



全球陆表特征参量产品生成与应用研究*

梁顺林^{1,2,3} 袁文平^{1,2} 肖青^{2,4} 赵祥^{1,2} 马明国⁵ 曾晓东⁶ 刘素红^{2,7} 程晓^{1,2}

(1 北京师范大学全球变化与地球系统科学研究院 北京 100875

2 中国科学院、北京师范大学遥感科学国家重点实验室 北京 100875

3 美国马里兰大学地理系 美国 MD 20742

4 中国科学院遥感与数字地球研究所 北京 100094

5 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 兰州 730000

6 中国科学院大气物理研究所 北京 100029

7 北京师范大学地理学与遥感科学学院 北京 100875)

摘要 针对全球环境变化研究,要充分发挥卫星观测数据潜力,特别是针对缺乏长时间序列、高时空分辨率和高质量的全球陆表特征参量产品。尽管我国已经发射了多个对地观测的卫星系列,但还没有生产出自己独特的全球陆表卫星产品。为了支持全球环境变化的研究,国内20多家大学和研究所于2009年承担了“863”重点项目——“全球陆表特征参量产品集生成系统研发与产品生成”,综合利用国内外卫星遥感数据源,开展了一系列研究工作。本文从数据收集管理、算法发展、产品生产与验证、产品发布以及产品应用示范等方面对GLASS产品生成与应用研究的成果进行了系统阐述。

关键词 GLASS产品,陆表遥感,叶面积指数,反照率,发射率,下行太阳辐射

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3045.2013.Z01.015



梁顺林教授

1 引言

随着社会经济活动的高速发展,地球生态环境正在受到日益严重的污染和破坏,全球变暖、干旱、洪灾等一系列环境变化问题已经成为全球关注的焦

点,利用遥感对地观测技术探索和研究这些重大的全球性环境问题是直接有效的手段。与此同时,不断发展的遥感技术实现了对地球高频次的信息获取,自20世纪70年代以来,全球已先后发射多颗对地观测卫星,并陆续形成了一些全球陆表参量产品,地球观测及其信息的价值变得前所未有的重要。目前,陆表特征参量参数的反演在时间和空间上不连续,研究者无法得到更高精度的地表过程定量模型。在全球变化研究中,我们迫切需要一套长时间序列、高时空分辨率和高质量的全球陆表特征参量数据集。

* 收稿日期:2013年3月20日

已有的遥感产品均基于单一传感器、单一算法获得,受卫星发射时间的限制,单一传感器反演产品的时间序列较短,不同传感器生产的同一种参数产品一致性较差,很难形成长时间序列的数据产品。同时云、雪、气溶胶等因素的存在也影响这些产品的空间连续性,从而限制了已有的遥感产品在气候研究中的分析,难以满足陆面过程模拟对输入参数的要求。

我国政府意识到地球系统模型研发与全球变化研究发展所面临的重要机遇,于2009年启动“863”重点项目——“全球陆表特征参量产品生成与应用”。经过3年的攻关,项目组生产了5种全球陆表卫星产品(Global LAnd Surface Satellite 产品, GLASS),并对这些产品进行了应用示范研究,表1列出了5种GLASS产品概要信息。

表1 5种GLASS产品

产品名称	时间范围	空间分辨率(公里)	时间分辨率
叶面积指数	1982—2012	1.5	8天
长波发射率	1981—2010	1.5	8天
短波反照率	1981—2010	1.5	8天
下行短波辐射	2008—2010	5	3小时
下行光合有效辐射	2008—2010	5	3小时

下面将分6个部分简要地介绍全球陆表特征参量产品生成与应用研究的主要成果,更为详细的内容请参见其他出版物^[1,2]。

2 数据收集、管理和预处理

2.1 全球多源对地观测数据的收集与管理

为了满足GLASS产品生产需求,需要收集全球范围内多种传感器的原始数据和多种产品数据以及多个全球气象、生态网络台站的监测数据,并对所收集的数据进行整理和格式转换,为生产5种GLASS产品提供格式统一、时空覆盖完整的基础数据。

实际执行过程中,项目组采取网络下载和数

据协议拷贝的方式,获取了AVHRR、MODIS、GOES11/12等10种以上卫星传感器的原始数据和已有的叶面积指数、地表反照率、地表发射率、下行短波辐射、下行有效光合辐射参数的各种卫星数据产品,再经过统一编目,按照数据类型、时间年限、数据大小、存放盘号进行编目登记,并对所有数据进行1对1异地备份,以确保数据的安全性。经过以上工作,项目组收集、整理和汇编了总量达580TB的卫星遥感数据以及多种再分析数据。

