

doi: 10.6046/gtzyyg.2018.01.03

引用格式: 刘远,周买春. MODIS, CYCLOPES 和 GLASS 3 种 LAI 产品在韩江流域的对比[J]. 国土资源遥感, 2018, 30(1): 14 - 21. (Liu Y, Zhou M C. Comparison of MODIS, CYCLOPES and GLASS LAI over Hanjiang River basin[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2018, 30(1): 14 - 21.)

MODIS, CYCLOPES 和 GLASS 3 种 LAI 产品在韩江流域的对比

刘远, 周买春

(华南农业大学水利与土木工程学院, 广州 510642)

摘要: 叶面积指数(leaf area index, LAI)是影响植被蒸腾、降水截留和能量交换的关键参数,是生态模型和陆面过程模型的重要输入参数。目前,全球许多机构基于多种遥感数据,采用不同的反演方法得到了多种 LAI 产品,MODIS, CYCLOPES 和 GLASS 是其中时空分辨率较高的 3 种。以植被类型多样的韩江流域为对象,通过分析这 3 种 LAI 产品的空间和时间一致性,得到以下结论:①CYCLOPES LAI 存在大量的数据缺失,MODIS 和 GLASS LAI 具有更好的空间和时间序列的完整性;但 MODIS LAI 存在大量 LAI 突然变小的无效数据。②MODIS, CYCLOPES 和 GLASS LAI 的空间分布基本都能与流域的植被类型相适应,其中,MODIS 与 GLASS LAI 的空间分布一致性相对较好,但前者林地的 LAI 较后者大,非林地则相反;而 CYCLOPES LAI 林地的 LAI 明显比前两者的小。③MODIS, CYCLOPES 和 GLASS LAI 的时间序列过程线具有相同的变化趋势,GLASS LAI 的过程曲线是 3 者中最完整和平滑的,MODIS LAI 的曲线有明显的波动性。3 种 LAI 反映的各种植被的季节变化具有较好的一致性,MODIS 和 GLASS LAI 的相似程度比 CYCLOPES LAI 高。

关键词: 叶面积指数; 植被类型; 时间序列; 季节变化; 韩江流域

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2018)01-0014-08

0 引言

植被叶面积指数(leaf area index, LAI)是表征冠层结构的关键参数,影响植被光合作用、呼吸、蒸腾、降水截留和能量交换等诸多生态过程^[1],是研究全球和区域碳循环和水文循环、气候变化区域响应等的基础数据。自 1947 年 Watson^[2]最早在作物学领域提出 LAI 的概念以来, LAI 的定义经过不断的修改和完善,目前通常采用 Chen 等^[3]的定义,即将 LAI 定义为单位地表面积上绿叶表面积总和的一半。叶面积指数被分为真实叶面积指数(LAI)和有效叶面积指数(LAI_e),它们之间可以通过聚集度指数(clumping index)Ω来转换,聚集度指数表征植被冠层叶片的空间分布特征。

遥感数据可记录植被的生长变化历程,通过遥感数据来反演全球和区域尺度 LAI 逐渐成为重要的

途径。目前,用于反演 LAI 的卫星遥感数据主要有 NOAA AVHRR, SPOT VEGETATION, TERRA/AQUA MODIS, ENVISAT MERIS 和 TERRA MISR 等。基于这些遥感数据源,许多机构和组织采用不同的反演方法生成了多种全球 LAI 产品,如基于单一数据源的 ECOCLIMAP^[4], ISLSCP-II^[5], AVHRR LAI^[6], CYCLOPES^[7], GLOBCARBON^[8], MODIS^[9], MERIS^[10]和 MISR^[11-12]等,基于多种数据源的 GEOV1^[13], GLOMAP^[14]和 GLASS^[15]等。这些 LAI 产品除采用的遥感数据源不同外,数据的覆盖时间范围、时间和空间分辨率、反演算法等都存在差异,众多的 LAI 产品中,哪种精度更高、更适用于哪一领域的应用,成为广大 LAI 数据使用者首先需要解决的问题。虽然 LAI 数据生产者对产品精度进行了定量评价,但由于验证数据和验证方法不同,这些数据精度的验证结果之间实际上不具有可比性。目前,已有学者针对这些 LAI 产品的精度检验或相互间的对比做了

收稿日期: 2016-07-24; 修订日期: 2016-11-20

基金项目: 国家自然科学基金项目“概念性水文模型与分布式水文模型的结合——以新安江模型和 TOPMODEL 模型的互补为例”(编号: 41171029)资助。

第一作者: 刘远(1979-),男,副教授,博士,主要从事水文预报和地理信息系统研究。Email: lyuan@scau.edu.cn。

通信作者: 周买春(1965-),男,教授,博士生导师,主要从事水文学及水资源研究。Email: mczhou@scau.edu.cn。

一些有意义的工作,如 Pisek 等^[16]、Liu 等^[17]和 Li 等^[18]分别在加拿大、中国东北和江西省红壤丘陵地区的研究表明,采用 GLOBCARBON 方法反演的 LAI 数据质量要优于 MODIS LAI 产品 MOD15; Garrigues 等^[19]通过比较 ECOCLIMAP, GLOBCARBON, CYCLOPES 和 MODIS 4 种 LAI 产品与地面测量数据, CYCLOPES 与地面测量值吻合最好;向阳等^[20]通过 GLASS, MODIS 和 CYCLOPES 3 种 LAI 产品与地面实测数据的定量对比,得到 GLASS 的精度明显高于后两者的结论。

