

基于全球通量观测站的全球土地覆盖图精度检验*

官 鹏

中国科学院遥感应用研究所, 北京师范大学 遥感科学国家重点实验室, 北京 100101

摘要 全球土地覆盖数据产品是理解人类活动与全球变化之间复杂相互作用的关键信息来源。它们在提高生态系统, 水文和大气模式的性能方面起着至关重要的作用。美国和欧洲已经花费数千万美元, 收集数据, 研制算法, 编制了全球土地覆盖数据库。目前, 在全球变化科学领域普遍使用着三套由美国开发并免费提供的全球土地覆盖产品。其中两个分别由美国地质调查局和马里兰大学分别利用 1992—1993 年的 NOAA 甚高分辨率辐射计(AVHRR)数据制作, 另一个由波士顿大学利用 2000—2001 年的 EOS 中级分辨率成像光谱仪(MODIS)数据制作。与世界各地 250 个通量观测站已知的土地覆盖类型相比, 可以评估这三种全球土地覆盖图的精度状况。我们得到的结果表明美国地质调查局的精度为 37%, 美国马里兰大学的精度为 36% 而美国波士顿大学的精度为 42%。这些土地覆盖图的精度随区域的不同而变化。例如, 用美国和加拿大 102 个通量观测站的土地覆盖类型验证的结果表明在相应地区的制图精度接近 50%, 然而, 用中国 14 个通量站土地覆盖类型的验证精度却低于 10%。这种精度远远不能满足全球变化科学发展的需要。必须继续开展全球土地覆盖分类制图的关键技术研究, 不断提高全球土地覆盖图的精度。文中提出未来全球土地覆盖制图的一些战略性建议。

关键词 IGBP 土地覆盖分类系统 土地覆盖制图产品

1 全球土地覆盖数据产品的制作概况

目前只有美国和欧洲用全球观测数据制作完成了四套 1 km 全球土地覆盖图。都对全球科学界免费提供。其中三套分别是由美国地质调查局(USGS)^[1], 马里兰大学(UMD)^[2]和波士顿大学^[3]等美国机构开发。第四套是由欧洲开发^[4]的 GLC2000。欧洲最近通过全球合作完成 300 m 分辨率的全球土地覆盖土地利用图。美国地质调查局和美国马里兰大学的全球土地覆盖图的数据源是来自 1992—1993 年每月的归一化植被指数, 从 NOAA 的甚高分辨率辐射计(AVHRR)数据合成得到。GLC2000 也是使用每月植被指数数据完成, 数据源是 1999—2000 年 SPOT 的 Vegetation 传感器数据。

波士顿大学全球土地覆盖图源自 2000—2001 年获得的 MODIS 数据。美国的三套全球土地覆盖图所使用的分类方案是根据国际地圈生物圈计划(IGBP)的 17 类覆盖类型分类系统, 而 GLC2000 采用粮农组织 22 类的分类方案。所有土地覆盖数据产品都使用计算机分类算法完成。美国地质调查局的地图是基于聚类和人工编辑, 而马里兰大学和波士顿大学的地图产品是由不同的分类树算法完成。GLC2000 是由大量的工作人员分别在上 19 个不同区域使用不同类型的算法制作完成。这些土地覆盖地图都没有提供精度评估报告。

