

doi: 10. 6046/gtzyyg. 2020. 03. 05

引用格式: 温亚南,车亚辉,光洁,等. 森林覆盖产品在中国区域的质量评价[J]. 国土资源遥感,2020,32(3):32-38. (Wen Y N,Che Y H,Guang J,et al. Quality evaluation of forest cover products over China [J]. Remote Sensing for Land and Resources ,2020, 32(3):32-38.)

森林覆盖产品在中国区域的质量评价

温亚南^{1,2}, 车亚辉^{1,2}, 光洁¹, 张晓美¹, 李正强¹

(1. 中国科学院空天信息创新研究院,北京 100101; 2. 中国科学院大学资源与环境学院,北京 100049)

摘要: 森林覆盖是森林土地管理、监测和规划中常用的变量,也是生物多样性影响评估和量化碳储存的重要参考依据。遥感技术因其客观、快速、宏观的优点,在森林资源监测方面逐渐获得了广泛应用。为了让基于遥感技术手段获取的森林覆盖产品得到更好的应用,对这类产品进行精度验证和质量评价非常重要。选取了 2 种广为应用的基于遥感技术获得的森林覆盖产品:美国马里兰大学 2015 年森林覆盖产品(University of Maryland,UMD)和日本 ALOS 卫星 2015 年森林覆盖产品(Japan Aerospace Exploration Agency forest/non-forest,JAXA FNF),通过产品对比和地面验证的方法,对其进行了精度验证和质量评价。首先,通过定性分析和统计分析,分别从整体和局部比较 UMD 和 JAXA FNF 这 2 种产品森林覆盖率。然后,为进一步分析两者的差异性,基于 Global Forest Watch (GFW) 2000—2015 年森林资源变化统计数据、中国林业和草原局第九次全国森林资源调查统计数据(CFGA)对这 2 种森林覆盖产品进行了地面验证。研究结果表明,在我国西部、南部和中东部 JAXA FNF 的森林覆盖率估计明显偏高,在我国东南部各省,UMD 和 JAXA FNF 的一致性较好,但略微偏高;UMD 和 JAXA FNF 与 GFW 和 CFGA 森林覆盖率数据在所有省份虽都存在一定的差异,但是 JAXA FNF 的差异性更大,平均绝对误差约为 UMD 的 3 倍,总体上,相比 JAXA FNF,UMD 森林覆盖的反演精度更高。

关键词: 森林覆盖产品; UMD; JAXA FNF; 地面验证; 质量评价

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2020)03-0032-07

0 引言

森林是指以木本植物为主体的生物群落,是生物圈的重要组成部分。森林覆盖率是森林土地管理、监测和规划中常用的变量,也是生物多样性影响评估^[1]和量化碳储存^[2]的重要参考依据。森林覆盖率作为经济社会发展的约束性指标,森林资源的变化动态受到各级政府的重视,森林资源的可持续发展十分重要,而获得高精度的森林覆盖产品的方法就显得尤为重要。自 20 世纪 70 年代以来,我国逐步建立了一套符合我国国情的森林资源监察体系。到 2019 年为止我国林业局已完成 9 次森林资源统计和清查工作。我国森林资源分布广泛,受各地自然条件影响,森林资源在全国分布十分不均匀^[3],这对于我国长期采用的统计清查法获取森林资源变化趋势和森林资源整体情况来说,是一项十

分困难的工作。

随着遥感技术的日益发展,运用遥感技术监测森林资源变化的手段也在不断进步^[4]。由于森林资源具有分布面积广、整体性以及生长呈周期性变化等特点,遥感技术因其自身具有客观反映、快速响应以及数据信息综合性强等优点,在森林资源监测方面逐渐得到了广泛应用^[5-6]。在大量关于森林资源监测的研究中,遥感技术为森林资源调查、变化监测等研究提供了有力的研究手段,为林业部门实时、准确掌握资源现状及动态变化趋势提供了可靠的数据支撑和综合的信息服务。森林的定义标准是影响森林覆盖反演结果的主要因素^[7],多种森林定义可能导致产品之间存在显著差异;此外,使用不同的数据源和反演方法也会导致同一年份同一地区的森林覆盖结果不一致,使得基于遥感技术获取的森林覆盖产品无法拥有更高的应用价值,影响用户对区域内林业资源变化的准确判断。本文通过对大量文