MODIS, CYCLOPES 和 GLASS 是众多 LAI 产品中时空分辨率较高的 3 种,它们的遥感数据源 MODIS, VEGETATION 和 AVHRR 也是当前最常用的 3 种数据;三者不仅除数据源不同,它们采用的反演算法也不一样,使估算出的 LAI 大小存在不同程度的差异。本文以我国南方植被类型多样的韩江流域为研究区,通过对比 3 种 LAI 产品在韩江流域几种主要植被类型下的空间分布和季节变化的相对合理性、时间序列的相对平滑性等因素,对它们的精度作定性的评价。

1 研究区概况和数据源

1.1 研究区概况

韩江流域位于粤东、闽西南 E115°13' ~ 117°09', N23°17' ~ 26°05' 范围内(图1),是广东省内仅

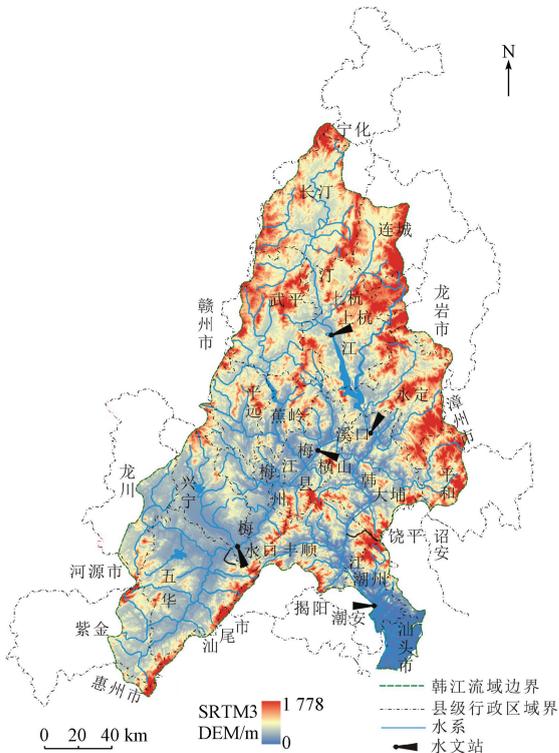


图 1 韩江流域地理位置

Fig. 1 Geographic location of Hanjiang River basin

次于珠江的第二大流域,总面积达 30 112 km²。韩江发源于广东紫金县乌突山七星寨,干流的北段称梅江,在大埔县三河坝与发源于福建宁化县武夷山南段的汀江汇合后始称韩江,其后经韩江三角洲,分北、东、西溪在汕头市注入南海,全长约 470 km。韩江流域以山地为主,约占流域总面积的 70%,丘陵和平原分别占 25% 和 5%;丘陵主要分布在梅江流域和其他干支流谷地,平原主要分布在韩江三角洲。

韩江流域属亚热带气候,受海洋性西南季风影响很大,夏长冬短,雨量充沛,四季常绿。流域多年平均气温 20 °C,极端最高温度 42.8 °C(上杭站 1952 年 8 月),极端最低温度 -7.3 °C(梅县站 1958 年 1 月);流域多年平均雨量 1 450 ~ 2 000 mm,降雨量年际变率大,年内季节分配及地区分布也极不均匀,受西南、东南季风和台风的影响,4—9 月的降雨量充沛,约占全年总雨量的 80%;流域多年平均水面蒸发量为 996 ~ 1 406 mm。

1.2 数据源

1.2.1 LAI 数据

MODIS LAI 产品 MOD15A2^[9]是美国国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)基于 TERRA MODIS 数据生成的全球 2000 年第 57 天以来的 LAI 产品,空间分辨率 1 km,时间分辨率 8 d。MODIS LAI 反演的主算法和备用算法在 GLC2000 土地覆盖数据集的基础上将全球植被划分为 6 种类型,其主算法以 MOD09(1—7 波段)的地表反射率为输入,根据不同的植被类型的三维辐射传输模型,采用查找表法反演生成 LAI;其备用算法采用的是经验模型,即根据不同植被类型的 LAI 和 NDVI 之间的经验关系反演得到 LAI。反演时优先采用主算法,若主算法反演失败,再采用备用算法。MODIS LAI(主算法)通过三维辐射传输模型来考虑裸株、冠层和景观 3 个尺度的集聚效应,生成的是真实 LAI。

CYCLOPES^[7]是基于 SPOT VEGETATION 数据生成的全球 1999—2007 年的 LAI 产品,空间分辨率 1/112°,时间分辨率 10 d。CYCLOPES 采用叶片辐射传输模型 PROSPECT^[21]和冠层辐射传输模型 SAIL^[22],利用神经网络法反演得到 LAI。CYCLOPES 没有考虑裸株和冠层尺度的集聚效应,只考虑了景观尺度的集聚效应,它在使用 SAIL 模型模拟像元的 VEGETATION 地表反射率时,将具有多种土地覆盖类型的混合像元看成是由很多小块的纯植被或纯裸土组成,生成的 LAI 接近有效 LAI。

GLASS^[15]是由北京师范大学全球变化处理与分析中心发布的全球 1981—2012 年的 LAI 产品,它是基于 AVHRR 地表反射率数据(1981—1999 年)