2 全球土地覆盖图精度的局部检验结果

最近一些研究指出这些产品中存在大量错

2008-02-10 收稿, 2009-03-09 收修改稿

* 国家自然科学基金(批准号: 30590370)和美国国家科学基金会(NSF DEB 04-21530)资助项目

** E-mail: gong@irsa.ac.cn

误^[5,6]. 在莫桑比克约 $1.0 \times 10^5 \text{ km}^2$ 的林地生态系统中使用 400 个野外站点和陆地卫星专题制图仪图像进行验证发现, 波士顿大学的全球土地覆盖地图几乎完全是错的^[5]. 在俄罗斯西伯利亚大约 $1.0 \times 10^6 \text{ km}^2$ 的地区抽取 2161 个野外调查站点与一些土地覆盖地图, 包括美国地质调查局和波士顿大学的产品进行比较发现, 美国地质调查局和波士顿的全球土地覆盖图的总体精确度分别只有 22% 和 11%^[6]. 对上述四个全球土地覆盖图进行一致性检查发现, 在所有四个数据集中归类比较一致的只有格陵兰岛的雪/冰覆盖地区, 非洲的荒芜的/草木稀疏地区, 以及巴西的热带雨林, 总计占全球面积的 26%^[7]. 从非洲, 亚洲, 澳洲, 欧洲, 北美洲, 俄罗斯和南美洲选择了 7 片大约 $500 \text{ km} \times 500 \text{ km}$ 的范围的详细遥感数据与四套 1 km 全球土地覆盖图相比较, 四套图只有在南美洲的相互一致性超过 80%, 其余六片大样区的一致性都低于 20%.

3 部分通量观测网络站的土地覆盖类型可用于验证全球土地覆盖图的精度

目前全球有 500 多个通量站点 (<http://www.fluxnet.ornl.gov/fluxnet/siteplan.cfm>). 只有 250 个站点报告了它们的土地覆盖类型. 我们用它们来评估全球土地覆盖图的精度有三个原因. (1) 每个通量观测站点的确立必须要有大于约 4 km^2 的均一地覆盖, 因此, 每个通量观测站能够提供一

想的纯样区. (2) 它们的位置有精确的经纬度. (3) 所报告的土地覆盖种类是依据国际地圈生物圈计划的分类系统提供的, 这使它们可以与美国开发的三个全球土地覆盖图直接比较. 由于分类系统不一致, 我们没有评估 GLC2000 数据.

图 1 是在美国地质调查局全球土地覆盖图的背景上显示了这 250 个通量站的位置. 显然, 分布是不均匀的, 大多数站点设在西欧和北美. 因为全球土地覆盖图展示在地理坐标系统之中, 所以每个通量网站的经纬度很容易投影到这些地图上. 通量站数据与每一幅土地覆盖图相比较都得到一个误差矩阵, 从中可以计算出单独类别精度和总体精度 (表 1—3). 全球通量站只涵盖了 11 个土地覆盖类别, 它们分别是常绿针叶林, 常绿阔叶林, 落叶阔叶林, 混交林, 高郁闭度灌丛地, 低郁闭度灌丛地, 密度较高的稀树草原, 稀树草原, 草原, 永久性湿地, 和农田. 在每个表底部列出了对应于每个土地覆盖类型在通量站发现的样本总数. 尽管常绿针叶林, 落叶阔叶森林, 草原和农田每个类型都有至少 30 样本站点, 但高郁闭度灌木, 密度较高草原和稀树草原每类都不到 10 个抽样站点. 不完整的土地覆盖种类, 不足的样本数量和不均匀的通量网站空间分布, 使我们不可能全面评估全球土地覆盖图的质量. 然而, 它们代表了在全球范围内可靠的地面真实覆盖数据源, 对了解这些全球土地覆盖图的质量确有帮助.