收稿日期: 2019-09-04; 修订日期: 2019-11-25
基金项目: 国家重点研发计划项目“全球变化大数据的科学认知与云共享平台”(编号: 2016YFA0600302)、国家自然科学基金重大项目“地球气候系统能量平衡宏观现象的月基观测研究”(编号: 41590855)和国家自然科学基金面上项目“多源卫星遥感反演气溶胶光学特性研究”(编号: 41471306)共同资助。
第一作者: 温亚南(1994-),女,硕士研究生,主要从事遥感产品不确定性理论和应用研究。Email: m15611670108@163.com。
通信作者: 光洁(1982-),女,副研究员,主要从事大气遥感算法开发和遥感产品不确定性分析研究。Email: guangjie@aircas.ac.cn。

献调研后发现,目前很多文献对遥感森林覆盖率产品的研究只是简单汇总了各类遥感森林覆盖率产品的基本信息,并进行简单的产品间互相比对^[7-8],很少有研究人员基于地面数据深入准确地对比分析各类遥感森林覆盖率产品之间的真实性差异。因此为了准确地评估区域内的森林覆盖情况,对同一时间同一地区的不同卫星反演的森林覆盖产品进行精度验证和质量评价的工作就显得十分重要,可以为森林资源变化监测、森林资源的可持续发展研究提供高精度的数据支撑。本文使用 Global Forest Watch (GFW)2000—2015 年森林资源变化数据和 2014—2018 年中国林业和草原局第九次全国森林资源调查统计数据(CFGA),从省级尺度上对 2015 年中国区域的美国马里兰大学森林覆盖产品(University of Maryland,UMD)和日本宇宙航空研究开发机构(Japan Aerospace Exploration Agency,JAXA)基于 ALOS PALSAR 数据生产的森林覆盖产品(JAXA forest/non-forest,JAXA FNF)的质量进行评价。

1 数据源

1.1 UMD 森林覆盖产品

Hansen 等^[9]发布了基于 Landsat 数据制作的 30 m 的全球森林覆盖数据,并提供了以 a 为单位的森林覆盖度增加和减少的空间数据集,已被广泛应用于森林资源变化监测^[10]。其对森林的定义为树高大于 5 m,覆盖度大于 20% 的林地。

1.2 JAXA FNF 森林覆盖产品

JAXA FNF 森林覆盖产品基于每年 6—9 月份的 25 m ALSO PALSAR 精细双极化卫星数据,采用监督分类方法获得,其优势在于不受天气状况的影响,但易受地形和土壤含水量的影响^[11]。JAXA FNF 对森林的定义为:树高大于 5 m,郁闭度大于 10%。数据可从 https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/palsar_fnf/data/index.htm 下载获取。

1.3 GFW 森林覆盖率统计数据

GFW 是由 Google Earth 和马里兰大学联合开发的一款免费森林在线监测和预警系统(<https://www.globalforestwatch.org/>),该系统能够通过最新卫星技术、开放数据,提供全球森林情况的实时数据。GFW 对森林的定义为树高大于 5 m,覆盖度大于 20% 的林地。该系统提供从 2000—2018 年实时森林变化数据,包括森林面积的增加、减少以及森林火灾预警信息,并且提供 2000 年全球范围的森林覆盖数据。相关研究人员将其 2000—2013 年的数据与已有的国家森林清查、ChinaCover 和 GlobeLand30

等数据集进行比较,表明其数据质量可靠^[12]。本次实验使用的是从该系统收集的 2000 年森林覆盖数据以及 2000—2015 年森林面积变化数据。通过计算获得中国各省(区、市)2015 年森林覆盖率数据,计算方法为:

$$R = \frac{A_F + A_{Fg} - A_{F1}}{A}, \tag{1}$$

式中:R 为森林覆盖率;A_F 为 2000 年各省(区、市)森林覆盖面积;A_{Fg} 为 2000—2015 年森林增加量;A_{F1} 为 2000—2015 年森林减少量;A 为该省(区、市)总面积。

1.4 CFGA 统计数据

本文所用卫星产品生产于 2015 年,因此本次实验主要使用中国林业和草原局提供的第九次全国森林资源调查统计的全国及各省(区、市)森林覆盖率数据 CFGA 进行验证。第九次全国森林资源清查从 2014 年开始,至 2018 年结束,历时 5 a,共分 4 次完成了全国除香港、澳门外所有省(区、市)的森林资源清查工作(表 1)。其中吉林、上海、浙江、安徽、湖