和 MODIS 地表反射率数据 (MOD09A1) (2000—2012 年) 生成的, 空间分辨率分别是 0.05° 和 1 km , 时间分辨率是 8 d 。GLASS LAI 的反演利用 BEL-MANIP (Benchmark Land Multisite Analysis and Intercomparison of Products) 全球范围不同植被类型的 402 个地面验证站点 2001—2004 年的 MODIS 地表反射率数据和融合 LAI 数据 (MOD15A2 与

CYCLOPES LAI 产品的融合), 构造样本数据集训练广义回归神经网络, 再以 AVHRR 或 MODIS 地表反射率数据为输入, 反演得到 LAI。在与 MODIS LAI (真实 LAI) 融合前, CYCLOPES LAI (有效 LAI) 先转化为真实 LAI, 所以反演得到的 GLASS LAI 是真实 LAI。

上述 3 种 LAI 产品的基本情况见表 1。

表 1 MODIS、CYCLOPES 和 GLASS LAI 的基本信息

Tab. 1 Information of MODIS, CYCLOPES and GLASS LAI

LAI 数据集	数据来源	覆盖范围	时间跨度	空间分辨率	时间分辨率/d	算法	真实/有效 LAI
MOD15A2	MODIS	全球	2000 年至今	1 km	8	三维辐射传输模型和查找表法 (主算法)	真实 LAI
CYCLOPES	VEGETATION	全球	1999—2007 年	$1/112^\circ$	10	PROSPECT + SAIL 的一维辐射传输模型和神经网络	有效 LAI
GLASS	AVHRR MODIS	全球	1981—2012 年	$0.05^\circ, 1\text{ km}$	8	广义回归神经网络 GRNN	真实 LAI

1.2.2 土地覆盖数据

MICLCover^[23-24] 是中国西部环境与生态科学数据中心发布的中国 2000 年土地覆盖数据, 数据采用 IGBP 分类系统将土地覆盖类型划分为 17 类, 空间分辨率 1 km 。MICLCover 在评价 4 种已有土地覆盖数据 (IGBP - DISCover, UMd, GLC2000 和 MODIS) 的基础上, 融合了多种不同来源的土地覆盖分类数据, 包括 MODIS 土地覆盖数据 MOD12Q1 和中国的土地利用数据 (1:10 万)、植被图集的植被类型分类 (1:100 万)、冰川图 (1:10 万)、沼泽湿地图 (1:100 万)。数据融合采用 Dempster - Shafer 证据理论, 通过基本概率赋值确定各种土地覆盖数据对 17 种土地覆盖类型的支持程度; 对输出的各类型的信任度进行比较, 取信任度最大的类型作为最终的融合结果。笔者^[25] 在韩江流域上对 GLCC, MODIS 和 MICLCover 3 种土地覆盖数据进行了对比, 结果表明 MICLCover 的精度明显高于前两者。图 2 是

韩江流域潮安水文站以上的土地覆盖分类 (潮安站是韩江干流的控制性水文站, 其以下即为韩江三角洲, 不在本研究范围), 韩江流域植被类型多样, 以常绿针叶林、郁闭灌木林、农作物、草地和常绿阔叶林为主, 这 5 种植被占了流域总面积的 95.4%。

2 结果与分析

2.1 LAI 的空间一致性分析

选择 2001—2007 年间韩江流域较小和较大的 LAI 来分析 3 种 LAI 数据的空间分布特征。图 3 是韩江流域 MODIS, CYCLOPES 和 GLASS LAI 2005 年的第 25 天和 2007 年的第 217 天的分布情况。可以看到, CYCLOPES LAI 存在大量的数据缺失 (图 3 (b) 和 (e) 中存在大量白色的像元, 表示此像元处无数据), MODIS 和 GLASS LAI 具有更好的空间完整性 (图 3 (a) 和 (d) MODIS LAI 中的白色像元代表的是城市和建成区)。如图 3 (a) 所示, 受云等因素影响的像元, MODIS LAI 值有明显的低估。为此, 采用最大值合成法将 MODIS 2005 年的第 1, 9, 17 和 25 天的 LAI 合成, 获得 2005 年 1 月的 MODIS LAI, 如图 4 所示 (以下分析采用 2005 年 1 月合成的 LAI 代替第 25 天的 LAI), 图中白色像元代表的是城市和建成区。韩江流域 3 种 LAI 在的空间分布基本上都能与流域的植被类型分布 (图 2) 相适应, 即在常绿针叶林、常绿阔叶林等林地呈现较大的 LAI 值, 在农作物、草地等非林地呈现较小的 LAI 值; 其中, MODIS 与 GLASS LAI 的空间分布一致性相对较好, 而 CYCLOPES LAI 值则明显偏小, 主要是因为 CYCLOPES 没有考虑裸株和冠层尺度的集聚效应, 得到的是有效 LAI, 而前两者代表的是真实 LAI。

