

大尺度土地覆盖数据集在中国及周边区域的精度评价

杨永可, 肖鹏峰, 冯学智, 李海星, 常潇, 冯威丁

1. 南京大学 地理信息科学系, 江苏 南京 210023;

2. 南京大学 江苏省地理信息技术重点实验室, 江苏 南京 210023

摘要: 大尺度土地覆盖数据是全球陆地表层过程研究、生态系统评估、环境建模等科学研究的重要基础, 研究现有数据集的特点对数据使用者及生产新的数据集都具有指导意义。本研究以中国及周边区域为研究区, 根据不同分类体系对地物的定义, 研究不同分类体系中对应地物的相关系数, 并将所有分类体系转换为 IGBP 分类体系; 然后, 从定性和定量两方面分析现有 5 种土地覆盖数据集 (IGBP DISCover、UMD、GLC2000、MOD12Q1 和 GlobCover 2005) 的空间一致性; 并利用 Google Earth 高分影像选取两期验证样本评价 5 种土地覆盖数据集的精度。结果表明: 同种地物在不同土地覆盖数据集之间的空间分布格局差异较大, 且不同土地覆盖数据集之间的总体一致性系数较低; 5 种土地覆盖数据集中, GLC2000 的总体精度和 Kappa 系数均最高, GlobCover 2005 的总体精度和 Kappa 系数均最低。

关键词: 土地覆盖数据集, 比较分析, 精度评价, Google Earth

中图分类号: TP79 文献标志码: A

引用格式: 杨永可, 肖鹏峰, 冯学智, 李海星, 常潇, 冯威丁. 2014. 大尺度土地覆盖数据集在中国及周边区域的精度评价. 遥感学报, 18(2): 453-475

Yang Y K, Xiao P F, Feng X Z, Li H X, Chang X and Feng W D. 2014. Comparison and assessment of large-scale land cover datasets in China and adjacent regions. *Journal of Remote Sensing*, 18(2): 453-475 [DOI: 10.11834/jrs.20143055]

1 引言

地表覆盖是地球表面各种物质类型及属性的综合体, 准确测定全球地表覆盖的空间分布和动态变化, 对研究地球系统的能量平衡、碳循环, 及生物地球化学循环和气候变化等有重要意义(陈军等, 2011)。

遥感技术具有可大面积同步观测、方便快捷和经济高效等特点(梅安新等, 2001), 随着时间分辨率和空间分辨率的提高, 遥感数据逐渐成为土地覆盖制图的重要数据源。目前常用的全球土地覆盖数据集有 5 种, 分别为美国地质调查局(USGS)研发的全球土地覆盖数据集 IGBP DISCover(International Geosphere-Biosphere Programme Data and Information System Cover)(Loveland等, 2000); 马里兰大学研发

的全球土地覆盖数据集 UMD(University of Maryland)(Hansen等, 2000); 波士顿大学研发的全 球土地覆盖数据集 MOD12Q1(MODIS Land Cover Type Product collection 4)(Friedl等, 2002); 欧盟联合研究中心研发的全球土地覆盖数据集 GLC2000(Global Land Cover 2000)(Bartholomé和Belward, 2005); 以及欧洲空间局(ESA)研发的 300 m 分辨率全球土地覆盖数据集 GlobCover 2005(Global Land Cover Product)(Bicheron等, 2008)。美国研发的 3 种土地覆盖数据集使用的是 IGBP 分类体系, 而欧洲研发的两种土地覆盖数据集则使用的是联合国粮农组织制定的 LCCS(Land Cover Classification System)分类系统。土地覆盖数据是对地表覆盖特征的模拟和概括, 能在一定程度上反映真实地表覆盖信息(Brown等, 1999), 但对地表覆盖特征的模拟和概括

收稿日期: 2013-03-18; 修订日期: 2013-09-30; 优先数字出版日期: 2013-10-09

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(编号: 2011CB952001)

第一作者简介: 杨永可(1987—), 男, 硕士研究生, 专业为遥感数字图像处理、资源环境遥感。E-mail: yangyk198734@126.com

通信作者简介: 肖鹏峰(1979—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为遥感数字图像处理、资源环境遥感。E-mail: xiaopf@gmail.com