2.2 多源对地观测数据的预处理

输入数据的质量在很大程度上决定了最终产品的质量。为有效服务于GLASS产品生产,预处理工作集中解决以下问题:(1)重新判断处理地表反射率数据的云、雪和云影的像元标识;(2)地表反射率、反照率数据的云雪去除和时空滤波的处理;

(3)MODIS的swath数据投影重采样,空间网格化后合成为tile,处理生成了10种中间产品。其主要特色:(1)时间序列方法,辅以时空先验知识和时空连续性;(2)利用基于条带的方法,分步执行重采样,快速实现全球多年MODIS云顶反射率等条带数据的网格化;(3)创新性的自适应能力云雪检测方法,以适用于GLASS后续产品应用。

总体而言,预处理算法使用长时间序列的地表反射率时间变化特征和光谱特征检测云雪,结合时间和空间先验知识区分云和雪,其特点是综合利用了时间、空间和光谱信息,克服了采用传统阈值方法导致的云雪误判和漏判,同时保证了数据的时空连续性。

3 算法发展

严谨适用的算法是GLASS产品生产的前提,对于每种GLASS产品,项目组分别进行了关键核心算法和产品业务化运行算法的研制。关键核心算法旨在对产品进行难点突破和理论提升,产品业



务化运行算法基于关键核心算法并结合工程化生产的需求,力求稳定高效业务化运行与规模化产品生产。为了严格控制算法质量和进度,项目组于2010年对5种GLASS产品ATBD (Algorithm Theoretical Basis Document)分别进行了80%和100%答辩评审,这

是非常必须而有效的工程控制。相关产品算法的文章均已陆续发表于世界顶尖级的遥感期刊。

3.1 叶面积指数

目前,全球已有的叶面积指数产品覆盖的时间尺度有限,并且存在数据缺失、异常和产品不确定性较大等问题。

GLASS LAI产品采用“多输入-多输出”的广义回归神经网络算法^[3],该算法最大的特色是使用一年的MODIS或AVHRR数据作为输入,一次性得到一年的LAI产品,用该方法可很好地抓住植被的物候变化规律。此外,我们挑选了MODIS和CYCLOPES产品中数值接近的高质量反演的数据作为训练数据集。因此,相较于全球已有的LAI产品而言,GLASS LAI产品具有时间完整、空间连续、精度较高等特点。

影响LAI产品精度的主要问题之一就是对混合像元的聚集指数处理在一定程度上基于纯像元假设,对植被覆盖异质性较大地区LAI估算会带来较大的误差。我们考虑混合像元内的不均匀性,定义了混合像元等效聚集指数,并基于孔隙率计算公式和混合像元线性混合模型,推导得到混合像元的聚集指数计算公式,采用VALERI观测项目提供的验证数据并集和国内多个站点的数据对算法进行了验证,算法精度有较大提高^[4]。

3.2 短波反照率

国外许多学者对遥感反演陆表反照率的方法开展了大量的研究,形成了以MODIS、POLDER、MERIS、SPOT等为代表的一系列全球反照率产品(图1),但是这些产品中仍然存在很多问题,比如单

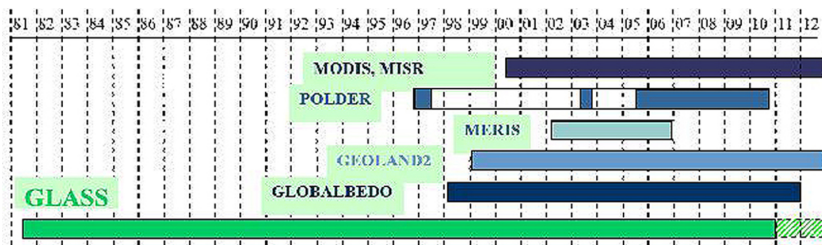


图1 目前主要的地表反照率产品

一传感器不能形成长时间序列产品;产品精度较低;产品空间存在一定缺失等。

通常的反照率算法是基于大气校正,地表方向反射率反演和狭宽波段转换3个过程,每个计算过程均会产生误差,累积的误差会影响最终结果。本项目采用了基于波段反射率直接计算反照率的算法^[5],首先分别利用大气顶端反射率和地表反射率来生产反照率初级产品,然后通过融合的办法生成最终产品。这是目前世界上首次用多算法集成的方法生成全球陆表产品,以提高产品精度。与此同时,该算法使用背景场的信息对缺失的数据进行补充,因此GLASS反照率产品也具有时空连续完整的优点。GLASS反照率产品是目前世界上覆盖时间跨度最长的全球陆表反照率产品。