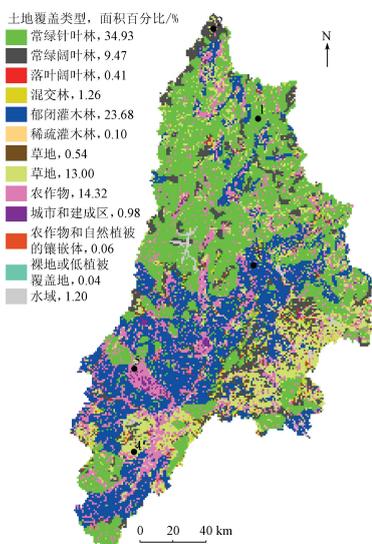


图 2 韩江流域土地覆盖分类
Fig. 2 Land cover of Hanjiang River basin

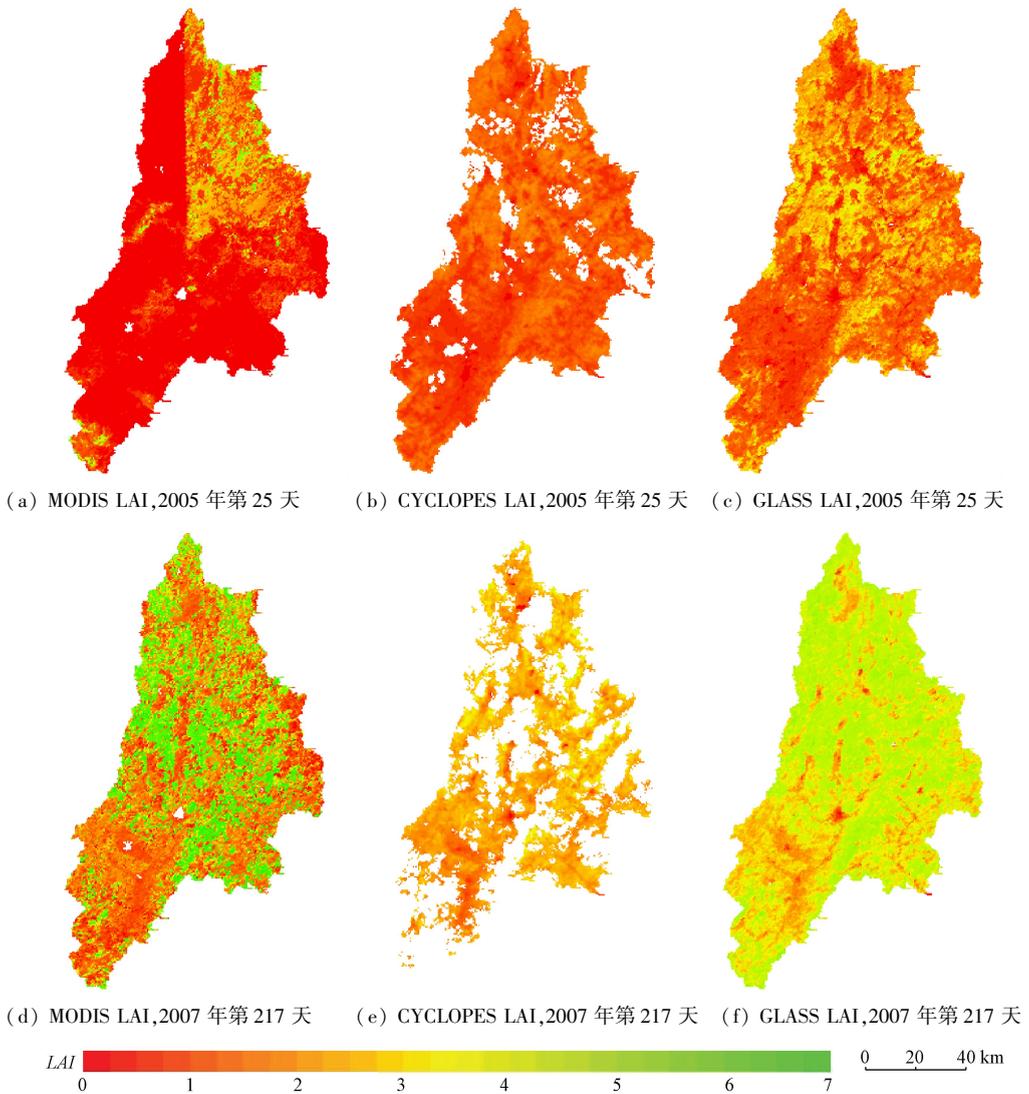


图3 韩江流域 MODIS, CYCLOPES 和 GLASS LAI 的空间分布(2005 年第 25 天和 2007 年第 217 天)
 Fig.3 Spatial distributions of MODIS, CYCLOPES and GLASS LAI over Hanjiang River basin
 (Day 25 in 2005 and day 217 in 2007)

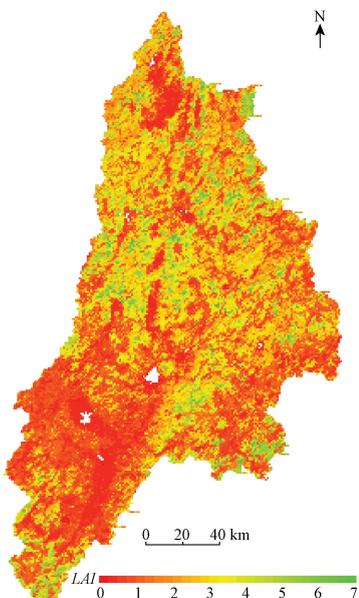


图4 韩江流域 2005 年 1 月 MODIS LAI 的空间分布
 Fig.4 Spatial distributions of MODIS LAI over Hanjiang River basin in January 2005

表 2 给出了 3 种 LAI 数据的统计特征值,图 5 和图 6 分别是它们的像元 LAI 值出现的频率和累积频率曲线分布。由表 2 可以看出,由于 CYCLOPES LAI 产品对 LAI 值的低估,使得其 LAI 的动态取值范围最小。由图 6 可知,在冬季(2005 年第 25 天)CYCLOPES LAI 大于 2 的像元出现的频率几乎是 0,在夏季(2007 年第 217 天)大于 4 的像元出现的频