会不可避免的造成信息丢失或错误,故评价土地覆盖数据质量具有重要意义。

全球土地覆盖数据集质量评价方法主要有两种:(1)利用验证样本计算土地覆盖数据集的精度,此时样本数量、质量和抽样设计是制约评价结果客观性的重要因素(Foody 2002, 2010),由于在大尺度上没有真实地表信息可供使用,验证样本选取较为困难。除数据生产方之外,只有 Herold 等人(2008)使用独立的验证样本(每类选取 25 个样本,每个样本包含 1 个像元)评价了 4 种 1 km 分辨率土地覆盖数据集在全球尺度上的精度,但全球范围的总体精度无法客观反映局部地区的精度信息(Comber 等, 2012)。(2)利用已有的全球土地覆盖数据集进行比较分析和相互验证,此时由于不同土地覆盖数据集使用的分类数据源、分类体系、分类模型与方法各不相同,造成不同土地覆盖数据集差异较大(Giri 等 2005; McCallum 等 2006),可比性和兼容性受到限制(Herold 等 2008)。Hansen 和 Reed (2000)比较了 IGBP DISCover 和 UMD 数据集,指出对于相同的输入数据,不同的分类方法及分类过程中使用的辅助数据是造成分类结果差异的重要因素。Giri 等人(2005)指出 GLC2000 和 MODIS 产品之间不同地物的面积和空间一致性都会随着区域变化而变化,且在西伯利亚南部至哈萨克斯坦、蒙古及中国边界,以及青藏高原等地区出现大范围不一致现象。McCallum 等人(2006)指出 4 种 1 km 分辨率全球土地覆盖数据集在亚洲区域内的完全一致性非常低。Liang 和 Gong(2010)分析了 MODIS 产品制图不确定性,结果显示在大面积均质区域内制图精度较高,而不同地物类型的过渡地带或边缘地区的制图精度则较低。冉有华等人(2009)以 2000 年中国土地利用数据为参考,以合并后的分类体系(7 类)为基础,评价了中国区域内的 4 种 1 km 分辨率全球土地覆盖数据集的精度。Wu 等人(2008)以 2000 年中国土地覆盖数据为基础,研究了 4 种 1 km 分辨率全球土地覆盖数据在中国不同区域的耕地精度,发现 MODIS 和 GLC2000 数据集中耕地精度相对较高;华北和东部区域的耕地制图精度较高,西北和东南区域的耕地制图精度较低。牛振国等人(2012)以目视解译的中国 2008 年湿地遥感制图数据为基础,从湿地面积、类型和空间一致性 3 个方面研究了 GlobCover 产品在中国区域内的湿地精度,结果表明 GlobCover 产品在中国区域内湿地的分类精度较低。Gao 和 Jia(2012)以 2000 年中国土地利

用数据为基础,利用合并后的分类体系比较了 MODIS 和 GLC2000 数据集的空间一致性及模糊一致性,并利用独立的验证样本评价 GLC2000 和 MODIS 的精度,认为两种数据集中水体、草地、耕地和裸地精度都较高。

本研究选取中国及周边区域为研究区,以 IGBP 分类体系为基础,根据不同分类体系中的地物定义,分析分类体系的转换关系,并将 5 种土地覆盖数据集转换成 IGBP 分类体系,在分析不同土地覆盖数据集特点的基础上,从定性和定量比较两方面分析不同土地覆盖数据集的空间一致性;结合 Google Earth 高分影像和其他辅助信息选取验证样本进行精度评价,对精度评价结果进行比较分析。

2 研究区与数据

2.1 研究区

研究区涵盖中国及周边区域(图 1),从南向北为热带、亚热带、暖温带、温带、寒温带;从东向西为海洋性和大陆性气候,东部为季风区;受高原或高山影响,地形起伏大,垂直结构明显;地表覆盖特征复杂,景观多样性丰富。研究区内孕育着世界 50% 以上的人口,人类活动强烈,近几十年高速工业化、城市化对该区域土地利用/覆盖类型产生巨大影响,使其成为世界上土地利用/覆盖变化最剧烈地区之一。

2.2 土地覆盖数据集

5 种土地覆盖数据集由数据发布网站免费下载,并转成 Lambert 等角投影:(1) IGBP DISCover 1992 年—1993 年 1 km 分辨率土地覆盖数据集;(2) UMD 1992 年—1993 年 1 km 分辨率土地覆盖数据集;(3) GLC 2000 年 1 km 分辨率土地覆盖数据集;(4) MOD12Q1 2001 年 1 km 分辨率土地覆盖数据集;(5) GlobCover 2005 年 300 m 分辨率全球土地覆盖数据集;5 种土地覆盖数据集的特点见表 1。

大尺度土地覆盖数据集中的城镇和陆地水体图斑面积较小,精确提取城镇和水体信息比较困难,不同数据集使用的方法各不相同。IGBP DISCover 的城镇和水体直接使用 DCW(Digital Chart Of World)中的水文和城镇数据进行掩膜得到(Loveland 等 2000);UMD 直接使用 IGBP DISCover 的城镇数据,水体则使用为 MODIS 传感器制作的水体数据进行掩膜得到(Hansen 等 2000);GLC2000

的城镇信息是根据 8 月下旬每 10 天最大值合成数据 通过目视解译得到(徐文婷等 2005); MOD12Q1 中城镇和水体都使用监督分类树方法进行提取 (Friedl 等,2002)。GlobCover 2005 的水体数据由 ENVISAT 卫星携带的 MERIS (Medium Resolution

Imaging Spectrometer) 传感器自带的水/陆边界进行掩膜得到,并结合 SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) 得到的水体数据进行改善,城镇则通过单独的监督分类方法进行提取(Bicheron 等 2008)。

