

引用格式:杜国明,刘美,孟凡浩,等.基于地学知识的大尺度土地利用/土地覆盖精细化分类方法研究[J].地球信息科学学报,2017,19(1):91-100.
[Du G M, Liu M, Meng F H, et al. 2017. Fine Classification Method Study of Large-scale Land Use/Cover Based on Geoscience Knowledge. Journal of Geo-information Science, 19(1):91-100.] DOI:10.3724/SP.J.1047.2017.00091

基于地学知识的大尺度土地利用/土地覆盖精细化分类方法研究

杜国明^{1,2},刘 美¹,孟凡浩^{3,4*},匡文慧²,春 香¹,冯 悦¹

1. 东北农业大学资源与环境学院,哈尔滨 150030; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101;
3. 中国科学院新疆生态与地理研究所,乌鲁木齐 830011; 4. 中国科学院大学,北京 100101

Fine Classification Method Study of Large-scale Land Use/Cover Based on Geoscience Knowledge

DU Guoming^{1,2}, LIU Mei¹, MENG Fanhao^{3,4*}, CHUN Xiang¹ and FENG Yue¹

1. Northeast Agricultural University, College of Resources and Environment, Harbin 150030; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101; 3. Xinjiang Institute of Ecology and Geography Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101

Abstract: Human activities have significant impacts on ecosystems. As the most direct characterization of human activity, large-scale land use/cover change is used to analyze the impacts of human activities on ecosystems. Therefore, scientists have paid much attention on the classification and extraction methods of land use/cover products. It was suggested that GlobCover (2005/2006) product was precise enough for the scientific study. However, the product has some limitations. In order to improve the quality of this product, this study developed new method for mapping and monitoring national land cover information in Brazil. The new Brazilian land use/cover data in 2005 were developed by using human-computer interactive discrimination at per-cell level based on GlobCover (2005/2006) data and the combination of geographic knowledge and the major data source of Landsat TM/ETM images. The results indicated that data accuracy and cost-efficiency were both improved by the developed method. The classification accuracy was improved from 67.17% in the GlobCover to 93.39% in our new dataset. Kappa coefficient was also improved from 0.58 to 0.91. Evergreen broadleaf forest area in Brazil was the highest among all the land cover types, with an area ratio of 45.67%. Farmland/natural vegetation mosaic area followed with an area ratio of 19.19%. The third largest land cover type was closed shrub with an area ratio of 12.34%. Modification ratio of agricultural land/natural vegetation mosaic and shrub and grassland was the largest. Among them, the proportion of mixed pixels of land class decreased 3.54%, while shrub and grassland increased 3.81%. As a result, the new developed method was proved to be more efficient and accurate. It can be used for large-scale land use/cover classification and analysis in further study.

Key words: Brazil; land use/cover change; GlobCover; fine classification; precision evaluation

***Corresponding author:** MENG Fanhao, E-mail: mfh320@163.com

收稿日期:2016-07-01;修回日期:2016-09-23.

基金项目:国家“973”计划项目(2014CB954300);国家“863”计划项目(2013AA122802)。

作者简介:杜国明(1978-),男,博士,教授,研究方向为土地资源优化配置。E-mail: nmgdgm@126.com

*通讯作者:孟凡浩(1990-),男,博士生,研究方向为土地利用/覆盖数据制作与应用。E-mail: mfh320@163.com

摘要:人类活动对生态环境具有显著影响,大尺度土地利用/覆盖变化(Land Use/Cover Change,LUCC)作为人类活动最直接的表征,能够很好地反映这一过程,因此进行精确而迅速的大尺度土地利用/覆盖分类与提取方法研究尤为关键。全球覆盖产品 GlobCover(2005/2006)数据已经具有良好的空间精度和数据准确度,但仍然存在一些分类误差。为提高地表覆被分类精度,本文以 GlobCover(2005/2006)的巴西数据为例,以 2005 年 Landsat TM/ETM 影像为主要信息源,结合相应地学知识与辅助数据,利用人机交互逐栅格修改方法得到 2005 年土地利用数据产品。结果表明:通过对 GlobCover 数据和本次成果数据进行精度评价与对比分析,GlobCover 数据巴西地区的总体精度为 67.17%,Kappa 系数为 0.58,改进后产品总体精度为 93.39%,Kappa 系数为 0.91。此外,改进后数据显示巴西常绿阔叶林面积最大,面积比例达 45.67%;农地/自然植被镶嵌面积次之,比例为 19.19%;封闭灌丛面积最小,比例为 12.34%。农地/自然植被镶嵌和灌丛与草地 2 种地类的修改比例最大,其中混合像元地类比例减少 3.54%,灌丛与草地比例增加 3.81%。综上,改进方法可以有效地提高土地利用/覆盖分类的效率和精度,为后续大尺度 LUCC 产品的制作和以 LUCC 产品为基础的相关研究提供参考。

关键词:巴西;土地利用/覆盖变化;GlobCover;精细化分类;精度评价

1 引言

土地利用/覆盖变化(Land use/cover change,LUCC)综合地反映了人类活动与气候变化对地球下垫面自然生态环境等多方面的影响^[1-8],并直接影响了地表的物质与能量循环过程^[9-12],对未来气候和社会经济具有明显的反馈作用^[12-15]。由于 LUCC 对全球变化研究的重要性,国际社会对 LUCC 数据研发高度重视,在遥感产品与技术迅猛发展的时代背景下相关研究机构启动了一系列 LUCC 产品研发项目。例如,联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization,FAO)土地利用的分类项目、IGBP(国际地圈生物圈计划)和 IHDP 土地利用/覆盖变化核心项目及 IGBP 研究第二阶段的全球陆地计划(GLP)^[16]、美国 NASA 土地利用/覆盖变化研究项目、国际应用系统分析研究所土地利用/覆盖和农业研究项目(IIASA)等。除上述主要针对全球 LUCC 相关的研究项目外,还有很多世界热点地区也设立