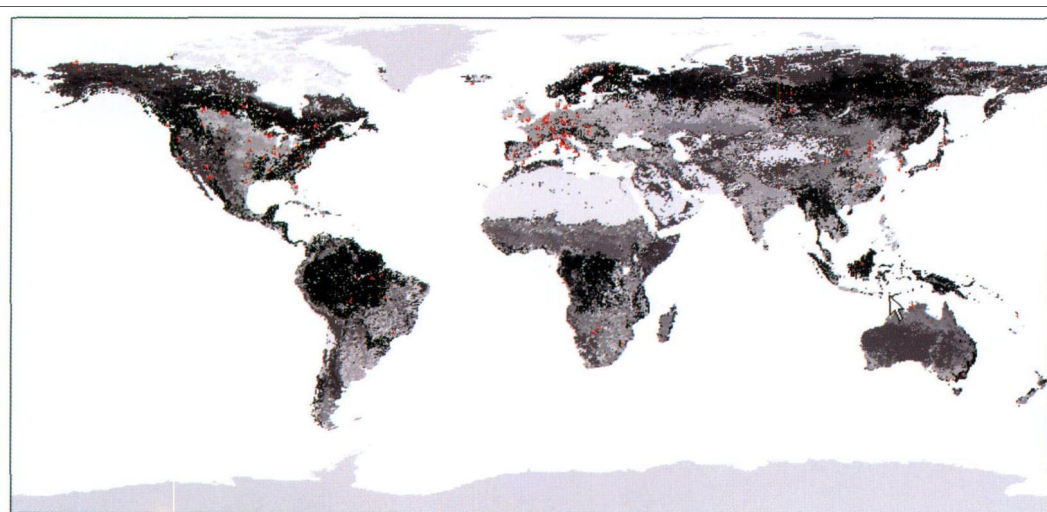


图 1 美国地质调查局全球土地覆盖图背景上的全球通量观测站点(红色)分布

4 验证结果

表1显示了通量网站与美国地质调查局的全球土地覆盖图的一致与不同。对角线元素是一致的,而非对角线元素报告的是表格上方指出的正确类型被错误分类到对应表格左侧类型的通量站点数目。所有站点总数除以总的正确分类的站点数给出整体精度。这个比率只有0.37,意味着37%的准确性。在单独类别精度中,只有常绿阔叶林,混交林和耕地达到50%以上的准确性。大量常绿针叶林的站点被错分为混交林,草原和落叶阔叶林被错分成农田。

表2显示了通量网站与马里兰大学的土地覆盖图的一致性。在马里兰大学的分类系统中,不包括

湿地和与其他植被混杂的农田。总体精度只有36%。只有高郁闭度灌丛和农田达到50%以上的准确性。常绿针叶林被错分到混交林和高郁闭度灌丛,草原被错分到低郁闭度灌丛和农田,和落叶阔叶林被错成农田,混交林和灌丛。

表3中波士顿大学的全球土地覆盖图的总体准确性是42%。五种覆盖类型达到50%以上的准确度,包括常绿针叶林,常绿阔叶林,混交林,热带草原和农田。错误分类的模式与前面讨论的两幅图相似。波士顿大学的土地覆盖图与美国地质调查局和马里兰大学的相比,包含更多的空间细节,这是由于MODIS数据比AVHRR数据图像分辨率有所提高。

表1 美国地质调查局全球土地覆盖图与通量观测点土地覆盖类型交叉矩阵
(列为通量站类型,行为土地覆盖图类型)

USGS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
1	Evergreen Needleleaf Forest	34	0	0	0	1	1	2	2	0	4	3	1						
2	Evergreen Broadleaf Forest	0	9	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1						
3	Deciduous Needleleaf Forest																		
4	Deciduous Broadleaf Forest	3	1		7	1	0	1	0	0	3	0	0						
5	Mixed Forests	16	1		7	9	0	3	0	0	4	0	0						
6	Closed Shrublands	0	1		2	0	0	0	0	0	0	0	1						
7	Open Shrublands	1	1		1	0	0	2	0	0	0	1	0						
8	Woody Savannas	1	0		1	0	0	0	2	1	4	0	0						
9	Savannas	0	0		0	2	0	0	1	0	0	0	0						
10	Grasslands	0	0		0	0	0	1	2	1	7	0	1						
11	Persistent Wetlands	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0						
12	Croplands	5	2		10	2	0	0	1	1	15	3	23						
13	Urban and Built-Up	0	0		1	0	0	0	0	0	0	0	1						
14	Cropland/Other Vegetation Mosaic	9	2		2	1	2	1	0	1	5	2	2						
15	Snow and Ice																		
16	Barren or Sparsely Vegetated	0	0		0	0	0	0	0	0	0	2	0						
17	Water	0	1		0	1	0	1	2	0	0	3	0						
	Total	69	18		32	16	4	12	9	4	45	11	30						250
	Class accuracy	0.49	0.5		0.22	0.56	0	0.17	0.22	0	0.16	0	0.77						
	Overall accuracy																		0.37