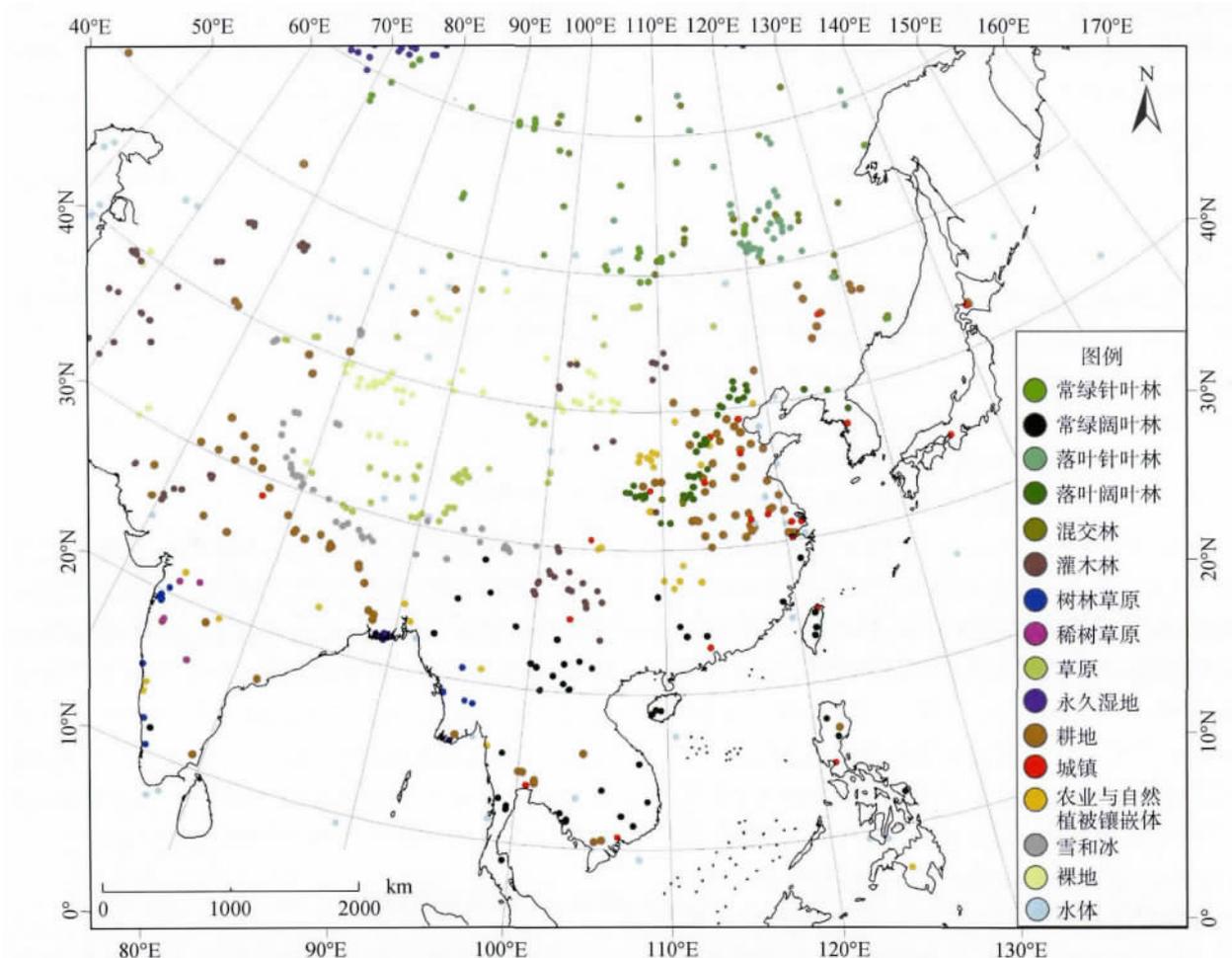


图 1 研究区范围与 2000 年—2001 年验证样本分布情况

表 1 5 种土地覆盖数据集的特点

	IGBP DISCover	UMD	GLC2000	MOD12Q1	GlobCover 2005
	AVHRR	AVHRR	SPOT vegetation	MODIS	ENVISAT/MIRIS
输入数据	1992-04 至 1993-04 的 12 期 NDVI 时间序列数据	1992-04 至 1993-03,由 NDVI 和 5 个波段得到的 41 个规则矩阵	中国区域为 2000 年 36 期 NDVI 时间序列数据、加权后的自然因子数据	2001 年每 16 天的经 BRDF 调整后的反射率数据、7 个光谱波段,增强型 NDVI、雪和冰	2004-10 至 2006-06 的 13 个光谱波段(300 m 分辨率)
分类体系	IGBP 17 类	IGBP 14 类	LCSS 22 类	IGBP 17 类	LCSS 22 类
分类模型与分类方法	将全球分为 5 个区,每个区单独分类。对水体、城镇掩膜后使用 K-means 分类,再人工解译,解译结果根据 Olson 分类体系转换为 IGBP 分类体系	以全球为整体进行分类。对水体、城镇掩膜后用监督分类树分类,分类树输出的叶子节点中所有像元赋值为占比例最大类别	将全球分为 19 个区,每个区单独分类。中国按气候分 9 个区,用 ISODATA 方法进行分类,并进行人工解译;城镇由目视解译得到	以全球为整体进行分类。分类方法为监督的神经网络和分类树方法,监督分类树与 UMD 使用的方法相似	将全球分为 22 个气候区,每个区单独分类。先进行水体掩膜,然后用监督分类提取湿地和城镇,对剩余像元进行多维聚类,并自动赋值为 LCSS 分类系统