表 1 第九次全国森林资源清查主要指标

Tab.1 Main indicators in ninth national forest resources inventory

区域	森林面积/(万 hm ²)	森林覆盖率/%	清查年度
吉林	785	41.49	2014 年
上海	9	14.04	2014 年
浙江	605	59.43	2014 年
安徽	396	28.65	2014 年
湖北	736	39.61	2014 年
湖南	1 053	49.69	2014 年
陕西	887	43.06	2014 年
山西	321	20.5	2015 年
辽宁	572	39.24	2015 年
黑龙江	1 990	43.78	2015 年
广西	1 430	60.17	2015 年
贵州	771	43.77	2015 年
宁夏	66	12.63	2015 年
江苏	156	15.2	2015 年
河北	503	26.78	2016 年
北京	72	43.77	2016 年
江西	1 021	61.16	2016 年
西藏	1 491	12.14	2016 年
甘肃	510	11.33	2016 年
新疆	802	4.87	2016 年
山东	267	17.51	2017 年
云南	2 106	55.04	2017 年
广东	946	53.52	2017 年
天津	14	12.07	2017 年
重庆	355	43.11	2017 年
四川	1 840	38.03	2017 年
内蒙古 ^①	2 488	21.03	2013 年
福建 ^②	801	65.95	2013 年
河南 ^③	359	21.50	2013 年
青海 ^④	406	5.63	2013 年
海南 ^⑤	187	55.38	2013 年
台湾 ^⑥	210	58.79	1993 年
全国	22 034	22.96	2014—2018 年

注:①—⑤来源于第八次全国森林资源清查结果^[18],⑥来源于《第三次台湾森林资源及土地利用调查(1993 年)》。

北、湖南、陕西等 7 个省市于 2014 年底完成第九次全国森林资源清查工作^[13]；山西、辽宁、黑龙江、广西、贵州、宁夏、江苏等 7 个省(区)于 2015 年底完成第九次全国森林资源清查工作^[14]；河北、北京、江西、西藏、甘肃、新疆等 6 个省(区、市)于 2016 年底完成第九次全国森林资源清查工作^[15]；山东、云南、广东、天津、重庆、四川等 6 个省(市)于 2017 年完成第九次全国森林资源清查工作^[16]；内蒙古、福建、河南、海南、青海分别于 2013 年底和 2018 年底完成第八次和第九次全国森林资源清查工作^[17-18]。为减小验证误差,本文选用了内蒙古、福建、河南、海南、青海 5 个省(区)第八次清查数据作为验证数据,其他省(区、市)均使用第九次全国森林资源清查结果作为验证数据。

第九次全国森林资源清查工作采用地面调查和统计的方式,该数据能刻画森林宏观变化趋势,但空间分辨率较低。中国林业和草原局对森林的定义为^[8]：森林植被郁闭度大于 20% 的有林地、乔木树郁闭度在 10% ~ 20% 之间的疏林地,以及灌木林地、未成林地等,斑块面积大于 667 m²。分省抽样的精度达到 95%。

本文所用森林数据基本情况见表 2。

表 2 本研究所用森林数据基本情况比较
Tab.2 General characteristics of forest cover products in this study

数据集	数据源	空间分辨率	森林定义
UMD	Landsat	30 m	树高 > 5 m, 郁闭度 > 20%
JAXA FNF	ALSO PALSAR	25 m	树高 > 5 m, 郁闭度 > 10%
GFW	Landsat	30 m	树高 > 5 m, 郁闭度 > 20%
CFGA	调查统计数据	省域	郁闭度 > 20%

2 验证方法

2.1 定性分析

为了可以直观观察 UMD 和 JAXA FNF 的森林覆盖在中国各省(区、市)的分布差异,首先对 2 种森林覆盖产品进行了处理,主要步骤如下：①数据处理,投影转换到同一地图投影、重分类(0 为非森林,1 为森林)；②提取出 UMD 和 JAXA FNF 在中国区的森林覆盖分布情况；③使用栅格计算器计算 2 个产品的分布差异。

2.2 统计分析

为了更加准确地评价 UMD 和 JAXA FNF 的反演精度,首先,使用 Kappa 系数计算了这 2 种产品的一致性；然后,计算了中国各省(区、市)的森林覆盖率作

为进一步分析 UMD 和 JAXA FNF 反演精度的基础。

2.2.1 Kappa 分析

Kappa 分析是一种定量评价遥感分类图与参考数据之间一致性或精度的方法^[19],它采用离散的多元方法,更加客观地评价分类质量。Kappa 系数可以作为评价 2 种产品反演精度的辅助参考数据,若 Kappa 系数值较高,则可以证明 2 种产品的一致性较高。其计算方法为：

$$K = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e}, \tag{2}$$

式中： K 为 Kappa 系数值； P_0 为观察一致性； P_e 为期望一致性,即在测量者是独立的这一假设下的一致性期望。设栅格图像总像元数为 n ,真实栅格为 1 (森林)的像元数为 a_1 ,为 0 (非森林)的像元数为 a_0 ；模拟栅格为 1 (森林)的像元数为 b_1 ,为 0 (非森林)的像元数为 b_0 ；2 个栅格对应像元值相等的像元数为 s ,则

$$P_0 = s/n, \tag{3}$$

$$P_e = (a_1 b_1 + a_0 b_0)/(n^2)。 \tag{4}$$

通常 K 值落在 $[0,1]$ 之间, $[0,0.2]$ 为极低的一致性、 $(0.2,0.4]$ 为一般的一致性、 $(0.4,0.6]$ 为中等的一致性、 $(0.6,0.8]$ 为高度的一致性、 $(0.8,1]$ 为几乎完全一致。 $K = 1$ 表示结果完全一致, $K = 0$ 表示结果完全不一致。