了相关科研项目,制作了不同区域和不同比例尺的 LUCC 数据。

现已发布的全球土地利用/覆盖数据共有 6 套(表 1),其中美国和欧洲制作完成 4 套 1 km 和 1 套 300 m 的产品,中国于 2013 年底也发布了 1 套 30 m 的产品,这几套数据全部免费提供给全球科学界使用。其中,3 套 1 km 产品分别是由美国地质勘探局(United States Geological Survey,简称 USGS)^[17],马里兰大学(UMD)^[18]和波士顿大学(BU)^[19]等美国机构开发,所使用的分类方案是国际地圈生物圈计划的 17 类覆盖类型分类系统(IGBP-LCCS)。第 4 套 1 km 产品是由欧洲开发的 GLC2000^[20],此后欧洲太空局(European Space Agency,ESA,简称欧空局)通过全球合作完成了 300 m 分辨率的全球地表覆盖制图(GlobCover),二者均采用联合国粮农组织 22 类的分类方案(FAO-LCCS)。中国 30 m 全球地表覆盖遥感制图数据产品(GlobeLand30)是中国科技部研制^[21]。表 1 汇总了已有的 6 套全球地表覆盖产品

表 1 全球现有土地覆盖数据集

Tab. 1 Existing global land cover datasets

数据集名称	作者	数据源与分辨率	分类方法	分类系统	数据精度
DISCover	U.S. Geological Survey	1992-1993 年 AVHRR 数据合成的 NDVI,1 km	基于聚类和人工解译、编辑	IGBP 17 类分类系统	基于少数样点进行精度评价,总体精度为 66.9%
UMD	University of Maryland	同上,1 km	不同的分类树算法	Simplified IGBP (14 classes)	同上
MODIS 1km	Boston University	2000-2001 年的 MODIS 数据,1 km	监督分类	IGBP 17 类分类系统	基于少数样点进行精度评价,总体精度为 78.3%
GLC2000	European Commission Joint Research Center	1999 年 11 月-2000 年 12 月的 VEGETATION 数据、1 km	由 19 个区域人员用不同类型算法制作完成	FAO 的地表覆盖 22 类分类系统(LCCS)	总体精度为 68.6%
GlobCover 2 套产品	European Commission Joint Research Center	2004 年 12 月-2006 年 6 月的 ENVISAT/ MERIS 数据 2009 年数据产品、300 m	全球分为 22 个生态气候区,各区采用不同多维迭代聚类方法进行分类	同上	16 位专家在全球 3000 个点进行了验证,总体精度为 73%
GlobeLand 30-2010	国家基础地理信息中心等 7 个部门的 18 家单位	HJ-1 星 CCD 影像数据 2000 年和 2010 年数据产品、30 m	逐类型层次提取方法	9 大类分类系统	选取 9 类超过 15 万个样本进行精度评估,总体精度为 83.51%,Kappa 系数为 0.78

的主要特征。DISCover数据是基于光谱、纹理等聚类和人工解译、修改编辑方法生成的,而UMD和MODIS-1 km数据均是由不同的分类树算法完成,这3套数据没有提供相应的精度评估报告。GLC2000是由世界上19个不同区域的大量工作人员,利用1999–2000年的SPOT VEGETATION传感器生成每旬的植被指数产品制作而成,其总体分类精度为68.6%^[22]。2008年8月面世的300 m分辨率的GlobCover(2005/2006)使用的数据源是2004年12月到2006年6月300 m分辨率的ENVISAT/MERIS数据,结合生态气候分区采用不同多维迭代聚类法制作而成,据16位专家在全球3000点进行的验证结果,是当时国际上可供使用的全球性土地利用/覆盖数据精度较高的。

本研究以覆盖巴西的GlobCover数据集为数据源,经样点检查,发现耕地、灌丛与草地、城市与建成区和水体等地类存在一定错分现象。如图1所示,红色代表的是城市与建成区,A1上显示的是

GlobCover数据,A2上显示的是Landsat TM/ETM数据,A3上显示的是Google Earth数据,A1上红色的面积与A2和A3上城市与建成区的面积不符;B区域(图1(a))显示的是亚马逊周边地区土地垦殖状况,显然B1的开垦情况没有B2和B3上开垦的严重;C2和C3上显示的是一块水体,而C1中水体形状和面积与C2和C3不对应。可见,GlobCover数据仍存在一定的数据分类误差。因此,本研究以巴西为研究区,探讨如何快速地改进GlobCover数据,以提升数据精度和质量,为全球变化土地利用制图提供新的思路。