在波段反射率转换的多传感器数据协同反演方法中,我们研究了多传感器地表BRDF/反照率遥感反演方法和信息量评价,解决了利用新增遥感数据如何提高BRDF/反照率反演精度、时间分辨率和时空连续性问题。

3.3 宽波段发射率

地表宽波段发射率是地表能量平衡估算的关键参数,由于目前发射率数据缺乏有效的观测,在气候模式中通常将其设置为常数或者采用简单参数化方案表征,已有的发射率产品(表2)存在分辨率低、无法反映地表发射率真实变化等不足,长时间序列、高时空分辨率的全球陆表宽波段发射率遥感产品仍属空白。

GLASS产品针对裸土区,提出了利用热红外波段发射率与可见光/近红外波段反射率的多元线

表2 目前已有的发射率产品

作者	方法	分辨率	光谱范围	用途	缺点
Wilber 等	根据地	全球 10'×10'	12个波段和宽波段(5—100μm)	辐射传输模式和 NASA 云与地球辐射能量系统	无法反映地表
	表类型				发射率的真实
	赋值				变化
Seemann 等	基线拟合	全球 0.05°;月平均, 2000—2010	3.6—14.3μm 内 10 个波段发射率	改善大气温湿度廓线反演精度	单一传感器; 未验证
Pequignot 等	多光谱方法	全球南北纬 30°,月平均;3 年; 1°×1°	3.7—14 μm; 0.05 μm		同上;空间分辨率太粗;

性回归模型,结果优于现有方法中利用热红外波段发射率仅与红光波段反射率建立线性关系模型的结果;针对植被区,建立了宽波段发射率与 MODIS 植被指数及 7 个波段反照率的线性回归模型^[6],不仅克服了现有方法中对所有植被只赋 1 个常数值缺陷,还保留了观测角度的信息;此外,还建立了窄波段方向发射率向宽波段方向发射率的转换模型^[7,8],实现了宽波段方向发射率的遥感反演。

除了针对 MODIS、AVHRR 等国外数据研究外,项目组还实现了国产卫星数据 FY-3/VIRR 宽波段方向发射率的遥感反演方法,为后续利用国产卫星数据生产 GLASS 产品奠定了基础。

3.4 下行短波辐射

短波辐射是研究陆表辐射收支平衡及其对气候影响的重要参数,现有的全球下行短波辐射产品(表3)空间分辨率较低,无法满足地表科学的应用需求,其精度也有待提高。

为了生成高时空分辨率全球覆盖的下行短波辐射产品,项目组首次联合使用多个静止卫星(GOES、MSG、MTSAT 等)遥感数据和极轨卫星

(MODIS)数据作为产品的输入数据,图2显示了使用的静止卫星覆盖的范围。产品生产算法采用基于查找表业务化生产方法^[9,10],将地表高程加入查找表中,提高了在高原区域估算精度。在保持算法反演精度的前提下,大幅度提高了全球辐射产品的空间分辨率。GLASS 下行短波辐射产品是目前世界上空间分辨率最高的全球陆表下行短波辐射产品。

此外,项目组还研制了基于宽波段辐射传输方程的物理意义明显的地表太阳下行辐射遥感估算方法,发展了 Heliosat 类似的宽波段辐射传输方程,显式表达云的辐射传输过程,同时显式表达由地表反照率引起的地表和大气间的多次散射,建立耦合极轨与静止卫星数据的短波下行辐射算法^[11]。

3.5 光合有效辐射

目前已有的光合有效辐射与下行短波辐射产品情况类似,空间分辨率较低,而且产品数更少。项目组采用了与下行短波辐射相似的基于查找表的业务生产方法^[10],该方法具有与下行短波辐射相似的算法先进性和特色。为实现全球产品生产,结

合覆盖全球范围的多颗静止卫星,针对气溶胶类型、水云模式、云光学厚度,分别构建下行光合有效辐射和上述各云光学物理参数的查找表(LUT-A),以及云光学物理参数与传感器敏感波段间的查找表(LUT-B);验证结果表明该算法不但可以提高产品的空间分辨率,而且产品

表3 现有全球下行短波辐射产品

产品	空间分辨率	时间分辨率 (小时)	时间范围
ISCCP	280km	3	1983—2008
GEWEX-SRB	1°	3	1983—2007
CERES	140km	3	1997—目前
GLASS	5km	3	2008—2010