表2 美国马里兰大学全球土地覆盖图与通量观测点土地覆盖类型交叉矩阵
(列为通量站类型,行为土地覆盖图类型)

UMD		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15*	
1	Evergreen Needleleaf Forest	32	1		0	3	0	1	0	0	3	0					4
2	Evergreen Broadleaf Forest	0	8		0	0	0	0	0	0	0	1					
3	Deciduous Needleleaf Forest																
4	Deciduous Broadleaf Forest	4	0		7	3	0	0	0	0	2	0					
5	Mixed Forests	8	0		5	3	1	2	0	0	2	0					
6	Closed Shrublands	14	2		4	5	2	2	4	1	4	0					1
7	Open Shrublands	5	2		4	1	0	1	3	1	10	3					1
8	Woody Savannas	2	0		2	0	0	1	1	0	0	0					
9	Savannas	0	1		0	0	0	2	1	1	0	0					2
10	Grasslands	0	1		2	0	1	2	0	0	10	0					1
11	Croplands	2	1		7	1	0	0	0	1	9	26					1
12	Urban and Built-Up																
13	Snow and Ice	0	0		1	0	0	0	0	0	0	0					
14	Barren or Sparsely Vegetated	2	2		0	0	0	1	0	0	5	0					
	Total	69	18		32	16	4	12	9	4	45	30					11
	Class accuracy	0.46	0.44		0.22	0.19	0.5	0.08	0.11	0.25	0.22	0.87					0
	Overall accuracy																0.36

* Permanent Wetlands not included in this classification

5 讨论

即使用高空间或高光谱分辨率数据,要正确地对大量的土地覆盖类别进行分类也很不容易^[8,9]。尤其是在全球范围内,因为土地覆盖类型变化程度最大。在17个国际地圈生物圈计划的土地覆盖类型中,我们对不同类别的了解有差异。相对较高的单独类别精度意味着制图者掌握了更多关于这些类别的参考数据。由于对森林和农田有更多的研究所已有更好的单类型精度。无论是美国地质调查局,还是波士顿大学的地图都没能成功分出11湿地样本中的任何一个(马里兰大学的地图没有这一类)。分类准确度也随着位置而改变。位于北美的102个通量站点的范围内,美国地质调查局和波士顿大学的

全球土地覆盖图的分类精度提高到了49%和48%。这些都大大高于全球整体精度。但是,当使用中国的14个通量站土地覆盖类型验证时,这两种数据的精度却分别是7%(只对了一个点)和0。这两种图都将中国的四个草地通量观测点分成开阔灌丛。其他通量站的类型被误分成相差更大的其他类型。在其他空间尺度上的土地覆盖制图表明当对一个区域更了解时通常也会得到更高的土地覆盖类型精度^[10]。

全球土地覆盖制图是一项对遥感科学家具有严峻挑战的任务,它几乎涉及遥感的每一个方面,包括数据收集,几何和大气校正,镶嵌,特征提取,分类,和精度评价。虽然已经有大量致力于使用遥感数据进行土地覆盖制图的研究,但是目前在大范

表3 美国波士顿大学全球土地覆盖图与通量观测点土地覆盖类型交叉矩阵
(列为通量站类型,行为土地覆盖图类型)