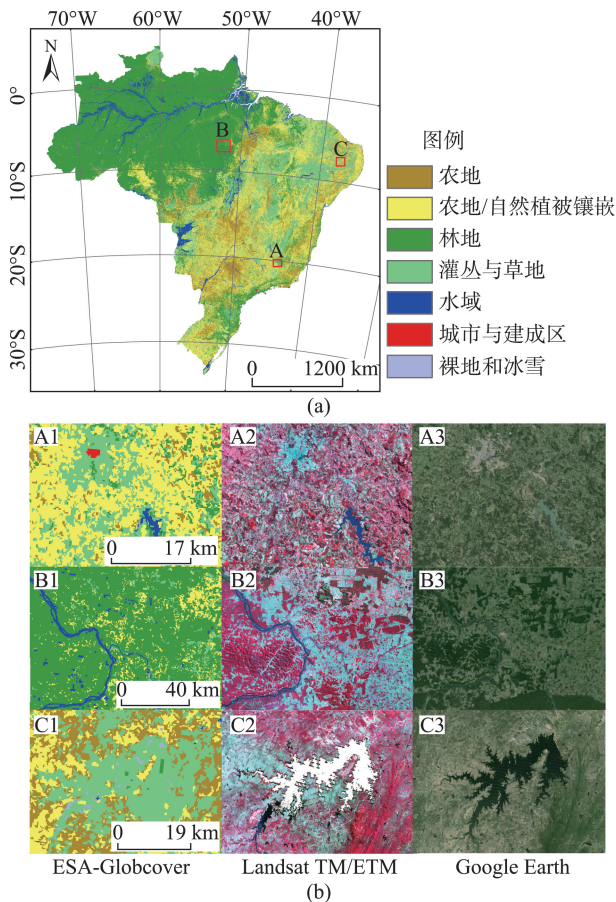
2 研究区概况与数据源

2.1 研究区概况

巴西位于35°~74° W,5° N~35° S,全国土地面积达851.49万km²,位居世界第五,占南美洲的47.3%,是南美洲面积最大的国家。境内地形以高原和平原为主,主要分为亚马逊平原、巴西高原、圭亚那高原和巴拉圭盆地。巴西共分潮湿赤道带、潮湿热带、半潮湿热带、半干旱热带和潮湿亚热带5个气候带^[12]。在潮湿赤道带的亚马孙地区年降雨量最高为1500~2500 mm,每年的8–10月是少雨季节,年平均气温27~29℃。巴西的大部分地区均属半潮湿热带气候,每年分旱季和湿季,年均降雨量为1500 mm,年平均气温18~28℃。半干旱热带主要分布在巴西东北部,年降雨量一般低于1000 mm,而且多集中于一段时期。南回归线以南的巴西土地属潮湿亚热带气候,年降雨量大于1500 mm,年平均气温16~19℃^[12]。

2.2 数据源

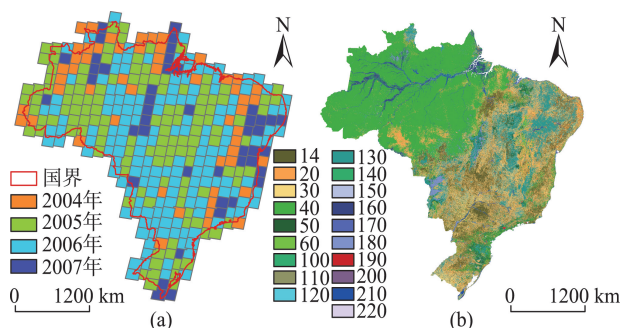
GlobCover由欧空局提议,与六大组织(JRC, EEA, FAO, UNEP, GOF-C-GOLD and IGBP)联合研发,目的是研发具有传送服务功能的系统,以传送全球土地覆盖图,其土地覆盖图通过搭建在ENVISAT上300 m传感器上获取的输入数据所得。数据空间精度大约是300 m,与其他现有全球数据集相比较。本研究是以欧空局的GlobCover(2005/2006)数据为基础,从中裁剪出巴西的数据,然后从美国地质勘探局(USGS)和巴西国家空间研究所(Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais,简称INPE)等网站上下载2005年Landsat TM/ETM遥感数据作为参考数据(图2)。2005年质量较差的遥感



注:A₁–A₃对应图(a)的A区域;B₁–B₃对应图(a)的B区域;C₁–C₃对应图(a)的C区域

图1 GlobCover数据集存在的典型问题

Fig. 1 Typical errors existed in the GlobCover datasets



注:图(b)中的图例数字为土地利用/覆盖代码,详细说明见表2

图2 Landsat TM/ETM数据源年份分布图与
GlobCover数据巴西土地覆盖图

Fig. 2 Years' distribution of Landsat TM/ETM data source
and GlobCover land cover data of Brazil

数据,用2004、2006或2007年的数据代替,并参照Google Earth高分辨率数据对GlobCover数据进行修改。本研究共使用378幅Landsat TM/ETM数据,研究中使用的其他辅助数据有河流、湖泊、居民点、道路等矢量数据和一些地区经济数据,主要来源于中国科学院地理科学与资源研究所土地利用基础数据库。

3 研究方法

3.1 分类体系定义与转换

FAO-LCCS提供了一个合适的土地覆盖类型分类和阈值,它是一个先验分类系统,而不是预定义的特定土地覆盖类型,可以描述世界上任何规模或不同详细程度的地表覆盖类型^[23]。

本研究采用的是IGBP分类系统,并对其进行局部修改,把永久湿地进一步划分为森林湿地和沼泽湿地,再根据与GlobCover数据分类系统之间的异同对其进行转换(表2)^[24]。

3.2 分类方法改进

所有全球地表覆盖数据产品都使用计算机分类算法完成,本研究在“大尺度土地利用/覆盖变化对全球气候的影响”主题背景下,以GlobCover数据为基础,以Landsat TM/ETM、高分辨率影像为参照,结合相应地学知识,利用人机交互逐栅格(250 m×250 m)判别方法对GlobCover数据进行修改。主要参与人员都有丰富的地理、遥感知识,加上熟练的GIS软件操作技能,在人口分布、道路、河流等基础地理信息数据库的支持下,可以快速准确地实现大尺度土地利用/覆被数据的精细化制作。