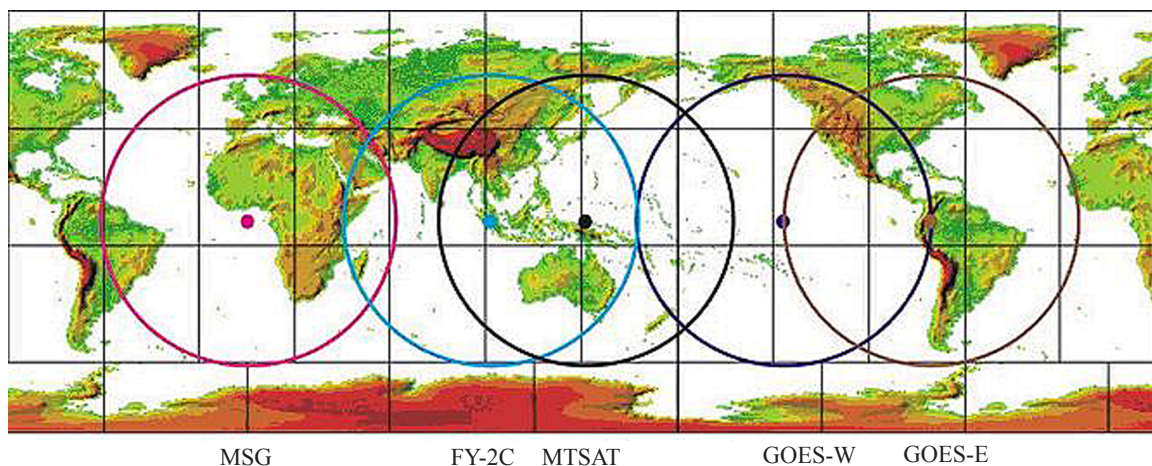


图2 辐射产品生产使用的静止卫星空间覆盖范围

精度也有明显的提高。

同时项目组对现有的光合有效辐射全球产品算法进行了全面的分析与对比,发展了基于大气辐射传输模型6SV查找表的反演算法,并且利用国产HJ-1和FY-3卫星数据实现了算法;发展了静止卫星与极轨卫星相结合的下行光合有效辐射反演算法,也可实现3小时5km产品的全天候产品生产。

4 产品生产、质量控制和精度验证

项目组建立了一套业务化的GLASS产品生产系统。首先,由生产组集成算法和数据,建立软硬件系统后,采用工程化方法对产品进行批量生产;当某一批次产品生产完成之后,由质检组完成产品的质量检查,将产品按不同问题分类反馈回生产组,由生产组协同算法组查找并解决问题,再进行另一批次的生产;最后,当全部产品通过检查后,则将其提交到验证组进行精度检验。

4.1 产品生产

项目组在北京师范大学全球变化与地球系统研究院高性能计算系统上进行扩建,构建了完整的对地球观测数据综合处理和产品生产平台。该平台具有多任务分布式计算、多通道数据并发远程读写等特点,有效地提高了GLASS产品的生产效率。基于这套GLASS产品生产系统,项目组于2012年9月底完成了GLASS产品V3版本的生产

与质检。

4.2 产品质量检查

质量检查的数据包括原始数据、预处理数据与各类高级产品数据。采用计算机自动检查和人机交互二种方式。空间连续性的判断可以从整体上对产品进行检查,地类取值的判断则主要是从地类特性方面对产品进行检查,质检人员从这两个方面对所有产品进行判断。

4.3 产品精度验证

针对GLASS产品的特点,项目组制定了GLASS产品精度验证规范,目的是为了保证不同区域、不同单位对GLASS产品验证的一致性。规范中强调必须通过较高空间分辨率的卫星数据作为中间数据,实现从点位观测到GLASS产品像元尺度间的信息转换技术。

项目组收集了全球大量的地面验证点数据,分布如图3所示。验证数据覆盖了亚洲、欧洲、北美洲、南美洲、非洲、大洋洲和部分北极地区,观测数据对应的下垫面地表覆盖类型超过20种。与此同时,项目组设立开放基金,吸引国内10多家具有地面观测数据的单位进行了第三方独立验证。

图4对比了三种叶面积指数产品和地面测量值,相较于MODIS和CYCLOPES产品,GLASS的LAI与地面观测值的吻合度更优,产品验证结果表明,GLASS产品具有较高的精度。