生产不同土地覆盖数据集使用的解译数据(辅助数据)也是造成不同土地覆盖数据集差异的重要因素(Hansen和Reed, 2000)。对于监督分类而言,解译数据用于辅助选取训练样本;对非监督分类,解译数据用来确定聚类图斑属于哪种地物类别。IGBP DISCover使用的解译数据包括Landsat影像、其他已有的土地覆盖产品和地图册等;UMD使用的解译数据主要是Landsat MSS(Multispectral Scanning System)影像;GLC2000中国区域的解译数据包括中国1:100万土地利用图、1:100万中国植被图集、中国植被气候分区图和农业气候区划图;MOD12Q1使用的解译数据主要为Landsat TM(Thematic Mapper)影像。

2.3 参考数据

采用Landsat TM影像分类结果(1992年、2001年)和Google Earth高分影像(2005年)作为局部空间一致性比较的参考数据。因城镇和陆地水体图斑面积较小,全局尺度上不能反映其在不同土地覆盖数据集之间的差异,故选取杭州及周边区域为典型区进行局部尺度比较分析,并结合参考数据进行验证。

3 评价方法与数据预处理

3.1 分类体系转换

建立相同的分类体系是5种土地覆盖数据集比较分析的基础。IGBP DISCover和MOD12Q1使用的分类体系相同,其他数据集则各有差异,包括地物类别、地物定义和乔木与灌木的树高界限3个方面。IGBP DISCover和MOD12Q1中乔木与灌木的树高界限为5 m;UMD为2 m;GLC2000中国区域为5 m;GlobCover 2005为5 m。已有研究中,不同分类体系的转换关系各不相同(Bartholomé和Belward, 2005; Giri等, 2005; McCallum等, 2006)。

本研究以IGBP分类体系为基础,分析不同分类体系的转换关系。因为GLC2000和GlobCover2005中将灌木林分为常绿灌木林和落叶灌木林两种,而IGBP DISCover、UMD和MOD12Q1中却将灌木林分为郁闭灌木林和稀疏灌木林,为了便于进行不同分类体系的转换,将IGBP分类体系中的郁闭灌木林和稀疏灌木林合并成灌木林,其他地物类别不变。不同分类体系对地物的定义只有植被覆盖率和树高界限两个量化参数,而树高界限仅用来区分乔木和灌木。5种土地覆盖数据集中定义的植

被覆盖率是一个区间(Hansen等, 2000; Friedl等, 2002; Bartholomé和Belward, 2005; Bicheron等, 2008),可根据不同土地覆盖数据集定义的植被覆盖率先重叠范围分析定义相关性,从而为分类体系转换提供依据。如果两种数据集中植被覆盖率先重叠范围越大,则其定义相关性会越强,如果两者定义的植被覆盖率先没有重叠区间,则两者之间没有任何关系。本研究根据植被覆盖率先来分析不同分类体系的转换关系,并将5种土地覆盖数据集转换成IGBP分类体系,计算不同土地覆盖数据集与IGBP分类体系中对应地物的相关系数 C 。

$$C = \frac{1}{2} \left(\frac{R_D}{R_1} + \frac{R_D}{R_D} \right) \quad (1)$$

式中 R_1 是IGBP分类体系中某类地物的植被覆盖率先区间长度,区间长度指植被覆盖率先区间上限减去植被覆盖率先区间下限,是无单位的量; R_D 是数据集 D 中对应地物的植被覆盖率先区间长度, R_D 是数据集 D 和IGBP分类体系中对应地物的植被覆盖率先重叠区间的长度。相关系数的值域为0—1,相关系数与重叠区间长度成正比;若无重叠区间则相关系数为0。水体、城镇、永久湿地和耕地中不涉及植被覆盖率先,不能计算相关系数,混交林、农业与自然植被镶嵌体的相关系数无法计算。5种土地覆盖数据集中地物对应关系及相关系数见表2。

3.2 空间一致性

空间一致性是对不同土地覆盖数据集在相同空间位置上地物类别一致性的描述,用于不同数据集的对比和相互验证,分定性比较和定量比较两方面。定性比较指视觉上的空间分布格局比较;定量比较可计算不同数据集的总体一致性系数 A 和同种地物在不同数据集之间的一致性系数 B_i 。

$$A = \frac{\sum_i XY_i}{\sum_i (X_i + Y_i) / 2} \times 100\% \quad (2)$$

$$B_i = \frac{XY_i}{(X_i + Y_i) / 2} \times 100\% \quad (3)$$

式中 X_i 为数据集 X 中 i 类地物总面积, Y_i 为数据集 Y 中 i 类地物总面积, XY_i 为在相同空间位置上数据集 X 和 Y 都为 i 类地物的总面积。由于UMD数据集中没有雪和冰、永久湿地、农业与自然植被镶嵌体,而GLC2000和GlobCover 2005中没有稀疏草原,所以此4种地物类型不参与一致性比较。另外,研究区包含大面积的海洋水体,而5种土地覆盖