具体方法是:在尽量不分割图斑并减少工作量与保证成果质量的前提下,首先生成与栅格数据相匹配的地理网格矢量数据,利用栅格数据生成逐栅格属性面心点矢量数据,集成新的巴西(GlobCover)数据,然后参照同时期的Landsat TM/ETM影像逐网格修正。修正的前提条件是每个网格内预判地类与(GlobCover)网格属性一致,且图斑所占比例至少达到网格的50%以上,最后形成巴西2005年新的LUCC数据。技术流程如图3所示。

3.3 采样方案

精度验证关系到数据产品的可靠性,而精度验证结果的可靠性关键的一步就是随机采样。首先要保证样本点是完全随机分布,不施加任何人为意志;其次是针对土地覆盖数据,样本点必须覆盖所有地类;最后每种地类样本个数不低于一个阈值。

本研究数据精度验证采用分层分类采样方法(图4)。首先,将数据集分层,每种地类是一层,单独提取出来;其次,将数据转换为矢量点,每一个点代表250 m×250 m范围;接着,统计数据一共有多少个矢量点,并计算每一层(每一种地类)面积占总面积的百分比;最后,预定一共选取3000个样本点,并设定每种地类最少不低于30个,根据各地类面积比随机严格选取相应的样本数,以保证所选取样点具有较高的代表性。

基于上述采样原理与方法,个别地类采样数量适当调整,将样本数不足30个的按30个采样,采样结果总数超过3000个。GlobCover数据集的采样总量为3180个,本研究数据集的采样总量为3056个(表3)。

3.4 精度评价方法

精度评价通过比较实地数据与分类结果,以确定分类过程的准确程度。分类结果精度评价是进行土地利用/覆被遥感监测中重要的一步,也是分类结果是否可信的一种度量。本研究使用误差矩阵或混淆矩阵(Error Matrix)法,从误差矩阵计算出各种精度统计值,如总体精度、使用者精度、生产者精度、Kappa系数^[25-26]。

4 结果与分析

4.1 GlobCover数据精度评价与改善

本研究对GlobCover巴西数据进行评价,结果显示,总体精度是67.17%,Kappa系数是0.58。各土

表2 土地利用/覆盖分类体系转换表

Tab. 2 Land use/cover classification system transformation

一级类	代码	本研究土地覆盖分类系统	IGBP土地覆盖分类系统	代码	GlobCover土地覆盖分类系统	定义
农地	11	农地(简单或多种作物系统)	农地(简单或多种作物系统)	11	水淹或灌溉农地	雨养农地与耕作农地,简单或多种作物系统
	12	农地/自然植被镶嵌(农地、森林、灌丛、草地;单一覆盖不超过60%)	农地/自然植被镶嵌(农地、森林、灌丛、草地;单一覆盖不超过60%)	14	雨养农地	
				20	耕作(50%~70%)/其他自然植被(20%~50%)镶嵌	农、草、林、灌混合镶嵌,其中单一覆盖度应小于60%
林地	21	常绿阔叶林	常绿阔叶林	30	耕作(20%~50%)/其他自然植物(50%~70%)镶嵌	
				40	郁闭或敞开(>15%)常绿阔叶或半落叶阔叶林(>5 m)	是热带至温带之间的过渡性质的森林类型。其群落外貌终年常绿,一般呈暗绿色而略闪烁反光,林相整齐,由于树冠浑圆,林冠呈微波状起伏
	22	落叶阔叶林	落叶阔叶林	50	郁闭(>40%)常绿阔叶林(>5 m)	
	23	常绿针叶林	常绿针叶林	60	敞开(15%~40%)落叶阔叶林(>5 m)	温带、暖温带地区地带性的森林类型。因其冬季落叶、夏季葱绿,又称夏绿林
				70	郁闭(>40%)常绿针叶林(>5 m)	1.暖温性常绿针叶林,乔木植被类型。树种以油松和华山松为主。多生于海拔1700~2100 m之间的地带2.寒温带常绿针叶林,由常绿的云杉、冷杉、松和圆柏所组成。云杉、冷杉林具有较强的耐阴性,林冠稠密、郁闭,林下光照很弱,又称“暗针叶林”
	24	落叶针叶林	落叶针叶林	90	敞开(15%~40%)常绿针叶或落叶针叶林(>5 m)	由落叶松柏类为主的针叶树所构成的森林。寒温带的地带性植被类型,并常由落叶松组成,林下有灌木层、草本层和地面苔藓层,落叶松林呈鲜绿色,树冠尖塔形,较喜阳,林下明亮成明亮针叶林
	25	混交林(没有主导类型超过60%覆盖)	混交林(没有主导类型超过60%覆盖)	100	郁闭或敞开(>15%)针阔混交林(>5 m)	上述四种林地镶嵌,并且没有主导类型超过60%覆盖
	31	有(森林)林草原(树林冠层覆盖30%~60%,高度超过2 m)	有(森林)林草原(树林冠层覆盖30%~60%,高度超过2 m)	110	草地(20%~50%)/森林/灌丛(50%~70%)镶嵌	树林冠层覆盖30%~60%,高度超过2 m的草原
	32	稀树草原(树林冠层覆盖10%~30%,高度超过2 m)	稀树草原(树林冠层覆盖10%~30%,高度超过2 m)	120	草地(50%~70%)/森林/灌丛(20%~50%)镶嵌	树林冠层覆盖10%~30%,高度超过2 m的草原
	33	封闭灌丛(灌丛覆盖度高于60%;高度低于2 m,常绿或落叶)	封闭灌丛(灌丛覆盖度高于60%;高度低于2 m,常绿或落叶)	130	冠层敞开或封闭(>15%)灌丛(<5 m)	灌丛覆盖度高于60%,高度低于2 m,常绿或落叶均可
灌丛和草地	34	敞开灌丛(灌丛覆盖率10%~60%高度低于2 m,常绿或落叶)	敞开灌丛(灌丛覆盖率10%~60%高度低于2 m,常绿或落叶)			灌丛覆盖率10%~60%,高度低于2 m,常绿或落叶均可
	35	草地或禾本植物(树冠密度低于10%)	草地或禾本植物(树冠密度低于10%)	140	冠层敞开或封闭(>15%)草地	树冠密度低于10%的草地,或禾本科植物
				210	水体	所有湖泊、河流、滨海、人工水体等水体的集合
水域	41	水体	水体	160	郁闭或敞开(>15%)各种有规律水淹或长期水浸阔叶森林	其是泛滥平原森林,季节性的洪水一般会与森林湿地一起出现
	42	森林湿地	永久湿地(水/禾本植物/有林地)	170	郁闭(>40%)永久盐湖水淹阔叶林或灌丛	
	43	沼泽湿地		180	郁闭或敞开(>15%)各种有规律水淹或长期水浸草地	地表过湿或有薄层积水,土壤水分几达饱和,并有泥炭堆积,生长着喜湿性和喜水性沼生植物的地段
城市和建成区	51	城市和建成区	城市和建成区	190	人工地表或附属区域	城镇居民点与工矿等建设用地
裸地和冰雪	61	裸地或稀疏植被(植被覆盖低于10%)	裸地或稀疏植被(植被覆盖低于10%)	150	稀疏植被(<15%)	植被覆盖低于10%或裸地
	62	雪/冰	雪/冰	200	裸地	
				220	永久雪/冰	覆盖永久冰、雪