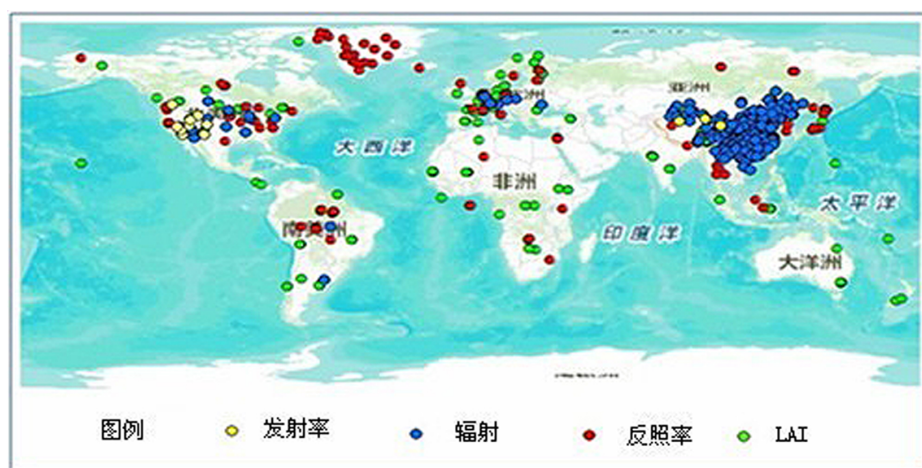
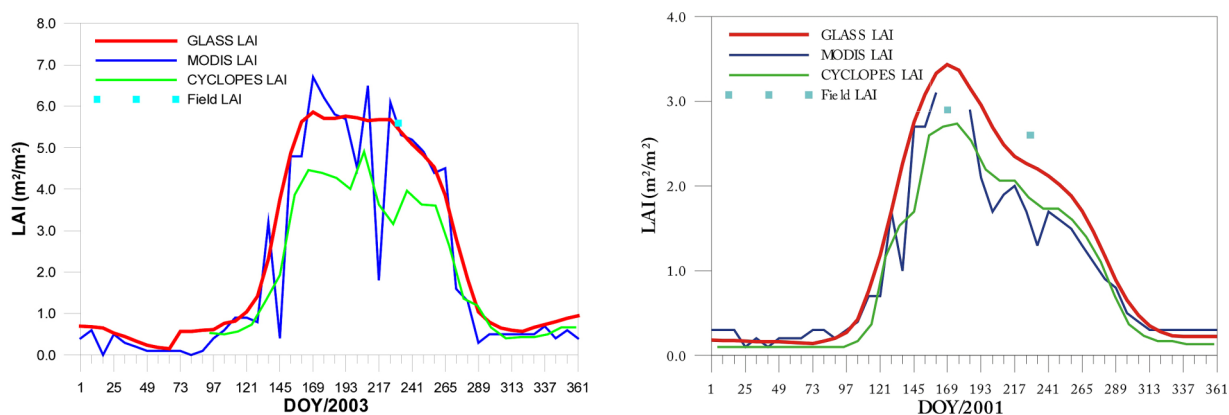


图3 GLASS 产品全球验证站点分布

图4 验证点GLASS、MODIS和CYCLOPES时间序列 LAI 曲线
(左图:2003年Larose验证点;右图:2001年Konza验证点)^[3]

5 产品发布

全球用户可通过北京师范大学全球变化数据处理与分析中心和美国马里兰大学 Global Land Cover Facility 免费下载所有 GLASS 产品。其网站地址分别是 <http://glass-product.bnu.edu.cn/> 和 <http://glcf.umd.edu/>。

2012年11月22日, GLASS 产品在地球观测组织(Group on Earth Observations, GEO)第九次全会上向全球用户发布, 这是中国首次发布具有中国自主知识产权的 GLASS 产品。产品发布会由中华人民共和国科学技术部国家遥感中心廖小罕主任主持, 科技部曹健林副部长宣布 GLASS 产品面向全

球政府组织、科研机构 and 公众免费共享。GEO 秘书处秘书长 Barbara Ryan 到场致辞, 祝贺 GLASS 产品发布会成功召开, 对中国在遥感领域做出的努力与成就给予了充分的肯定, 并对 GLASS 产品的发布会表示了极大的关注与期望(图5)。

6 产品应用示范

全球时间序列遥感产品自产生之日起便得到了高度的关注, 被广泛地应用于全球、洲际和区域的大气、植被覆盖、水体等方面的动态监测, 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。本项目利用 GLASS 产品开展了中国



图5 GLASS 产品发布会现场

区域陆面过程模拟与数据同化和全球陆表变化两个方面的应用示范。

6.1 陆面过程模拟与数据同化

模型模拟和观测是目前地球科学研究的两个基本方法,陆面过程模式由于模型初值、模型参数化、大气驱动和模型参数等因素的影响导致了模拟结果的不确定性,因此将区域覆盖遥感产品应用到陆面过程或生态模型中,提高模型模拟精度是当前研究的热点,数据同化则是实现这一过程的重要方法论。