数据集中的水体提取方法不同,使用的水体掩膜数据不同,没有统一的海陆边界,无法将5种数据集的

陆地水体分离出来进行一致性比较,因而水体也不参与比较。故共有11种类型地物参与比较。

表2 5种土地覆盖数据集的地物类别对应关系及相关系数

IGBP DISCover/ MOD12Q1	UMD	GLC2000	GlobCover 2005
常绿针叶林(>60%) ↓	常绿针叶林(>60%) ↓	常绿针叶林(>15%) 0.74	常绿针叶林(>40%) 0.83
常绿阔叶林(>60%) ↓	常绿阔叶林(>60%) ↓	常绿阔叶林(>15%) 0.74	常绿阔叶林(>15%) 0.74
落叶针叶林(>60%) ↓	落叶针叶林(>60%) ↓	落叶针叶林(>15%) 0.74	落叶针叶林(15%—40%) 0.74
落叶阔叶林(>60%) ↓	落叶阔叶林(>60%) ↓	郁闭落叶阔叶林(>40%)、 稀疏落叶阔叶(15%—40%) 0.74	郁闭落叶阔叶林(>40%)、 稀疏落叶阔叶林(15%—40%) 0.74
混交林(≤60%) ↓	混交林(≤60%) ↓	混交林(>15%)	混交林(>15%)
郁闭、稀疏灌木林 ↓	郁闭、稀疏灌木林 ↓	常绿、落叶灌木林(>15%) 0.97	郁闭灌木林(>15%) 0.97
树林草原(林地30%—60%) ↓	稀疏林地(林地40%—60%) 0.83	林地/其他植被镶嵌体 (林地20%—70%) 0.80	林地/灌木(50%—70%)与草原(20%—50%)、 草原(50%—70%)/林地与灌木 (20%—50%)镶嵌体 0.80
稀树草原(林地10%—30%) ↓	有林草地(林地10%—30%) 0.83	—	—
草原(>10%) ↓	草原(>10%) ↓	草原(>15%) 0.97	草原(>15%) 0.97
永久湿地	—	定期淹没林(淡水)、 滨海湿地、沼泽	定期淹没阔叶林(淡水)、 海滨湿地、沼泽
耕地	耕地	耕地	水田、旱地
城镇	城镇	城镇	城镇
农业与自然植被镶嵌体	—	农业与自然植被镶嵌体	耕地(50%—70%)与自然植被(20%—50%)、 自然植被(50%—70%)与耕地(20%—50%)镶嵌体
雪和冰	—	雪和冰	雪和冰
裸地(<10%) ↓	裸地(<10%) ↓	稀疏草地或灌木、 裸地(<15%) 0.97	稀疏植被、裸地(<15%) 0.97
水体	水体	水体	水体

注:括号内数字表示植被覆盖率范围;逗号后面的数字表示相应地物在不同分类体系中的相关系数“—”表示无此类型地物。

3.3 验证样本获取

随着 Google Earth 高分影像可用性增强,它逐渐成为一种重要数据源,很多学者开始使用其进行土地覆盖制图或精度评价研究(Bicheron 等 2008; Friedl 等 2010; Clark 等 2010)。以 Google Earth 为工具选取样本优势如下:(1) 免费查看高分影像,可浏览全球范围的虚拟视图;(2) 样本整体视图,可在不同视角、高度和比例尺条件下查看样本整体情况;(3) 定位精度高,定位误差约为(15±5) m,满足粗分辨率精度要求(Clark 等 2010);(4) 局部区域照片,为样本判定提供重要依据;(5) 样本时效性,根据时间轴确定样本时间的有效区间。

利用 Google Earth 获取的验证样本主要包含空

间位置误差和解译误差。空间位置误差主要由地理参考系统和地形因素造成,比如高分影像未进行正射校正可能造成的定位误差,以及地理参考系统不同造成的空间位置偏移。本研究使用的5种土地覆盖数据集包含1 km和300 m两种分辨率,而 Google Earth 的定位误差约为(15±5) m(Clark 等, 2010),可满足1 km和300 m分辨率土地覆盖数据的空间位置精度要求;样本选好之后,将其转投影成 Lambert 等面积投影,使验证样本和5种土地覆盖数据集的地理参考系统相同,消除由不同的地理参考系统引起的空间位置偏移。解译误差主要由主观因素造成,如不同的学科背景对相同的影像会有不同的认识。影像在样本范围内的地物均质性也是影响样本精度的重要因素。为了降低解译误