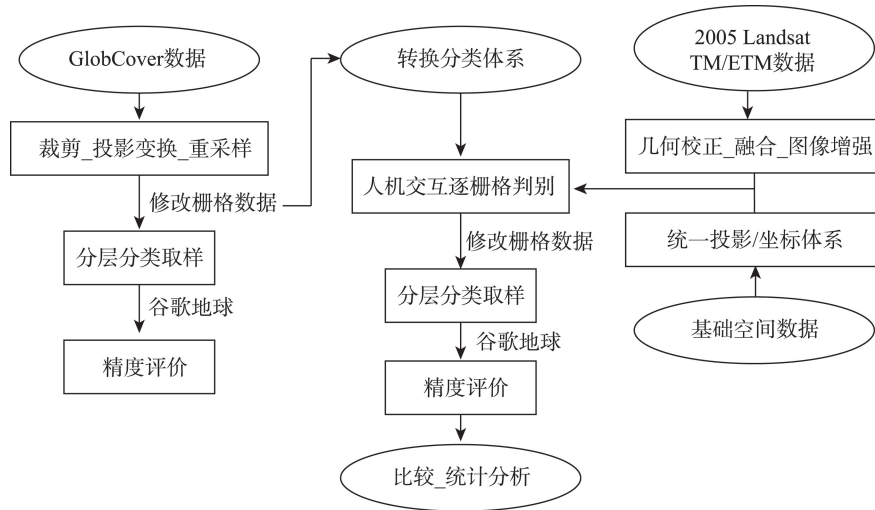


图3 技术流程图

Fig. 3 Technology process diagram

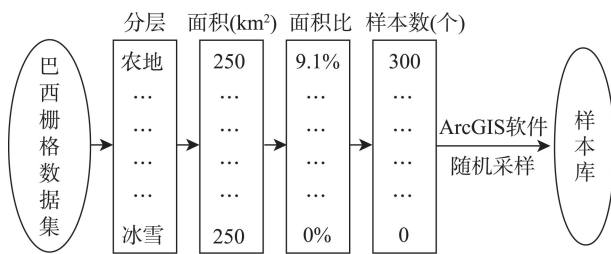


图4 采样方案

Fig. 4 Samoling program

地利用/覆盖类型的用户精度和生产者精度高低不等,高者可达100%,低者甚至低于50%以下(表4)。

从表4可看出,巴西地表覆盖类型以农地、常绿阔叶林和灌丛与草地为主,常绿阔叶林精度较高,其他两种地类精度较低,农地和灌丛与草地是重点修改对象。其中,地类代码为60(敞开(15%~40%)落叶阔叶林(>5 m))、110(草地(20%~50%)/森林/灌丛(50%~70%)镶嵌)和140(冠层敞开或封闭(>15%)草地)的生产者精度最低,分别是36.84%、36.00%和37.93%,转换为本研究分类系统中地类分别为落叶阔叶林、有林草原和草地,说明其他地类错归为这几种地类的相对多些。其次是地类代码为20(耕作(50%~70%)/其他自然植被(20%~50%)镶嵌)、30(耕作(20%~50%)/其他自然植物(50%~70%)镶嵌)、120(草地(50%~70%)/森林/灌丛(20%~50%)镶嵌)、130(冠层敞开或封闭(>15%)灌丛(<5 m))、180(郁闭或敞开(>15%)各种有规律水淹或长期水浸草地)和210(人工地表或附属区域),转

表3 样本点分配表

Tab. 3 Distribution of sample points

地类代码		GlobCover 数据		本研究数据	
A	B	面积比/%	样本数	面积比/%	样本数
14	11	8.33	250	9.07	300
20	12	10.73	320	19.30	580
30		11.61	340		
40		43.90	1300		
50	21	3.11	90	45.81	1300
60	22	0.86	30	0.82	30
100	25	0.0005	30	0.001	30
110	31	1.13	33	0.90	30
	33			12.33	350
130	34	15.37	450	6.19	200
120	32	0.10	30	0.11	30
140	35	0.19	30	1.05	30
160	42	1.88	50	1.95	50
170		0.08	30		
180	43	1.21	36	0.74	30
190	51	0.05	30	0.24	30
150	61	0.02	30	0.07	30
200		0.05	30		
210	41	1.38	41	1.43	36
220	62	0.006	30	0	0