表 2 韩江流域 MODIS、CYCLOPES 和 GLASS LAI 的特征值

Tab.2 Characteristic values of MODIS, CYCLOPES and GLASS LAI over Hanjiang River basin

时间	LAI 产品	平均值	最大值	最小值	标准差
2005 年 第 25 天	MODIS	2.05	6.9	0.1	1.40
	CYCLOPES	0.96	2.17	0	0.39
	GLASS	1.54	4.9	0	0.91
2007 年 第 217 天	MODIS	2.93	7.0	0.1	2.18
	CYCLOPES	2.32	4.33	0	0.56
	GLASS	3.79	5.5	0.2	0.90

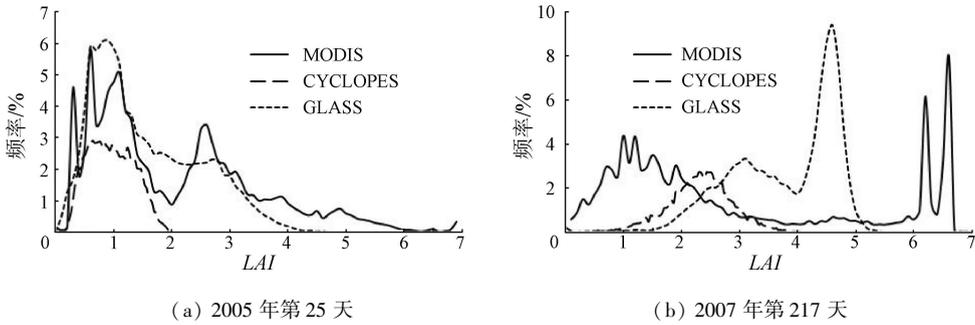


图5 韩江流域 MODIS, CYCLOPES 和 GLASS LAI 的频率分布曲线 (2005 年第 25 天和 2007 年第 217 天)

Fig. 5 Frequency curves of MODIS, CYCLOPES and GLASS LAI over Hanjiang River basin (Day 25 in 2005 and day 217 in 2007)

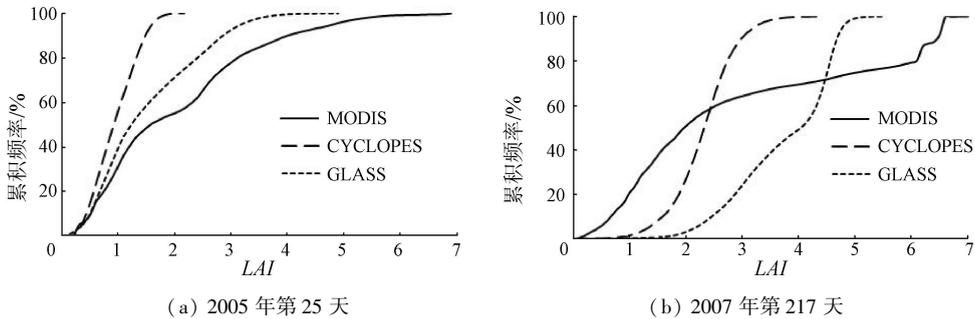


图6 韩江流域 MODIS, CYCLOPES 和 GLASS LAI 的累积频率分布曲线 (2005 年第 25 天和 2007 年第 217 天)

Fig. 6 Cumulative frequency curves of MODIS, CYCLOPES and GLASS LAI over Hanjiang River basin (Day 25 in 2005 and day 217 in 2007)

率几乎是0。与 GLASS 相比,无论是在冬季还是夏季,MODIS LAI 具有更大的动态取值范围。在冬季,MODIS 与 GLASS LAI 的分布吻合较好。而在夏季,两者存在较大的差别:MODIS LAI 呈较为明显的两极分布(图5),LAI 值在 $[0, 2)$ 范围的像元约占50%,在 $[6, 7]$ 范围的约占20%;GLASS LAI 则集中分布在 $[2, 5)$ 范围内,占总像元的95%以上。造成两者差异的主要原因是农作物和草地覆盖的像元上,MODIS LAI 有着较小的估值,而在常绿针叶林和常绿阔叶林的像元上则相反,这与 Garrigues 等^[19]在 BELMANIP 站点的分析结果一致。

2.2 LAI 的时间一致性分析

如图2所示,在韩江流域选择5个点,分别位于成片分布的5种植被类型中,点1—5分别代表常绿针叶林、常绿阔叶林、郁闭灌木林、草地和农作物。对2001—2007年MODIS, CYCLOPES 和 GLASS LAI 的时间序列曲线进行比较,分析不同 LAI 产品的时间一致性和季节变化特点。采用最大值合成将8d时间分辨率的MODIS LAI 降为月时间序列, CYCLOPES 和 GLASS LAI 仍采用原有的时间分辨率,即10d和8d时间序列,结果如图7所示。