差和保证样本均质性,本研究以不同类型地物的影像特征和空间分布格局为先验知识,制定如下抽样规则:(1)样本须在大面积均质区域中心选取,每个样本大小为4个像素(约 $2\text{ km} \times 2\text{ km}$ 或 $600\text{ m} \times 600\text{ m}$)。5种土地覆盖数据集的空间分辨率不同,在选取验证样本时需考虑空间分辨率差异引起的误差。假设在 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 格网内有60%的针叶林和40%的阔叶林,则在 1 km 分辨率尺度下可将其土地覆盖类型定义为混交林;但是,在 300 m 分辨率尺度下则不能将其包含的所有像元的土地覆盖类型定义为混交林,否则会出现空间分辨率引起的误差。因而,选择验证样本时应充分考虑空间分辨率的差异,而不能用相同大小的验证样本评价不同空间分辨率的土地覆盖产品。(2)样本须在有高分影像的区域选取。(3)对常绿和落叶林地,需结合Google Earth时间轴查看不同时相的高分影像,例如,常绿针叶林、常绿阔叶林的判读依据主要是冬季的高分影像;落叶针叶林、落叶阔叶林则需要结合冬季和其他季节的高分影像。(4)对于部分难以确定地物类型的样本,需利用Google Earth提供的照片信息进行确定。

高分率卫星遥感影像从2000年才开始走向民用,且没有可使用的大尺度真实地表数据,故无法获取1992年—1993年的样本,只能选取两期(2000年—2001年,2004年—2006年)验证样本。为了使2000年—2001年的验证样本能反映1992年—1993年真实的地表信息,选取2000年—2001年样本时,要求每个样本必须在大面积均质区域中心选取,避开土地利用变化明显的区域,如不同地物类型的过度地带和边缘地区,以及农林、农牧交错带。因为已有研究显示,中国土地利用变化主要在传统的农作区(包括黄淮海平原、长江三角洲地区和四川盆地)内建筑用地扩张占用大面积的耕地,北方的农牧、农林交错地带与西北绿洲地区大量林地、草地被开垦为耕地,西部地区则变化相对缓慢,退耕还林还草政策实施效果在局部区域有所体现,但退耕还林还草的速度低于林地草地被开垦的速度;主要的土地利用变化类型是耕地—城镇、林草—耕地之间的转换(刘纪远和布和敖斯尔,2000;王思远等2001;王思远等2002;刘纪远等,2002;刘纪远等2003;田光进等2003;李月臣等,2005;刘纪远等2009)。且北方的草地退化比较严重,在气候和人为因素影响下草地由高密度草地向低密度草地和荒漠化转变(李博,1997)。故避开20

世纪90年代土地利用变化明显区域,就可使2000年—2001年的验证样本最大程度地反映1992年—1993年真实地表信息,并用其评价1992年—1993年土地覆盖数据精度。

2000年—2001年的验证样本用于评价 4 km 分辨率产品,选样时间轴在2000年—2001年间;2004年—2006年的验证样本用于评价 300 m 分辨率产品(GlobCover 2005),时间轴在2004年—2006年间,且是以2000年—2001年验证样本为基础进行修改的,当2000年的样本满足时效性时保留该样本,将其范围调整至 $600\text{ m} \times 600\text{ m}$,否则重新选取。不同数据集使用的验证样本类别及数量如表3。

表3 5种土地覆盖数据集使用的验证样本情况

类别名称	IGBP DISCover /MOD12Q1	UMD	GLC2000	GlobCover 2005
常绿针叶林	37	37	37	43
常绿阔叶林	44	44	44	45
落叶针叶林	37	37	37	31
落叶阔叶林	37	37	37	39
混交林	28	28	28	25
灌木林	69	69	20	22
树林草原	13	13	13	14
稀树草原	5	5	—	—
草原	44	44	44	53
永久湿地	25	—	25	25
耕地	101	101	101	103
城镇	22	22	22	38
农业与自然 植被镶嵌体	34	—	34	32
雪和冰	43	—	43	35
裸地	50	50	50	49
水体	49	49	49	52
总样本数	638	536	584	606

3.4 混淆矩阵分析

混淆矩阵分析是进行土地覆盖数据集精度评价常用的方法,在精度评价中至关重要(Foody, 2002; Herold等,2008; 冉有华等2009; Clark等, 2010),是地表真实信息与分类结果之间的一张交叉2维表,可提供总体精度、生产者精度和用户精度等精度信息,且通过混淆矩阵生成的Kappa系数可衡量地表真实信息和分类结果的总体一致性程度。

$$\text{总体精度} = \frac{\sum_{i=1}^{17} X_{ii}}{N^2} \times 100\% \quad (4)$$

$$\text{Kappa 系数} = \frac{N \sum_{i=1}^{17} X_{ii} - \sum_{i=1}^{17} (X_{i+} X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^{17} (X_{i+} X_{+i})} \quad (5)$$

$$\text{用户精度} = \frac{X_{ii}}{X_{i+}} \times 100\% \quad (6)$$

$$\text{生产者精度} = \frac{X_{ii}}{X_{+i}} \times 100\% \quad (7)$$

式中 X_{ii} 是 i 类地物正确分类的像元数, N 表示所有地物的总像元数, X_{i+} 分类图中 i 类地物的总像元数, X_{+i} 表示验证样本中 i 类地物的总像元数。

4 结果与讨论

4.1 空间一致性分析

一致性比较是不同数据集之间的相互验证, 因为 5 种数据集的时间相差十几年, 且研究区内土地利用/覆盖变化非常快, 从理论上讲, 时间差异对不同数据集之间的一致性比较会有一定影响。然而, 事实上数据集之间由分类引起差异远远大于地表真实变化信息 (Friedl 等 2010; McCallum 等 2006)。