注:A代表GlobCover数据;B代表本研究数据

换为本研究分类系统中地类为混合地类、稀树草原、灌丛与草地、沼泽湿地和城市与建成区,这几种地类中混合地类和灌丛与草地是面积较大的地类,生产者精度不达60%,说明这几种地类错分现象相对比较严重。

表4 精度评价矩阵表

Tab. 4 Matrix of accuracy evaluation

参考数据	产品数据																					总计	生产者精度/%
	14	20	30	40	50	60	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220				
14	156	18	14	5						29	1	4	1		10						238	65.55	
20	19	162	90	15						53											339	47.79	
30	33	42	170	16	10			1	1	24							1				298	57.05	
40	14	29	14	1142	2			4	1	47	9	2	27	12							1303	87.64	
50	8	3			53	7				17											88	60.23	
60		8	1	1	17	21	2			7											57	36.84	
100					1		14	1													16	87.50	
110	5		2	5				18	7	11									2	50	36.00		
120	2				4			5	17	1									2	31	54.84		
130	13	58	49	95			10	2		244	4	1	5	2	4		1	12	20	520	46.92		
140				2						8	11	5							3	29	37.93		
150				1								3								4	75.00		
160				4							1		15	2						22	68.18		
170				2										14	7					23	60.87		
180				10						2	3		1		14					30	46.67		
190				1	2	1			2	5		2				30	2			45	66.67		
200					1	1	3	1	2								24	4		36	66.67		
210				1			1	1		2	1	13	1		1		2	25		48	52.08		
220																			3	3	100.00		
总计	250	320	340	1300	90	30	30	33	30	450	30	30	50	30	36	30	30	41	30	3180			
用户精度/%	62.40	50.63	50.00	87.85	58.89	70.00	46.67	54.55	56.67	54.22	36.67	10.00	30.00	46.67	38.89	100.0	80.00	60.98	10.00		67.17		

针对上述问题,共修改 11 601 559块图斑,涉及面积约为 725 097.44 km²。从表 5 可看出,11(简单农地)、12(农地/自然植被镶嵌)、33(封闭灌丛)和 34(敞开灌丛)等几种地类被修改的图斑个数相对较多。另外,城市和建成区(51)被修改的比例也相对较高,原数据中很多城市和建成区被错分为封闭灌丛(地类代码是 33),其他地类也相应做了修改。

4.2 本研究产品精度

通过对修改后的数据进行随机采点共 3056 个。基于收集的景观照片,参照 Google Earth 高分影像,进行精度评价,结果显示:总体精度达 93.39%,Kappa 系数约为 0.91(表 6)。

4.3 数据产品

修改后得到的 2005 年巴西土地利用/覆盖如图 5 所示。本研究数据产品的投影信息是 Albers 投影,双标准纬线分别是南纬 5°和南纬 42°,基准面是 D_South_American_1969。表 7 是在此投影下统计

表5 土地利用/覆盖数据修改统计表

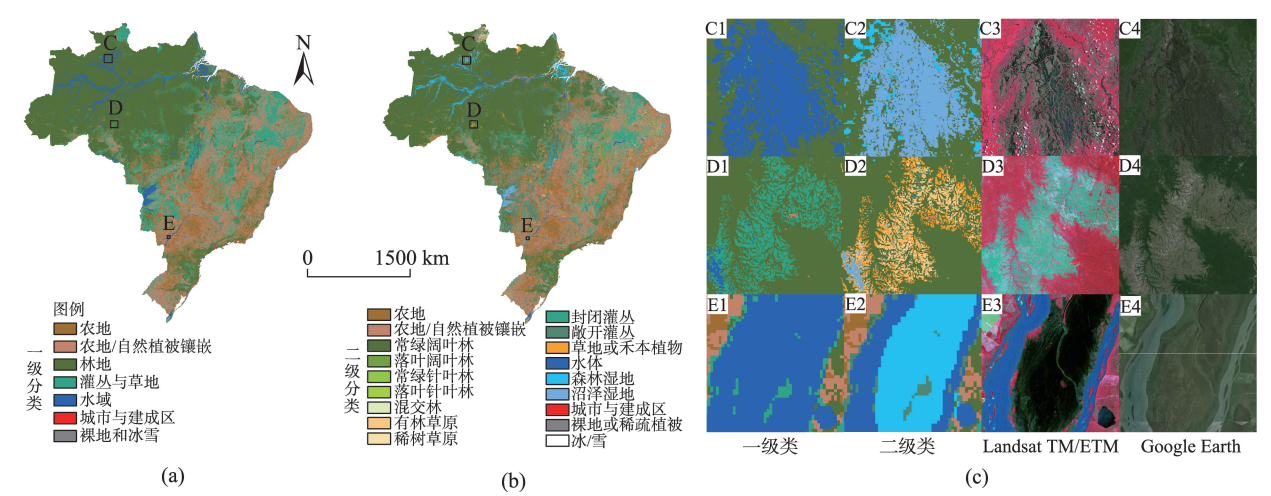
Tab. 5 Statistics of land use/cover data modification