MODIS		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
1	Evergreen Needleleaf Forest	39	0		1	0	1	2	0	0	2	4	0						
2	Evergreen Broadleaf Forest	2	11		0	0	0	0	0	0	0	0	1						
3	Deciduous Needleleaf Forest																		
4	Deciduous Broadleaf Forest	1	0		3	2	0	0	1	0	0	0	0						
5	Mixed Forests	17	1		12	12	2	3	0	0	8	1	2						
6	Closed Shrublands	0	0		0	0	1	0	0	0	0	0	1						
7	Open Shrublands	2	0		2	1	0	3	1	1	2	2	1						
8	Woody Savannas	1	0		3	0	0	1	3	0	2	1	0						
9	Savannas	1	2		0	0	0	0	3	3	3	0	0						
10	Grasslands	0	1		0	0	0	1	1	0	9	2	1						
11	Persistent Wetlands	0	0		0	1	0	0	0	0	0	0	0						
12	Croplands																		
13	Urban and Built-Up	2	2		6	0	0	0	0	0	11	1	21						
14	Cropland/Other Vegetation Mosaic	0	0		1	0	0	0	0	0	2	0	2						
15	Snow and Ice	3	0		3	0	0	1	0	0	3	0	1						
16	Barren or Sparsely Vegetated	0	1		0	0	0	1	0	0	0	0	0						
17	Water	1	0		1	0	0	0	0	0	3	0	0						
Total		69	18		32	16	4	12	9	4	45	11	30						250
Class accuracy		0.57	0.61		0.09	0.75	0.25	0.25	0.33	0.75	0.2	0	0.7						
Overall accuracy																			0.42

围内使用计算机产生准确的土地覆盖图的能力远不如人意. 虽然人们提出大量的图像分类算法, 但是找不到表现一直稳定优良的算法. 未来的研究不仅需要不断开发新算法^[11,12], 而且还应该在整合各种分类器的长处方面下功夫^[13]. 有必要为全球土地覆盖制图发展的分布式战略伙伴关系, 但必须保持一致性和统一的制图规范和标准. 使用及参考更多实地或高分辨率卫星数据是全球土地覆盖制图非常重要的训练信息来源. 目前, 大部分土地覆盖产品的生产来自单一类型的传感器的数据, 今后应更多致力于结合使用不仅来自不同时间, 而且是不同传感

器的数据. 最后, 由于使用通用软件不能很好区分湿地、居住区等土地覆盖类别, 所以应发展提取单独土地覆盖类型的方法. 事实上, 应该在今后的土地覆盖制图中大力提倡检测和提取单独的土地覆盖类型的图像分类制图技术.

参 考 文 献

- 1 Loveland TR, Reed BC, Brown JF, et al. Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21 (6/7): 1303—1330
- 2 Hansen MC, Defries RS, Townshend JRG, et al. Global land

- cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21(6-7): 1331—1364
- 3 Friedl MA, McIver DK, Hodges JCF, et al. Global land cover mapping from MODIS: Algorithms and early results. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 83: 287—302
 - 4 Fritz S, Bartholome E, Belward A, et al. Harmonization, Mosaicing and Production of the Global Land Cover 2000 Database (Beta Version). European Commission, Joint Research Centre, Ispra, Italy, 2003, 41
 - 5 Sedano F, Gong P, Ferrao M. Land cover assessment with MODIS imagery in Southern African Miombo ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 98(4): 429—441
 - 6 Frey KE, Smith LC. How well do we know northern land cover? Comparison of four global vegetation and wetland products with a new ground-truth database for West Siberia. *Global Biogeochemical Cycles*, 2007, GB1016, doi: 10. 1029/2006GB002706
 - 7 McCallum I, Obersteiner M, Nilsson S, et al. A spatial comparison of four satellite derived 1 km global land cover datasets. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformatio*, 2006, 8: 246—255
 - 8 Yu Q, Gong P, Clinton N, et al. Object-based detailed vegetation mapping using high spatial resolution imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2006, 72(7): 799—811
 - 9 Xu B, Gong P. Land use/cover classification with multispectral and hyperspectral EO-1 data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2007, 73(8): 955—965
 - 10 Yu Q, Gong P, Tian Y, et al. Factors affecting spatial variation of classification uncertainties in an object-based vegetation mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2008, 74(8): 1007—1018
 - 11 Xu B, Gong P, Spear R, et al. Comparison of different gray level reduction schemes for a revised texture spectrum method for land-use classification using IKONOS imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2003, 69(5): 529—536
 - 12 Liu DS, Song K, Townshend JRG, et al. Using local transition probability models in Markov random fields in forest change detection. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112: 2222—2231
 - 13 Clinton N, Gong P, Jin ZY, et al. Meta-prediction of *Bromus tectorum* invasion in Central Utah, U. S. A. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2009, 75(6): 689—701