项目组研发了高分辨率多源遥感数据同化系统(HDAS),该系统能够在陆面过程模型CoLM的动力学框架内利用集合卡尔曼滤波算法同化多源

遥感观测(叶面积、土壤水分、地表温度等)及其他观测资料,实现对中国陆地地区水文与生态过程的动态模拟、监测和预报。最终通过同化本项目生产的GLASS LAI产品和其他多源遥感产品,生产的同化数据产品为2005—2010年空间分辨率为5公里、时间分辨率为1小时的时空连续分布的同化数据集。利用北方干旱—半干旱地区协同观测和China-FLUX的站点进行同化结果的精度验证,表明同化遥感产品后较未同化前对土壤温度、土壤水分、感热/潜热通量等陆表过程的模拟结果均有较好的精度改进,提高了陆地表层系统状态

模拟和预报数据的物理和时空一致性(图6)。

6.2 全球陆表变化

GLASS产品可以广泛应用于全球陆表变化研究,用于检测全球气候及生态环境变化信号。例如,GLASS LAI产品很好地捕捉到由于严重干旱或热浪影响植被生长而导致的LAI比正常年份明显偏低的信号,而反照率产品则可反映亚马逊雨林区干旱导致的反照率上升及北半球北方森林区植被增加导致的反照率下降等信号。利用LAI进行植物物候分析,揭示了由于北半球中高纬度地区植被叶萌发期(图7)及盛叶期普遍提前,与其冬春季温度增加的格局有较好的相关性,其中寒带针叶林

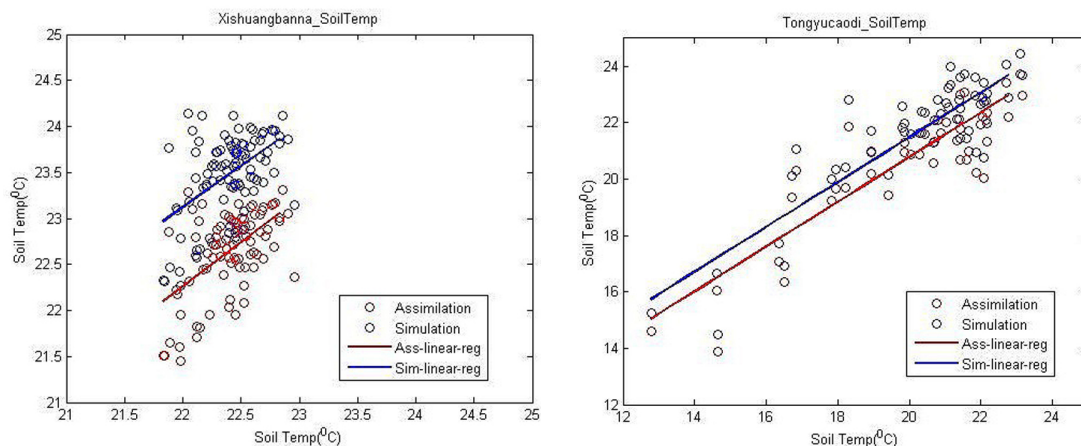


图6 同化GLASS LAI对10cm土壤温度模拟结果的改进(左图西双版纳站;右图通榆站,蓝色为同化前;红色为同化后)