2.2.2 森林覆盖率计算

UMD 和 JAXA FNF 森林覆盖产品各省(区、市)的森林覆盖率计算方法为：

$$R = \frac{C_g A_c}{A_p}, \tag{5}$$

式中： C_g 为该省(区、市)内森林单元格个数； A_c 为每个单元格面积,m²； A_p 为该省(区、市)面积。

2.3 对比验证

基于 GFW 和 CFGA 数据对 UMD 和 JAXA FNF 这 2 种森林覆盖产品进行了对比。通过比较 UMD 和 JAXA FNF 各省的森林覆盖率数据与 GFW 和 CFGA 数据的绝对误差,从而分析 UMD 和 JAXA FNF 产品在中国森林覆盖分布以及森林覆盖率的精度。

3 结果与分析

3.1 UMD 和 JAXA FNF 产品对比

3.1.1 定性分析结果

总体上而言,JAXA FNF 的森林覆盖度高于 UMD 产品。在 UMD 和 JAXA FNF 森林覆盖差异性

较大的地区主要分布在中国西部的新疆、西藏、青海 3 省(区)和中东部的河北、河南、山东、安徽、江苏 5 省以及东北黑吉辽 3 省,JAXA FNF 标识出的森林覆盖比 UMD 产品的要多得多。此外,在重庆、四川东部、湖南中部以及河北部分地区,UMD 和 JAXA FNF 产品的森林覆盖分布差异较大,森林分布的一致性很差,尤其在四川东部和重庆南部一带,UMD 识别出是森林而 JAXA FNF 认为是非森林。

3.1.2 统计分析结果

通过式(2)可得 UMD 和 JAXA FNF 产品的 Kappa 值为 0.27,可知 2 种产品的分类一致性较为一般。JAXA FNF 产品全国平均森林覆盖率为 34.69%,UMD 产品全国平均森林覆盖率为 24.11%,可见 UMD 产品与我国 2019 年公布的全国森林覆盖率数据 22.96% 较为接近^[20]。2 种产品在各省(区、市)的森林覆盖率差异如图 1 所示,纵坐标表示 JAXA FNF 在各省的森林覆盖率减去 UMD 在各省的森林覆盖率。由图 1 可知,JAXA FNF 产品在各省的森林覆盖率均大于 UMD 产品,在云南和北京的差异性最大,两者森林覆盖率差值在 30% 以上;在吉林、辽宁和四川的差值在 15% 以上。在新疆、西藏和青海两者森林覆盖率虽然较小,但森林

覆盖空间分布一致性较差;在中东部的河北、河南、山东、安徽、江苏 5 省,两者不仅森林覆盖率相差较大,森林覆盖空间分布一致性也较差。

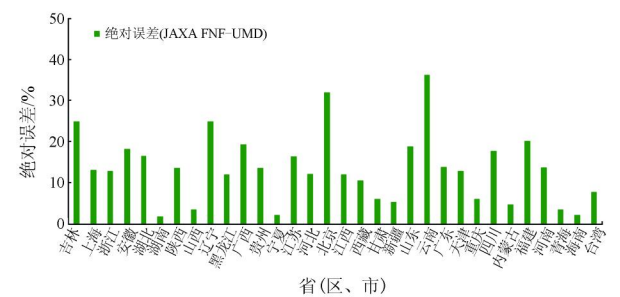


图 1 UMD 和 JAXA FNF 产品各省(区、市)森林覆盖率数据绝对误差
Fig.1 Absolute error of forest coverage between UMD and JAXA FNF

3.2 地面验证结果

为进一步分析和验证 2 种森林覆盖产品,基于 GFW 和 CFGA 数据对 UMD 和 JAXA FNF 产品进行进一步验证。图 2 展示了 UMD,JAXA FNF,GFW 和 CFGA 这 4 种产品森林覆盖率的情况。通过比较 UMD 和 JAXA FNF 产品各省(区、市)的森林覆盖率数据与 GFW 和 CFGA 地面调查数据的绝对误差,从而分析 UMD 和 JAXA FNF 产品的精度情况。