研究 (刘纪远 等 2003) 显示 20 世纪 90 年代中国区域内主要有 13 个土地利用动态区, 在 13 个动态区内土地利用变化总面积约为 49114.6 km², 仅为全国总面积的 0.5% 左右。另外, 一致性比较显示, 即使两种数据集的时间相同, 其一致性也非常低。例如, IGBP DISCover 和 UMD 的总体一致性仅为 37% 左右。即不同数据集之间的差异主要是由分类引起的, 虽然不同数据集的时间不同, 进行一致性分析仍然有一定的意义。

4.1.1 定性比较

定性比较可从全局比较和局部比较两方面进行。全局比较用于分析相同地物在 5 种土地覆盖数据集的空间分布格局特征及差异, 局部比较用于选取典型区分析城镇和水体在不同土地覆盖数据集集中的细节特征及差异。

全局比较分两级进行, 首先将常绿针叶林、常绿阔叶林、落叶针叶林、落叶阔叶林、混交林和灌木林合并为林地, 比较林地、树林草原、草原、耕地和裸地在 5 种土地覆盖数据集集中的空间分布格局 (图 2)。然后单独比较常绿针叶林、常绿阔叶林、落叶针叶林、落叶阔叶林、混交林和灌木林的空间分布格局 (图 3)。