地类名称	地类代码	修改图斑数/块	修改比例/%
简单农地	11	2 497 095	21.52
农地/自然植被镶嵌	12	1 203 876	10.38
常绿阔叶林	21	199 895	1.72
落叶阔叶林	22	1897	0.02
混交林	25	1201	0.01
有(森林)林草原	31	6886	0.06
稀树草原	32	11252	0.10
封闭灌丛	33	3 318 585	28.60
敞开灌丛	34	3 250 248	28.02
草地或禾本植物	35	796 474	6.87
水体	41	98 869	0.85
森林湿地	42	16 075	0.14
沼泽湿地	43	10 227	0.09
城市和建成区	51	181 430	1.56
裸地或稀疏植被	61	7549	0.07

表6 精度验证评价表

Tab. 6 Evaluation of accuracy verification

参考数据	产品数据															总计	生产者精度/%
	11	12	21	22	25	31	32	33	34	35	41	42	43	51	61		
11	264	16	6					1	1							288	91.67
12	12	544	10						3				1		1	571	95.27
21	2	4	1236		3	4	2		1	2		7	4			1265	97.71
22			2	27				1								30	90.00
25					23											23	100.00
31	3					26	1								1	31	83.87
32							25									25	100.00
33	4	8	24	3	1		1	344	10			1			5	401	85.79
34	10	8	16				1	3	184						1	223	82.51
35	5		1					1	1	27						35	77.14
41			1								36					35	94.74
42			3									42				45	93.33
43			1		3					1			25			30	83.33
51														30		30	100.00
61															21	21	100.00
总计	300	580	1300	30	30	30	3	350	200	30	36	50	30	30	30	3056	
用户精度/%	88.00	93.79	95.08	90.00	76.67	86.67	83.33	98.29	92.00	90.00	100.0	84.00	83.33	100.0	70.00		93.39



注: C₁-C₄、D₁-D₄、E₁-E₄、分别对应图(a)、(b)的C、D、E区域

图5 巴西土地利用/覆盖现状图

Fig. 5 Current status of land use/cover in Brazil

表7 巴西二级土地利用/覆盖类型面积统计表

Tab. 7 Statistics of secondary land use/cover classification area in Brazil

地类代码	11	12	21	22	25	31	32	33	34	35	41	42	43	51	56
所占面积比例/%	9.19	19.19	45.67	0.81	0	0.89	0.11	12.34	6.23	1.11	1.45	1.95	0.74	0.25	0.07

的巴西 15 种土地利用/覆盖类型的面积。

4.4 对比分析

将 GlobCover 数据与修改后的数据进行对比，

结果发现大部分地类面积都有所变化，其中混合像元地类比例减少了 3.54%，灌丛与草地比例增加了 3.81%。城市与建成区类型基础面积虽然小，但修改后的面积比修改前多了 2 倍，所占面积比例由

0.06%增加到0.25%。另外,耕地面积比例由8.49%增加到9.19%,林地面积比例由47.28%降低到

46.49%,水域面积比例由4.50%降低到4.14%,仅有冰川雪地面比例没有变化(表8)。

表8 巴西一级土地利用/覆盖类型面积统计表

Tab. 8 Statistics of primary land use/cover classification area in Brazil

地类名称	农地	农地/自然植被镶嵌	林地	灌丛和草地	水域	城市和建成区	裸地和冰雪
地类代码	1	12	2	3	4	5	6
欧空局产品面积比例/%	8.49	22.73	47.28	16.87	4.50	0.06	0.07
本研究产品面积比例/%	9.19	19.19	46.49	20.68	4.14	0.25	0.07

5 结论与讨论

GlobCover(2005/2006)数据集在巴西区域整体精度检验为67.17%,Kappa系数为0.58。其中,简单农地、农地/自然植被镶嵌、封闭灌丛、敞开灌丛、以及城市和建成区(与Landsat TM/ETM相比)存在着较大的误差。这种误差主要是由于GlobCover数据本身要求是基于全球(Global)尺度,验证点稀少等原因,造成数据精度在巴西区域相对粗糙。

本研究以Landsat TM/ETM数据为基础,参照Google Earth高空间分辨率数据,基于新的分类体系,对GlobCover巴西区域数据进行人机交互逐栅格判断、修改、验证和评价,修改后产品总体精度为93.39%,提高了26.22%,Kappa系数为0.91。根据修改后数据可知,巴西地表覆盖类型以林地、灌丛和草地、农地/自然植被镶嵌为主,所占面积比例分别为46.49%、20.68%、19.19%,其次为农地,面积比例为9.19%,其它地类面积相对较小。

本研究精细化分类的关键是人机交互逐栅格修改,要求研究人员具备扎实的地学和遥感知识。由于工作量较大,必须建立数据分发、解译、复查、核查和数据集成的完整数据处理流程。本研究改进方法可以有效地提高土地利用/覆盖分类的效率和精度,修改后的产品数据能够很好地运用于巴西区域尺度上的土地利用/覆盖研究。

参考文献(References):

- [1] 刘纪远,张增祥,徐新良,等. 21世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析[J]. 地理学报,2009,64(12): 1411-1420. [Liu J Y, Zhang Z X, Xu X L, et al. Spatial patterns and driving forces of land use change in China in the early 21st century[J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(12):1411-1420.]
- [2] 周书贵,邵全琴,曹巍. 近20年黄土高原土地利用/覆被变化特征分析[J]. 地球信息科学学报,2016,18(2):190-199.

[Zhou S G, Shao Q Q, Cao W. Characteristics of land use and land cover change in the Loess Plateau over the past 20 years. Journal of Geo-Information Science, 2016,18 (2):190-199.]