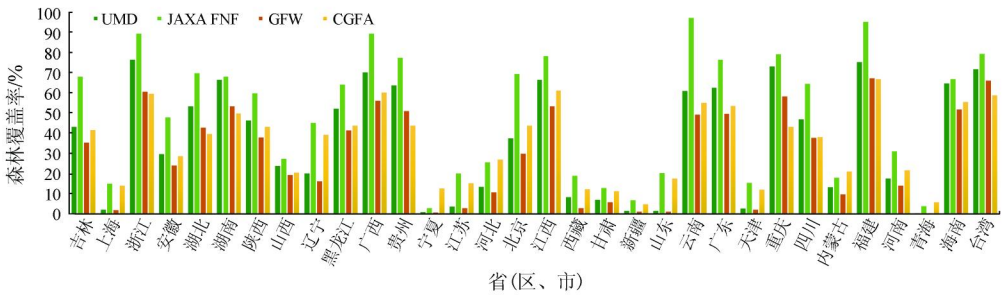


图 2 UMD,JAXA FNF,GFW 和 CFGA 产品各省(区、市)森林覆盖率数据
Fig.2 Forest coverage of UMD, JAXA FNF, GFW and CFGA in each province of China

3.2.1 基于 GFW 森林数据的验证结果

GFW 与 UMD 和 JAXA FNF 产品的森林覆盖率平均绝对误差分别为 6.96% 和 20.28%,由此可知 UMD 更接近于 GFW 数据,而 JAXA FNF 与 GFW 的

差异性更大一些。由图 3 可知,UMD 和 JAXA FNF 与 GFW 森林覆盖率数据在所有省区市都存在一定的差异,且 JAXA FNF 与 GFW 的森林覆盖差异均大于 UMD。

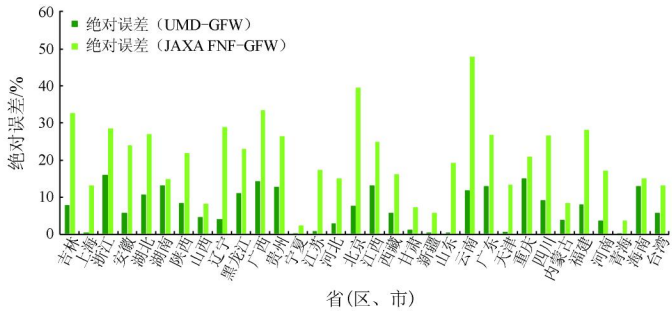


图 3 UMD 和 JAXA FNF 产品与 GFW 各省(区、市)森林覆盖率数据绝对误差
Fig.3 Absolute error of forest coverage between UMD and GFW besides JAXA FNF and GFW

GFW 与 UMD 和 JAXA FNF 产品各省(区、市)绝对误差统计情况如表 3 所示。

表 3 UMD 和 JAXA FNF 产品与 GFW
森林覆盖率数据绝对误差统计

Tab. 3 Absolute error statistics of forest coverage data between UMD and GFW besides JAXA FNF and GFW			
数据类型	绝对误差所在范围/%	省(区、市)个数	所占比例/%
UMD	[0,5]	13	40.6
	(5,10]	10	31.3
	(10,20]	9	28.1
	(20,40]	0	0
JAXA FNF	[0,5]	2	6.2
	(5,10]	4	12.5
	(10,20]	10	31.3
	(20,50]	16	50.0

分析表 3 可得出以下结论:①UMD 各省的森林覆盖率与 GFW 数据十分接近,而且在中国西部的新疆、宁夏等省(区)和中国中东部的山东、天津等省(市),两者的森林覆盖率近乎一致,绝对误差均小于 1%,结合产品对比验证的结论,可以发现这些省(区、市)JAXA FNF 的森林覆盖率明显高于 UMD 和 GFW 的森林覆盖率。由此可知在我国

西部和中东部 JAXA FNF 的森林覆盖率估计明显偏高,而在我国东南部各省,UMD 和 JAXA FNF 的一致性较好,但都偏高;②UMD 和 GFW 最大森林覆盖率误差为 15.84%,且 UMD 和 GFW 的森林覆盖率误差基本上在 0~10%之间,这与 UMD 和 GFW 出于一个体系有较大关系;③JAXA FNF 和 GFW 最大森林覆盖率误差为 47.9%,JAXA FNF 和 GFW 的森林覆盖率误差大于 20%的省(区、市)共有 16 个;④JAXA FNF 与 GFW 森林覆盖率数据误差大于 30%的省(区、市)主要分布在中国中东部的北京、吉林等省(市)和中国南部的云南、广西等省(区),而在这些省(区、市)UMD 和 GFW 的森林覆盖率误差均低于 11%。