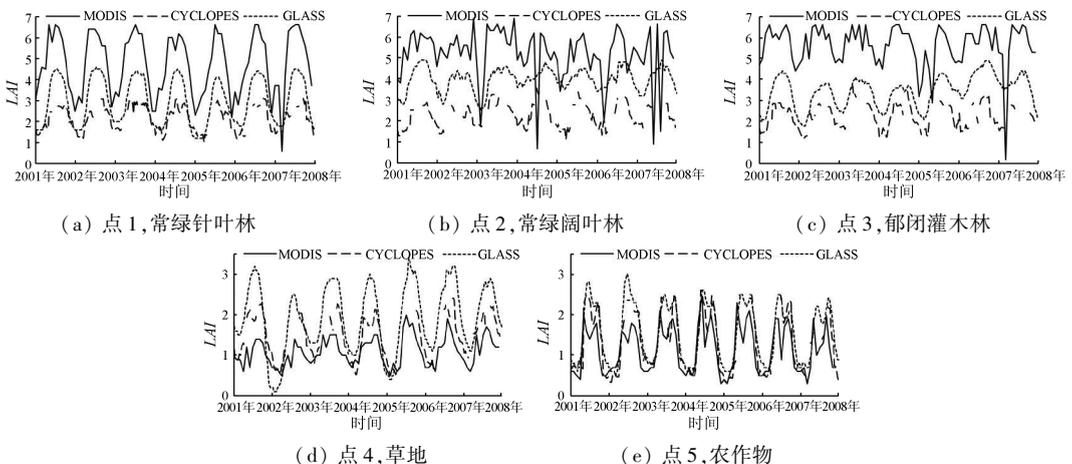


图7 MODIS, CYCLOPES 和 GLASS LAI 在不同植被覆盖点的时间序列曲线

历史数据 time series curves of MODIS, CYCLOPES and GLASS LAI at different vegetation cover sites

由图 7 可以看出,MODIS 和 GLASS LAI 有着完整的时间序列曲线,而 CYCLOPES LAI 在各个点上都有着不同程度的缺失。虽然已经降低了 MODIS LAI 的时间分辨率,但在林地(常绿针叶林、常绿阔叶林和郁闭灌木林)像元上个别月份的 MODIS LAI 值仍出现不合理的突然变小。除去 MODIS LAI 这些不合理的点后,尽管它们 3 条 LAI 的时间序列曲线在的 LAI 大小有明显的差异,但仍呈现出相似的变化趋势;其中,GLASS LAI 的时间序列曲线最为平滑且连续,而 MODIS LAI 的曲线则有明显的跳跃,在常绿阔叶林和郁闭灌木林上其波动特别大,存在一些突变的波峰和波谷,这与植被的生长规律有所不符。MODIS 和 CYCLOPES 反映的各种植被 LAI 的年际变化都较小,GLASS LAI 在常绿针叶林和常绿阔叶林上的年际变化也较小,但在郁闭灌木林、草地和农作物上,GLASS LAI 表现出了一定的年变化,即在生长期,郁闭灌木林和草地在 2002—2004 年的 LAI 较其他年份小,农作物在 2001 和

2002 年的 LAI 明显较其他年份大。

对于林地,由于 CYCLOPES LAI 没有考虑棵株和冠层尺度的聚集效应,导致其 LAI(有效 LAI)与真实 LAI 存在差异,所以 CYCLOPES LAI 明显比 MODIS 和 GLASS LAI 小;除去一些突然变小的点,MODIS LAI 一般都明显比 GLASS LAI 大,这是 MODIS LAI 对于森林植被的 LAI 有明显的高估造成的^[19]。对于草地和农作物,MODIS LAI 明显比 GLASS LAI 小,与文献[19]研究得出的“MODIS LAI 对于草地和农作物的 LAI 有明显低估”的结论一致;CYCLOPES LAI 则介于 MODIS LAI 与 GLASS LAI 之间,说明棵株和冠层尺度的聚集效应对林地 LAI 的影响比草地和农作物大。

取 MODIS, CYCLOPES 和 GLASS LAI 2001—2007 年的平均值(其中在计算 MODIS LAI 各月平均值时,剔除了个别突然变小的不合理数据),得到 3 种 LAI 的多年平均季节变化曲线,结果如图 8 所示。

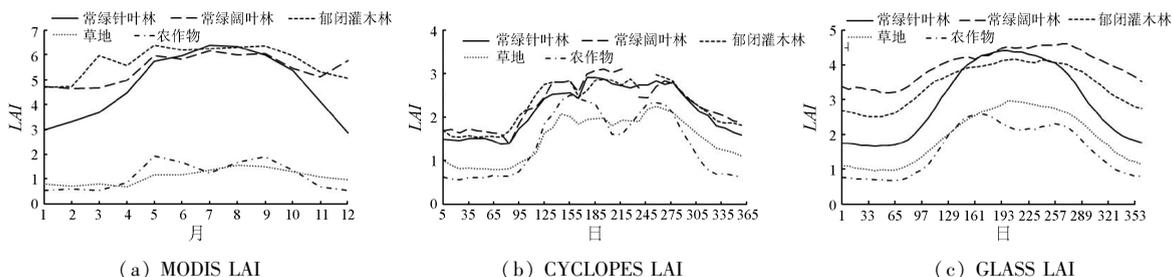


图 8 MODIS、CYCLOPES 和 GLASS LAI 在不同植被覆盖点的季节变化

Fig. 8 Seasonal change of MODIS, CYCLOPES and GLASS LAI at different vegetation cover sites