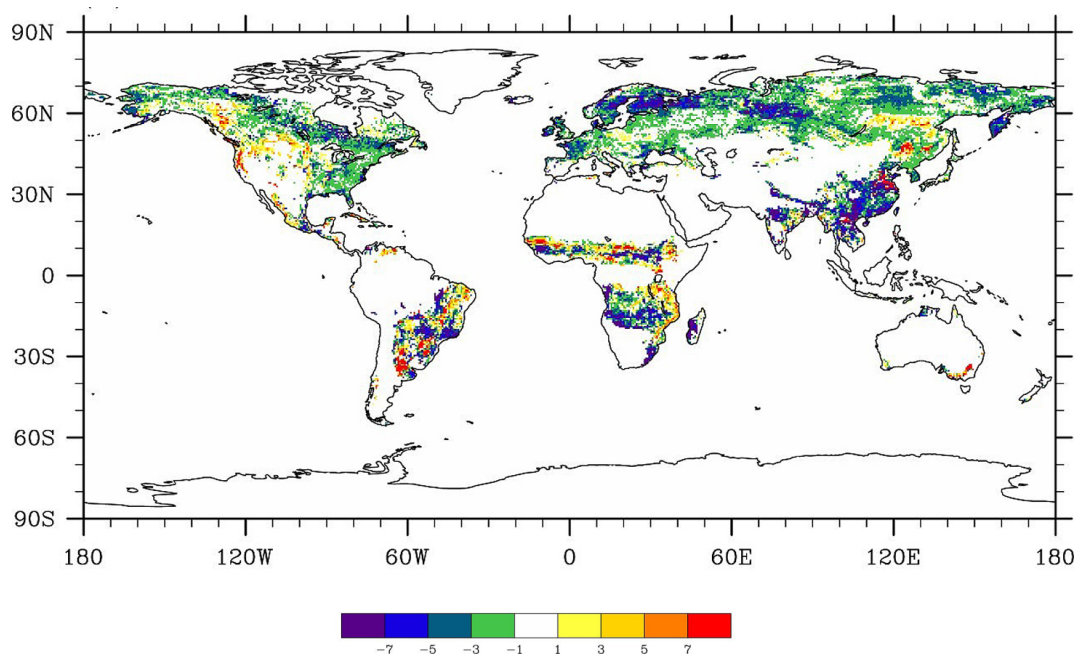


图7 1983—2009年叶萌发期的变化趋势(负值表示物候期提前;单位:天/10年)

的变化比草更为明显。

GLASS产品也可用于改善地球系统模式模拟。使用GLASS陆表产品替代地球系统模式相应变量,引入了植被的变化趋势及年际变化等信号,可以更好地研究植被—土壤—大气相互作用过程,如发现陆—气间水循环(蒸散发)的年际变化加大,并提高对地表气温变化趋势的模拟等。

7 结语

本项目生产了时间跨度和空间连续性都比较高的GLASS产品,并在陆表特征参量遥感提取方法和全球陆表特征参量产品生成的技术方法中取得了创新性的进展,同时,在关键陆面过程的参数化方案及数据同化技术和陆面模型的模拟能力也有大幅改进。

GLASS产品的发布说明我国已具有生产全球遥感产品的技术能力,对提升我国全球变化与地球系统科学研究水平和我国对地观测的科研能力及产品化能力有重要意义,为我国和国际全球变化与地球系统科学研究提供宝贵科学模拟系统和数据

平台,为生态环境演变规律与水土资源持续利用研究、生态环境监测、资源开发和社会经济可持续发展提供科学依据和技术支撑。

项目在实施过程中,组建了高水平的研究团队,培养了多名硕士、博士和博士后。项目组通过举办培训班,邀请国际知名学者进行主题报告,为青年学者提供了国际交流的平台,项目组以GLASS产品的算法和应用为基础,出版了两部专著(均为中英对照)^[12,13]。

GLASS产品基本上是基于国外遥感卫星数据。如何实现基于国产遥感卫星数据的产品生产,充分利用我国遥感产品的生产能力,将是今后继续工作的方向。

致谢 在项目执行期间,得到了徐冠华院士的指导和支持,也得到了国内外许多同行专家的指导和大力帮助。本项目共有国内20多家大学和研究所承担,得到了不同单位100多名师生和科研人员的帮助和支持,同时科技部国家遥感中心也给予了大力的支持和指导,在此一并表示衷心的感谢!



参考文献

- 1 Liang S, Xiao Z et al. Global LAnd Surface Satellite (GLASS) products: algorithms, validation and analysis. Switzerland, Springer, (2013a).
- 2 Liang S, Zhao X et al. A Long-term Global LAnd Surface Satellite (GLASS) dataset for environmental studies. International Journal of Digital Earth(In press), 2013c.
- 3 Xiao Z, Liang S et al. Use of general regression neural networks for generating the GLASS leaf area index product from time-series MODIS surface reflectance. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 2013,(99) : 1-15.
- 4 麻庆苗, 李静等. 混合像元聚集指数研究及尺度分析. 遥感学报, 2012, 16(5) : 895-908.
- 5 Qu Y, Liu Q et al. Direct-estimation algorithm for mapping daily land-surface broadband albedo from MODIS data. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing (in press), 2013.
- 6 Ren H, Liang S et al. Empirical algorithms to map global broadband emissivities over vegetated surfaces. Geoscience and remote sensing, IEEE Transactions on, (in press), 2012.
- 7 Tang B H, Wu H et al. Estimation of broadband surface emissivity from narrowband emissivities. Opt. Express, 2011, 19(1) : 185-192.
- 8 Cheng J, Shunlin L et al. Estimating the optimal broadband emissivity spectral range for calculating surface longwave net radiation. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2013, 10(2) : 401-405.
- 9 Wu H, Zhang X et al. Estimation of clear-sky land surface longwave radiation from MODIS data products by merging multiple models. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2012, 117(D22) : D22107.
- 10 Zhang X, Liang S et al. Mapping global incident downward shortwave radiation and photosynthetically active radiation over land surfaces using multiple satellite Data. J. Geophys. Res.(in press), 2013.
- 11 Qin J, Yang K et al. Estimation of daily mean photosynthetically active radiation under all-sky conditions based on relative sunshine data. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2012, 51(1) : 150-160.
- 12 Liang S, Li X et al. (2012). Advanced remote sensing: Terrestrial Information Extraction and Applications Academic Press.
- 13 Liang S, Xin L et al. Land surface observation, modeling and Data Assimilation, World Scientific, (2013b).

