slutsker I, et al. AERONET - A Federated Instrument Network and Data Archive for Aerosol Characterization[J]. Remote Sensing of Environment, 1998, 66: 1-16.
- [21] Baldocchi D, Falge E, Gu L H, et al. FLUXNET: A New Tool to Study the Temporal and Spatial Variability of Ecosystem-Scale Carbon Dioxide, Water Vapor, and Energy Flux Densities[J]. Bulletin of the American Meteorological Society,

- 2001,82(11):2415-2434.
- [22] Dorigo W A, Wagner W, Hohensinn R, *et al.* The International Soil Moisture Network: A Data Hosting Facility for Global in Situ Soil Moisture Measurements[J]. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2011, 15: 1675-1698.
- [23] Song Y, Wang J M, Yang K, *et al.* A Biophysical based Surface Resistance Model to Estimate Latent Heat Flux Using Remotely Sensed Data[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2012, 17: 76-84. doi: 10.1016/j.jag. 2011. 10. 011.
- [24] Wang X F, Ma M G, Huang G H, *et al.* Vegetation Primary Production Estimation at Maize and Alpine Meadow over the Heihe River Basin, China[J]. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 2012, 17: 94-101. doi: 10.1016/j.jag. 2011. 09. 009.
- [25] Yu Wenping, Ma Mingguo. Validation of the MODIS Land Surface Temperature Products——A Case Study of the Heihe River Basin[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2011, 26(6): 705-712. [于文凭, 马明国. MODIS 地表温度产品的验证研究——以黑河流域为例[J]. *遥感技术与应用*, 2011, 26(6): 705-712.]
- [26] Ma M G, Wang X M, Frank V, *et al.* Change in Area of the Ebinur Lake during the 1998~2005 Period[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2007, 28(24): 5523-5533.
- [27] Zhang X Y, Mark A F, Crystal B S, *et al.* Monitoring Vegetation Phenology Using MODIS[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 84(3): 471-475.
- [28] Han H B, Ma M G. Research on Crop Planting Classification based on Multi-Temporal NDVI in the Middle Irrigated Areas of the Heihe River Basin[J]. *International Journal of Remote Sensing*(Under Review).
- [29] Roy D P, Ju J, Kline K, *et al.* Web-enabled Landsat Data (WELD): Landsat ETM+ Compositing Mosaics of the Conterminous United States[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2010, 114: 35-49.
- [30] Gu J, Li X, Huang C L, *et al.* A Simplified Data Assimilation Method for Reconstructing Time-series MODIS NDVI Data [J]. *Advances in Space Research*, 2009, 44(4): 501-509.

## Development Status and Application Research of the Time Series Remote Sensing Data Products based on AVHRR, VEGETATION and MODIS

Ma Mingguo<sup>1</sup>, Song Yi<sup>2</sup>, Wang Xufeng<sup>1</sup>, Han Huibang<sup>3</sup>, Yu Wenping<sup>1</sup>

(1. *Cold and Arid Region Remote Sensing Observation System Experimental, CAREERI, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China*; 2. *Institute of Earth Environment Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075, China*; 3. *Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China*)

**Abstract:** The global time series satellite remote sensing product has caught worldwide attention since it is developed. It is widely used in the global, intercontinental and regional dynamic monitoring of the surface features. It is also used to analyze the global changes by integrating with some climate change parameters (e. g. air temperature, precipitation). The contents and application areas of the time series remote sensing product extends greatly as the time series increases gradually and new sensors are constantly emerging. The development status of the currently international popular satellite remote sensing products (visible, near infrared, short wave infrared and thermal infrared bands) are introduced in this paper. The satellite sensors mainly include AVHRR, VEGETATION, and MODIS. The early researches mainly focused on the basic data preparation, which concentrates on the band information of visible-near infrared band reflectance and thermal infrared bright temperature, vegetation indexes. The thematic products, such as leaf area index and land surface temperature, are retrieved and estimated by these basic data products at present. The research progress and development trends of the further data processing, analysis, and application of the data product are introduced in detail. The data processing includes time series reconstruction, comparison and conversion, validation. The data application includes dynamic monitoring of the surface features, information extraction of phenology and planting structure, modeling application.

**Key words:** Time series; Remote sensing data product; AVHRR; VEGETATION; MODIS