3.2.2 基于 CFGA 统计数据的验证结果

CFGA 统计数据与 UMD 和 JAXA FNF 产品的森林覆盖率平均绝对误差分别为 9.74% 和 16.03%,说明在研究区域内 UMD 的数据精度优于 JAXA FNF。由图 4 可知,UMD 和 JAXA FNF 与 CFGA 数据在所有省(区、市)也都存在一定的差异,且 JAXA FNF 与 GFW 的森林覆盖差异多大于 UMD。

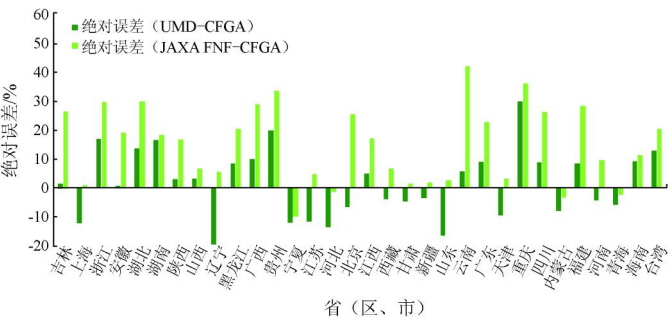


图 4 UMD 和 JAXA FNF 产品与 CFGA 各省(区、市)森林覆盖率数据绝对误差

Fig. 4 Absolute error of forest coverage between UMD and CFGA besides JAXA FNF and CFGA

CFGA 数据与 UMD 和 JAXA FNF 产品各省区市绝对误差统计情况如表 4 所示。

表 4 UMD 和 JAXA FNF 产品与 CFGA
森林覆盖率数据绝对误差统计

Tab. 4 Absolute error statistics of forest coverage data between UMD and CFGA besides JAXA FNF and CFGA			
数据类型	绝对误差所在范围/%	省(区、市)个数	所占比例/%
UMD	[0,5]	9	28.2
	(5,10]	12	37.5
	(10,20]	10	32.0
	(20,40]	1	3.1
JAXA FNF	[0,5]	9	28.2
	(5,10]	6	18.7
	(10,20]	5	15.6
	(20,50]	12	37.5

分析图 4 和表 4 可得出以下结论:①在中国西部各省(区、市),UMD 和 JAXA FNF 产品与 CFGA

的森林覆盖率误差低于 5%,且 UMD 和 JAXA FNF 产品一致性较高,但森林覆盖率都高于 CFGA;②在中国南部的云南、广西、四川等省(区)和中国中东部的北京、安徽、吉林、辽宁等省(区、市),UMD 与 CFGA 的差异明显小于 JAXA FNF 与 CFGA 森林覆盖率的误差。结合产品对比验证的结论,可以发现这些省(区、市)JAXA FNF 的森林覆盖率明显高于 UMD 和 CFGA 森林覆盖率,由此可知在我国南部和中东部 JAXA FNF 的森林覆盖率估计明显偏高;③UMD 和 CFGA 最大森林覆盖率误差为 30%,但 UMD 和 GFW 的森林覆盖率误差基本上在 0~15%之间;而 JAXA FNF 和 CFGA 最大森林覆盖率误差为 41.98%,JAXA FNF 和 GFW 的森林覆盖率误差大于 20%的省区市共有 12 个;④与 GFW 地面数据不同的是,CFGA 统计数据是分批次完成的统计任务,如山东、云南、广东、天津、重庆、四川等 6 个省(市)于

2017 年底完成第九次全国森林资源清查工作,而这些省(市)森林覆盖面积在 2015—2017 年逐渐增加,因此用这些省(市)的第九次 CFGA 统计数据代表 2015 年的森林覆盖率数据会比实际值偏高一些,导致其与遥感产品的平均绝对误差偏低;而内蒙古、福建、河南、海南、青海和台湾等 6 个省(区)于 2013 年底和 1993 年完成森林资源清查工作,2013—2015 年间这些省(区)森林面积逐年增加,因此其森林覆盖率低于实际值,导致与遥感产品的平均绝对误差偏高。

4 结论与讨论

本文采用数据对比分析和地面验证的方法对 2 种遥感数据产品(UMD 和 JAXA FNF)进行了质量评价。

1) UMD 产品对森林覆盖的反演精度更高。UMD 和 JAXA FNF 与 GFW 和 CFGA 森林覆盖率数据在所有省(区、市)虽都存在一定的差异,但是 JAXA FNF 的差异性更大,平均绝对误差约为 UMD 的 3 倍。