梁顺林 北京师范大学全球变化与地球系统科学研究院教授、美国马里兰大学教授。1993 年获得波士顿大学博士学位。长期从事定量遥感、地表参数反演,四维同化遥感数据产品以及环境变化评价等工作。创建了一系列用于遥感的土壤-植被-大气系统的辐射传输模型,并且发展了一系列卫星遥感地表参数反演算法。目前致力于卫星遥感在全球气候变化中的应用。发表SCI文章 160 余篇,出版英文专著 4 部,其中 3 部同时发布中文版。IEEE Fellow,担任 *IEEE Transactions on Geosciences & Remote Sensing* 杂志副编辑,《遥感学报》编委以及一系列国际遥感杂志的客座编辑。E-mail:sliang@bnu.edu.cn

Generation and Applications of Global LAnd Surface Satellite (GLASS) Products

Liang Shunlin^{1,2,3} Yuan Wenping^{1,2} Xiao Qing^{2,4} Zhao Xiang^{1,2} Ma Mingguo⁵ Zeng Xiaodong⁶ Liu Suhong^{2,7} Cheng Xiao^{1,2}

(1 College of Global Change and Earth System Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2 State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Jointly Sponsored by Beijing Normal University and Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100875, China

3 Department of Geographical Sciences, University of Maryland, College Park, MD20742, USA

4 Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China

5 Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

6 Institute of Atmospheric Physics, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

7 School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract The valuable role played by satellite observations in addressing global environmental changes has not been fully realized. The global land products of long time series, high spatial and temporal resolution, and high quality and accuracy are especially needed. Although China has launched a series of earth observation satellites, no high-level global land products have been produced previously. A project entitled "Research and Development of the System for Global Land Surface Parameter Product Set and Product Generation" was funded by the 863 program from 2009 to 2012 and participated by over 20 universities and research institutes, with the goal of producing five Global LAnd Surface Satellite (GLASS) products using multiple global satellite data sources. The inversion methods for generating these GLASS products have been published in the major remote sensing journals. A high-performance computer based production system at Beijing Normal University has been developed to produce these five GLASS products, which include Leaf Area Index (LAI), shortwave broadband albedo, longwave broadband emissivity, incident short radiation, and Photosynthetically Active Radiation (PAR). The first three products cover the years 1981-2012 (LAI) and 1981-2010 (albedo and emissivity) at 1-5 km and 8 day resolutions, and the last two radiation products span the period 2008-2010 at 5 km and 3 h resolutions. These products have been evaluated and validated, and the preliminary results indicate that they are of higher quality and accuracy than existing products. In particular, the first three products have much longer time series and are, therefore, highly suitable for various environmental studies. Studies have been also conducted to demonstrate the values of these GLASS products in land surface simulations through data assimilation and global environmental changes.

These five GLASS products are now available to worldwide users and are being distributed by the Center for Global Change Data Processing and Analysis, Beijing Normal University at <http://glass-product.bnu.edu.cn/> and the University of Maryland Global Land Cover Facility at <http://glcf.umd.edu/>.

This paper systematically documents the achievements of this 863 project from data collection and management, algorithm development, system development, product generation, validation, distribution, and application demonstrations.

Keywords Global LAnd Surface Satellite (GLASS) products, land remote sensing, Leaf Area Index (LAI), albedo, emissivity, incident solar radiation

Liang Shunlin Chief Scientific of Beijing Normal University and the University of Maryland. His main research interests focus on estimation of land surface variables from satellite observations, studies on surface energy balance, and assessing the climatic, ecological and hydrological impacts of afforestation in China. E-mail: sliang@bnu.edu.cn