由图 8 可以看出,3 种数据展现的韩江流域各种植被的 LAI 的季节变化具有较好的一致性,其中,MODIS 与 GLASS LAI 季节变化的相似程度比它们与 CYCLOPES LAI 的相似程度高。各种植被的 LAI 季节变化曲线中,GLASS LAI 的曲线最为平滑且连续,而 MODIS 和 CYCLOPES LAI 曲线的波动相对较大,CYCLOPES LAI 在常绿阔叶林和郁闭灌木林有短暂的缺失。3 种 LAI 都能够很好地区分林地与非林地(草地、农作物),其中,由于 MODIS LAI 对森林植被 LAI 的高估和对草地和农作物 LAI 的低估^[19],使得林地与非林地的 LAI 相差比 CYCLOPES 和 GLASS LAI 的大;相反,由于 CYCLOPES LAI 对森林植被 LAI 的低估,使得林地与非林地的 LAI 相差在 3 种 LAI 数据中最小。对于常绿针叶林、常绿阔叶林和郁闭灌木林 3 种植被,CYCLOPES LAI 的大小很接近,未能很好地呈现它们 LAI 的差别。MODIS 和 GLASS LAI 则能较好地展现这 3 种植被 LAI 的差别,其中常绿阔叶林和郁闭灌木林的 LAI 在全年的大小都比较大,但就 GLASS LAI 而言,常绿

阔叶林的 LAI 比郁闭灌木林的略大,而 MODIS LAI 则相反(1 月和 12 月除外);无论是 MODIS LAI 还是 GLASS LAI,常绿针叶林的 LAI 在全年的变幅都比常绿阔叶林和郁闭灌木林大,其 LAI 在冬、春季明显小于后两者的 LAI,而在夏季,其 LAI 能达到后两者的大小。对于草地和农作物,3 种 LAI 数据呈现的两种植被 LAI 的大小都比较接近;3 种数据农作物的 LAI 季节变化都呈“双峰型”分布,即分别在 5 月份和 9 月份出现 1 个 LAI 的峰值,7 月份出现 1 个谷值,这与韩江流域主要农作物水稻的生长规律相吻合,5 月份和 9 月份正是两季水稻生长最旺盛的季节,而 7 月份是水稻的夏收时段。

3 结论

通过分析韩江流域 MODIS, CYCLOPES 和 GLASS 3 种 LAI 产品的空间和时间一致性,得到以下结论:

1)CYCLOPES LAI 存在大量的数据缺失,MO-

DIS 和 GLASS LAI 具有更好的空间和时间序列的完整性;但 MODIS LAI 存在大量 LAI 突然变小的无效数据,即使采用最大值合成将其时间分辨率从 8 d 降到月,也难以将这些无效数据全部剔除。

2) MODIS, CYCLOPES 和 GLASS LAI 的空间分布基本上都能与流域的植被类型相适应,即在常绿针叶林、常绿阔叶林等林地呈现较大的 LAI 值,在农作物、草地等非林地呈现较小的 LAI 值。其中,MODIS 与 GLASS LAI 的空间分布一致性相对较好,但前者在林地的 LAI 较后者大,在非林地则相反;而 CYCLOPES LAI 在林地的 LAI 明显比前两者的小。

3) 尽管 MODIS, CYCLOPES 和 GLASS LAI 的大小存在明显的差异,但它们的时间序列过程线具有相同的变化趋势。GLASS LAI 的过程曲线是三者中最完整和平滑的,MODIS LAI 的曲线有明显的波动性,尤其在常绿阔叶林和郁闭灌木林的波动特别大。三者反映的各种植被的季节变化具有较好的一致性,MODIS 与 GLASS LAI 的相似程度比它们与 CYCLOPES LAI 的相似程度更高。

参考文献 (References):