2) JAXA FNF 产品在中国 1/3 以上的省(区、市)森林覆盖率与地面数据的平均绝对误差大于 20%,约为 UMD 的 14 倍,证明了 JAXA FNF 森林覆盖率存在非常严重的高估现象;而 UMD 与地面数据的平均绝对误差基本上均控制在 20% 以下,且有 2/3 的省(区、市)森林覆盖率与地面数据的平均绝对误差在 0~10% 之间,高估现象明显轻于 JAXA FNF。

3) 通过与地面调查数据对比可以发现,在森林覆盖率高于 CFGA 和 GFW 的省(区、市),UMD 与地面调查数据的差异大部分都小于 JAXA FNF 与地面调查数据的差异,这种差异明显的体现在云南、福建、广西、安徽、吉林、四川、湖北以及北京等省(区、市)。

此外,JAXA FNF 对森林的识别标准与 UMD, GFW 和 CFGA 相比较为宽松,因此 JAXA FNF 在中国 2015 年的森林覆盖率会略高于其他 3 种数据。综上,JAXA FNF 由于森林定义的原因对森林覆盖率有一定程度的高估。UMD 和 JAXA FNF 产品的森林覆盖分布和森林覆盖率差异较大,但森林覆盖的大致趋势相同,从与地面验证的结果来看 UMD 森林覆盖率数据总体上精度更高,JAXA FNF 森林覆盖率相比于地面验证数据高估了许多。由于不同来源的数据产品可能有一定的互补性,在这方面也有一些研究做出了尝试,未来可以考虑融合多种产品来获得更好的森林覆盖率产品。

产品、日本 ALOS 2015 年 FNF 森林覆盖产品、Global Forest Watch 数据和中国林业和草原局第九次全国森林资源调查统计数据,在此对其生产者和提供者一并表示感谢!

参考文献(References):

[1] Nagendra H, Lucas R, Honrado J P, et al. Remote sensing for conservation monitoring: Assessing protected areas, habitat extent, habitat condition, species diversity, and threats[J]. *Ecological Indicators*, 2013, 33: 45–59.

[2] Saatchi S S, Harris N L, Brown S, et al. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2011, 108(24): 9899–9904.

[3] Lei L, Hao T, Chi T. Evaluation on China's forestry resources efficiency based on big data[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 142: 513–523.

[4] 方向文, 蒋志荣. 遥感在森林资源调查中的应用动态综述[J]. *甘肃农业大学学报*, 2003, 3(38): 267–273.

Fang X W, Jiang Z R. The review of remote sensing application to investigate forest resources[J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2003, 3(38): 267–273.

[5] 张田, 张晓丽, 刘红伟, 等. 遥感在森林病虫害监测中的应用研究[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(21): 11604–11607.

Zhang T, Zhang X L, Liu H W, et al. Application of remote sensing technology in monitoring forest diseases and pests[J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2010, 38(21): 11604–11607.

[6] Mellor A, Haywood A, Stone C, et al. The performance of random forests in an operational setting for large area sclerophyll forest classification[J]. *Remote Sensing*, 2013, 5(6): 2838–2856.

[7] 韦希勤. 森林覆盖率有关问题的探讨[J]. *世界林业研究*, 2011, 24(2): 76–80.

Wei X Q. Discussion on issues related to forest cover rate[J]. *World Forestry Research*, 2011, 24(2): 76–80.

[8] 秦元伟, 董金玮, 肖向明. 中国森林覆盖度产品的差异性及其不确定性分析[J]. *生物多样性*, 2015, 23(6): 830–834.

Qin Y W, Dong J W, Xiao X M. Difference and uncertainty of forest coverage estimation in China[J]. *Biodiversity Science*, 2015, 23(6): 830–834.

[9] Hansen M C, Potapov P V, Moore R, et al. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change[J]. *Science*, 2013, 342: 850–853.

[10] Soto-Berelov M, Jones S D, Haywood A. Assessing large area forest cover products derived from the same imaging source across Victoria, Australia[J]. *Ecological Management & Restoration*, 2018, 19(1): 66–75.

[11] Shimada M, Itoh T, Motooka T, et al. New global forest/non-forest maps from ALOS PALSAR data (2007–2010)[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2014, 155: 13–31.

[12] 王昊, 吕植, 顾垒, 等. 基于 Global Forest Watch 观察 2000—2013 年间中国森林变化[J]. *生物多样性*, 2015, 23(5): 575–582.

Wang H, Lyu Z, Gu L, et al. Observations of China's forest change (2000–2013) based on Global Forest Watch dataset[J]. *Biodiversity Science*, 2015, 23(5): 575–582.