- [3] 路云阁,蔡运龙,许月卿. 走向土地变化科学——土地利用/覆被变化研究的新进展[J]. 中国土地科学,2006,20 (1):55-61. [Lu Y G, Cai Y L, Xu Y Q. Towards Land Change Science: The Progress of LUCC[J]. China Land Sciences, 2006,20(1):55-61.]
- [4] 唐华俊,吴文斌,杨鹏,等. 土地利用/土地覆被变化(LUCC)模型研究进展[J]. 地理学报,2009,64(4):456-468. [Tang H J, Wu W B, Yang P, et al. Recent Progresses of Land Use and Land Cover Change(LUCC) Models [J]. Acta Geographica Sinica, 2009,64(4):456-468.]
- [5] Liu J, Diamond J. China's environment in a globalizing world[J]. Nature, 2005,435(7046):1179-1186.
- [6] 于兴修,杨桂山,王瑶. 土地利用/覆被变化的环境效应研究进展与动向[J]. 地理科学,2004,24(5): 627-633. [Yu X X, Yang G S, Wang Y. Advances in researchers on environmental effects of land use/cover change[J]. Scientia Geographica Sinica, 2004,24(5):627-633.]
- [7] 秦丽杰,张郁,许红梅,等. 土地利用变化的生态环境效应研究:以前郭县为例[J]. 地理科学,2002,22(4):508-512. [Qin L J, Zhang Y, Xu H M, et al. Study on the Effect of Land Use Change on the Eco-environment. Scientia Geographica Sinica, 2002,22(4):508-512.]
- [8] 王昭生,黄玫,闫慧敏,等. 1982-2006年加纳植被覆盖时空变化及其气候影响[J]. 地球信息科学学报,2015,17(1): 78-85. [Wang Z S, Huang M, Yan H M, et al. Spatiotemporal Variation of Vegetation and Climate Impacts on it in Ghana from 1982 to 2006. Journal of Geo-Information Science, 2015,17(1):78-85.]
- [9] Lambin E F, Ehrlich D. Land-cover changes in sub-saharan Africa (1982-1991): Application of a change index based on remotely sensed surface temperature and vegetation indices at a continental scale[J]. Remote Sensing of Environment, 1997,61(2):181-200.

- [10] 刘纪远,匡文慧,张增祥,等. 20世纪80年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报, 2014,69(1):3-14. [Liu J Y, Kuang W H, Zhang Z X, et al. Spatiotemporal characteristics, patterns and causes of land use changes in China since the late 1980s[J]. Journal of Geographical Sciences, 2014,69(1):3-14.]
- [11] 刘纪远,刘明亮,庄大方,等.中国近期土地利用变化的空间格局分析[J].中国科学:地球科学,2002,32(12):1031-1040. [Liu J Y, Liu M L, Zhuang D F, et al. Study on spatial pattern of land-use change in China during 1995-2000 [J]. Science in China: Series D, 2003,46(4):373-384.]
- [12] 杜国明,匡文慧,孟凡浩,等.巴西土地利用/覆盖变化时空格局及驱动因素[J].地理科学进展,2015,34(1):73-82. [Du G M, Kuang W H, Meng F H, et al. Spatiotemporal pattern and driving forces of land use/cover change in Brazil[J]. Progress in Geography, 2015,34(1):73-82.]
- [13] Foley J A, Defries R, Asner G P, et al. Global consequences of land Use[J]. Science, 2005,309(5734):570-574.
- [14] 何英彬,姚艳敏,唐华俊,等.土地利用/覆盖变化驱动力机制研究新进展[J].中国农学通报,2013,29(2):190-195. [He Y B, Yao Y M, Tang H J, et al. An Overview on Progress of Land Use and Land Cover Change Dynamics [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013,29(2): 190-195.]
- [15] 李月臣.土地利用/覆盖变化驱动力研究[J].水土保持研究,2008,15(3):116-120. [Li Y C. Review on the Driving Force of the Land Use/Cover Changes[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2008,15(3):116-120.]
- [16] IGBP. 2005. IGBP Report No. 53, IHDP Report No.19: science plan and implementation strategy[R/OL]. [2014-01-19]. http://www.igbp.net/download/18.1b8ae20512db692f2a680006384/1376383121392/report_53-GLP.pdf.
- [17] Loveland T R, Reed B C, Brown J F, et al. Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000,21(6-7):1303-1330.
- [18] Hansen M C, Defries R S, Townshend J R G, et al. Global land cover classification at 1km spatial resolution using a classification tree approach[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000,21(6-7):1331-1364.
- [19] Friedl M A, McIver D K, Hodges J C F, et al. Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results[J]. Remote Sensing of Environment, 2002,83(83), 287-302.
- [20] Fritz S, Bartholome E, Belward A, et al. Harmonisation, mosaicing and production of the Global Land Cover 2000 database (beta version)[R]. Centre Geo-information: Scientific report, 2003.
- [21] Gong P, Wang J, Yu L, et al. Finer resolution observation and monitoring of global land cover: first mapping results with Landsat TM and ETM+ data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2013,34(7):2607-2654.
- [22] Mayaux P, Eva H, Gallego J, et al. Validation of the global land cover 2000 map[J]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing. 2006,44(7):1728-1739.
- [23] Neumann K, Herold M, Hartley A, et al. Comparative assessment of CORINE2000 and GLC2000: Spatial analysis of land cover data for Europe[J]. International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation, 2007,9 (4):425-437.
- [24] Loveland T R, Belward A S. The IGBP-DIS global 1 km land cover data set, DISCover: First results[J]. International Journal of Remote Sensing, 1997,18(15):3289-3295.
- [25] Cohen J. A coefficient of agreement for nominal scales[J]. Educational and Psychological Measurement, 1960,20(1): 37-46.
- [26] Landis J R, Koch G G. The measurement of observer agreement for categorical data[J]. Biometrics, 1977,33(1): 159-174.