- [1] 柳艺博, 居为民, 陈镜明, 等. 2000—2010 年中国森林叶面积指数时空变化特征[J]. 科学通报, 2012, 57(16): 1435 - 1445.
- [2] Watson D J. Comparative physiological studies on the growth of field crops; I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years[J]. Annals of Botany, 1947, 11(41): 41 - 76.
- [3] Chen J M, Black T A. Defining leaf area index for non - flat leaves [J]. Plant, Cell and Environment, 1992, 15(4): 421 - 429.
- [4] Champeaux J L, Masson V, Chauvin F. ECOCLIMAP: A global database of land surface parameters at 1 km resolution [J]. Meteorological Applications, 2005, 12(1): 29 - 32.
- [5] Los S O, Collatz G J, Sellers P J, et al. A global 9 - yr biophysical land surface dataset from NOAA AVHRR data [J]. Journal of Hydrometeorology, 2000, 1(2): 183 - 199.
- [6] Ganguly S, Schull M A, Samanta A, et al. Generating vegetation leaf area index earth system data record from multiple sensors. Part 1: Theory [J]. Remote Sensing of Environment, 2008, 112(12): 4333 - 4343.
- [7] Baret F, Hagolle O, Geiger B, et al. LAI, fAPAR and fCover CYCLOPES global products derived from VEGETATION; Part 1: Principles of the algorithm [J]. Remote Sensing of Environment, 2007, 110(3): 275 - 286.
- [8] Deng F, Chen J M, Plummer S, et al. Algorithm for global leaf area index retrieval using satellite imagery [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2006, 44(8): 2219 - 2229.
- [9] Myneni R B, Hoffman S, Knyazikhin Y, et al. Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from year one of MODIS data [J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 83(1/2): 214 - 231.
- [10] Bacour C, Baret F, Béal D, et al. Neural network estimation of LAI, fAPAR, fCover and LAI × Cab, from top of canopy MERIS reflectance data; Principles and validation [J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 105(4): 313 - 325.
- [11] Hu J N, Tan B, Shabanov N, et al. Performance of the MISR LAI and FPAR algorithm: A case study in Africa [J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 88(1/2): 324 - 340.
- [12] Hu J N, Su Y, Tan B, et al. Analysis of the MISR LAI/FPAR product for spatial and temporal coverage, accuracy and consistency [J]. Remote Sensing of Environment, 2007, 107(1/2): 334 - 347.
- [13] Baret F, Weiss M, Lacaze R, et al. GEOV1: LAI and FAPAR essential climate variables and FCOVER global time series capitalizing over existing products. Part 1: Principles of development and production [J]. Remote Sensing of Environment, 2013, 137: 299 - 309.
- [14] Liu Y, Liu R G, Chen J M, et al. Expanding MISR LAI products to high temporal resolution with MODIS observations [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2012, 50(10): 3915 - 3927.
- [15] Xiao Z Q, Liang S L, Wang J D, et al. Use of general regression neural networks for generating the GLASS leaf area index product from time - series MODIS surface reflectance [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2014, 52(1): 209 - 223.
- [16] Pisek J, Chen J M, Deng F. Assessment of a global leaf area index product from SPOT - 4 vegetation data over selected sites in Canada [J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 2007, 33(4): 341 - 358.
- [17] Liu R, Chen J M, Liu J, et al. Application of a new leaf area index algorithm to China's landmass using MODIS data for carbon cycle research [J]. Journal of Environmental Management, 2007, 85(3): 649 - 658.
- [18] Li X F, Ju W M, Zhou Y L, et al. Retrieving leaf area index of forests in red soil hilly region using remote sensing data [C] // Proceedings of the SPIE, Volume 7471, Second International Conference on Earth Observation for Global Changes. Chengdu, China: SPIE, 2009: 74710L.
- [19] Garrigues S, Lacaze R, Baret F, et al. Validation and intercomparison of global Leaf Area Index products derived from remote sensing data [J]. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 2008, 113(G2): G02028.
- [20] 向阳, 肖志强, 梁顺林, 等. GLASS 叶面积指数产品验证 [J]. 遥感学报, 2014, 18(3): 573 - 596.
- [21] Xiang Y, Xiao Z Q, Liang S L, et al. Validation of Global Land Surface Satellite (GLASS) leaf area index product [J]. Journal of Remote Sensing, 2014, 18(3): 573 - 596.
- [22] Jacquemoud S, Baret F. PROSPECT: A model of leaf optical properties spectra [J]. Remote Sensing of Environment, 1990, 34(2): 75 - 91.
- [23] Verhoef W. Light scattering by leaf layers with application to canopy reflectance modeling: The SAIL model [J]. Remote Sensing of Environment, 1984, 16(2): 125 - 141.

- [23] Ran Y H, Li X, Lu L, et al. Large - scale land cover mapping with the integration of multi - source information based on the Dempster - Shafer theory[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2012, 26(1): 169 - 191.
- [24] 冉有华, 李新, 卢玲. 基于多源数据融合方法的中国 1 km 土地覆盖分类制图[J]. *地球科学进展*, 2009, 24(2): 192 - 203.
Ran Y H, Li X, Lu L. China land cover classification at 1 km spatial resolution based on a multi - source data fusion approach[J]. *Advances in Earth Science*, 2009, 24(2): 192 - 203.
- [25] 刘远, 周买春. 3种 IGBP 分类系统的土地覆盖数据在韩江流域的对比分析[J]. *遥感技术与应用*, 2017, 32(3): 575 - 584.
Liu Y, Zhou M C. Comparative analysis on three land cover datasets based on IGBP classification system over Hanjiang River basin [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2017, 32(3): 575 - 584.

Comparison of MODIS, CYCLOPES and GLASS LAI over Hanjiang River basin

LIU Yuan, ZHOU Maichun

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Leaf area index (LAI) is a primary parameter for characterizing vegetation canopy structure. Since LAI can affect many vegetation ecological processes, such as transpiration, interception and energy exchange, it is used as a critical input for ecological models and land surface process models. At present, several global LAI datasets have been generated from different satellite remote sensing data, such as AVHRR, MODIS and VEGETATION, by different retrieval methods. MODIS, CYCLOPES and GLASS LAI datasets are those with higher spatial and temporal resolution. The spatial and temporal consistency of MODIS, CYCLOPES and GLASS LAI datasets was analyzed over Hanjiang River basin, which is covered with several vegetation types. Comparative study revealed the following characteristics: ① CYCLOPES LAI was observed to contain a large number of missing pixels, while MODIS and GLASS LAI products were more spatially and temporally complete. MODIS LAI contained many invalid pixels, whose LAI became much smaller abruptly in comparison with the LAI values just before or after this time. ② The spatial distributions of MODIS, CYCLOPES and GLASS LAI were mainly consistent with the vegetation types of the basin. The spatial distributions of MODIS and GLASS LAI were more consistent than those of CYCLOPES LAI. MODIS LAI was larger than GLASS LAI in forest pixels, while it was contrary in other pixels. CYCLOPES LAI was much smaller than MODIS and GLASS LAI in forest pixels. ③ MODIS, CYCLOPES and GLASS LAI products generally depicted similar temporal trajectories. GLASS LAI had the smoothest and completest trajectories, while the trajectories of MODIS LAI contained a large number of erratic fluctuations. All of these three LAI products depicted similar seasonal changes for different vegetation types. Compared with CYCLOPES LAI, a good agreement was achieved between MODIS and GLASS LAI values.

Keywords: leaf area index (LAI); vegetation types; time series; seasonal change; Hanjiang River basin

(责任编辑: 李瑜)