志谢: 本文所用到美国 UMD 2015 年森林覆盖

[13] 国家林业局. 国家林业局关于公布第九次全国森林资源清查吉林等 7 省(市)主要清查结果的通知[EB/OL]. (2015-04-28)[2019-10-09]. <http://www.forestry.gov.cn/main/447/content-761376.html>.
State Forestry Administration. Notice of the State Forestry Administration on the publication of the ninth national forest resources inventory and the results of the main inventories of seven provinces (cities) such as Jilin[EB/OL]. (2015-04-28)[2019-10-09]. <http://www.forestry.gov.cn/main/447/content-761376.html>.

[14] 曾伟生, 闫宏伟. 第九次森林资源清查 2015 年度情况[M]//国家林业局. 中国林业年鉴. 北京: 中国林业出版社, 2016: 291-292.
Zeng W S, Yan H W. The 9th forest resources inventory of 2015 years[M]//The state forestry administration. China forestry yearbook. Beijing: China Forestry Publishing House, 2016: 291-292.

[15] 曾伟生, 闫宏伟. 国家林业局发布北京等 6 个省(市)的全国森林资源清查数据[M]//国家林业局. 中国林业年鉴. 北京: 中国林业出版社, 2017: 283-284.
Zeng W S, Yan H W. The state forestry administration released the national forest resources inventory data of 6 provinces (cities) such as Beijing[M]//The state forestry administration. China forestry yearbook. Beijing: China Forestry Publishing House, 2017: 283-284.

[16] 曾伟生, 闫宏伟. 国家林业局发布天津等 6 个省(市)的全国森林资源清查数据[M]//国家林业局. 中国林业年鉴. 北京: 中国林业出版社, 2018: 162.
Zeng W S, Yan H W. The state forestry administration released the national forest resources inventory data of 6 provinces (cities) such as Tianjin[M]//The state forestry administration. China forestry yearbook. Beijing: China Forestry Publishing House, 2018: 162.

[17] 国家林业局. 国家林业局办公室关于开展第九次全国森林资源清查 2018 年工作的通知[EB/OL]. (2018-03-22)[2019-10-09]. <http://www.forestry.gov.cn/portal/main/s/4461/content-1086582.html>.
State Forestry Administration. Notice of the office of the state forestry administration on launching the 9th national forest resources inventory in 2018[EB/OL]. (2018-03-22)[2019-10-09]. <http://www.forestry.gov.cn/portal/main/s/4461/content-1086582.html>.

[18] 徐济德. 我国第八次森林资源清查结果及分析[J]. 林业经济, 2014(3): 6-8.
Xu J D. The 8th forest resources inventory results and analysis in China[J]. Forestry Economics, 2014(3): 6-8.

[19] Mcgrath R E. Kappa coefficient[M]. Corsini Encyclopedia of Psychology. 1983: 352-354.

[20] 国家林业局. 森林覆盖率是怎么调查出来的?[EB/OL]. (2019-06-17)[2019-10-09]. <http://www.forestry.gov.cn/main/4045/20190617/160420891885179.html>.
State Forestry Administration. How is forest coverage surveyed?[EB/OL]. (2019-06-17)[2019-10-09]. <http://www.forestry.gov.cn/main/4045/20190617/160420891885179.html>.

Quality evaluation of forest cover products over China

WEN Yanan^{1,2}, CHE Yahui^{1,2}, GUANG Jie¹, ZHANG Xiaomei¹, LI Zhengqiang¹

(1. Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Forest coverage is a common variable in forest management, monitoring and planning. It is also an important reference for biodiversity impact assessment and carbon storage quantification. Due to its objective, fast and macroscopic advantages, remote sensing technology has gradually been widely used in forest resources monitoring. In order to get better application of forest cover products based on remote sensing technology, validation and quality evaluation are particularly important. Two widely used forest cover products (UMD and JAXA FNF) were selected in this paper. UMD (University of Maryland) forest cover product was derived by EDENext Data Management Team from original datasets produced by UMD et al. 2013/UMD/Google/USGS/NASA. The forest/non-forest (FNF) product from ALSO/PALSAR data in 2015 was available on the Earth Observation Research Center, Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA). Validation and quality evaluation were carried out by comparison between products and ground-based survey data. UMD and JAXA FNF forest cover products were compared through qualitative analysis and statistical analysis. The results show that the forest coverage rate of JAXA FNF in western, southern and central eastern China is significantly higher than that of UMD. In southeastern provinces of China, the consistency of UMD and JAXA FNF is better, but both of them are higher than ground-based data. In general, the accuracy of UMD is higher than that of JAXA FNF. Although the forest coverage data of UMD and JAXA FNF and GFW and CFGA are different in all provinces, the difference of JAXA FNF is larger, and the average absolute error of JAXA FNF is about 3 times of UMD.

Keywords: forest cover product; UMD; JAXA FNF; validation; quality evaluation

(责任编辑: 李 瑜)