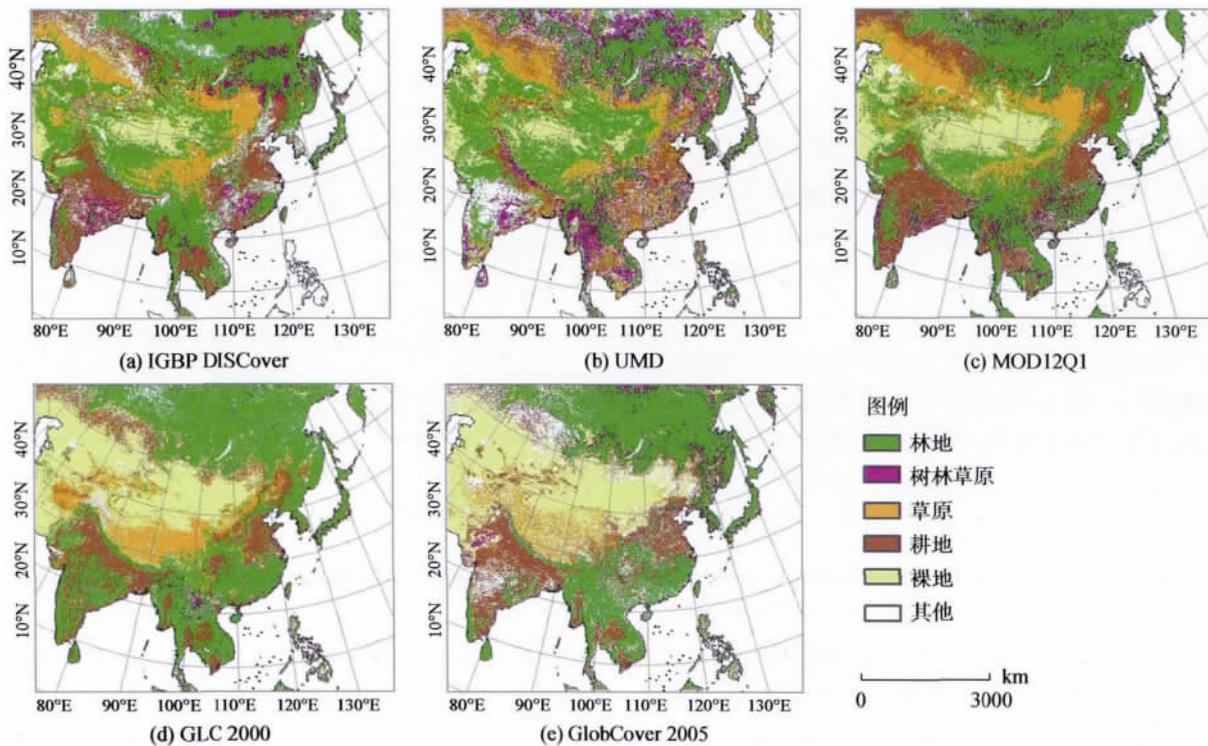


图 2 林地、树林草原、草原、耕地和裸地的空间分布格局比较

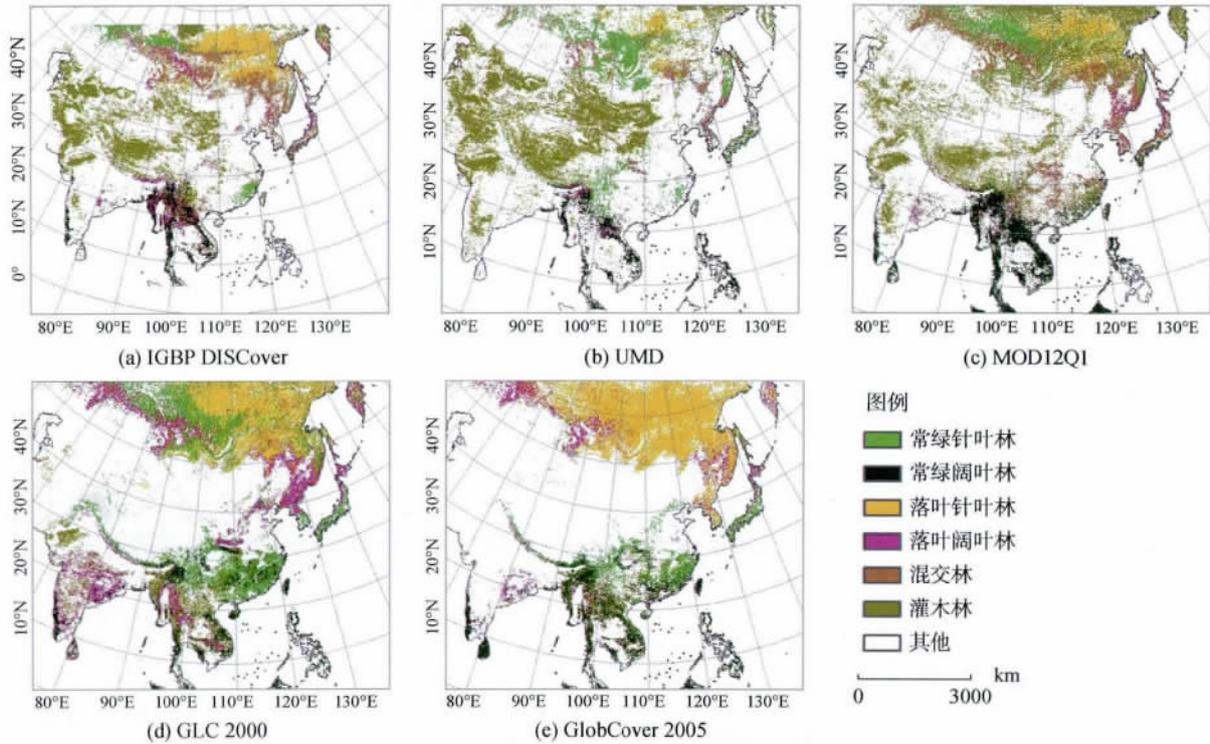


图3 5种乔木林地的空间分布格局比较

图2显示,5种数据集在俄罗斯、中亚地区(包含哈萨克斯坦及其以南至巴基斯坦地区)、印度、中国青藏高原西部、中国东南沿海地区和蒙古地区存在大面积不一致现象。UMD数据集在俄罗斯地区的林地偏少,在印度地区的耕地偏少;且UMD和IGBP DISCover中的树林草原均较多。另外,根据不同土地覆盖数据集使用的原始分类体系进行比较发现,在中亚地区、蒙古和青藏高原地区,IGBP DISCover、UMD和MOD12Q1(原始分类体系都为IGBP)3种数据集的一致性很高,而GLC2000和GlobCover之间的一致性很高,而两种分类体系之间的差异较大。图3显示,6种林地在这5种土地覆盖数据集之间的差异同样跟土地覆盖数据集使用的原始分类体系密切相关,如GLC2000和GlobCover 2005中灌木林相对偏少,落叶针叶林相对偏多;而IGBP DISCover、UMD和MOD12Q1中灌木林相对较多,而落叶针叶林则相对较少。结合图2和图3发现,在上述6个大面积不一致区域内,5种土地覆盖数据集之间不同地物的错分现象主要表现为:草原与裸地错分(哈萨克斯坦、蒙古北部)、草原与灌木林错分(中国青藏高原西部)、裸地与灌木林错分(中亚地区、蒙古南部)、常绿针叶林、常绿阔叶林与耕地错分(中国东南沿海地区)、落叶阔叶林与耕地

错分(印度地区)、5种乔木林地之间的错分(俄罗斯地区)。同时还发现,灌木林与5种乔木林地之间的错分现象较少,林地之间的错分现象主要是5种乔木林地之间的相互错分。

5种土地覆盖数据集与参考数据在杭州地区的局部比较如图4所示。与1992年TM分类结果相比,IGBP DISCover和UMD中杭州地区的城镇面积相对偏小,而水体面积均偏大;另外,UMD数据集中将杭州地区大面积耕地错分为草原,且在杭州地区出现较多的树林草原。与2001年TM分类结果相比,GLC2000在杭州地区的水体面积严重夸大(西湖面积偏大),而钱塘江却消失,且城镇(杭州市区)与水体(西湖)的位置出现错误。MOD12Q1在杭州地区的城镇面积严重高估,水体信息比较准确。GlobCover 2005城镇和水体信息与Google Earth高分影像较吻合,但是在西湖西南角的植被错分为城镇。

4.1.2 定量比较

定量比较是对不同土地覆盖数据集整体区域空间一致性的量化描述,按时间节点计算不同土地覆盖数据集的总体一致性和具体地物一致性系数。同地物在不同土地覆盖数据集之间的一致性系数及面积比较如图5所示。

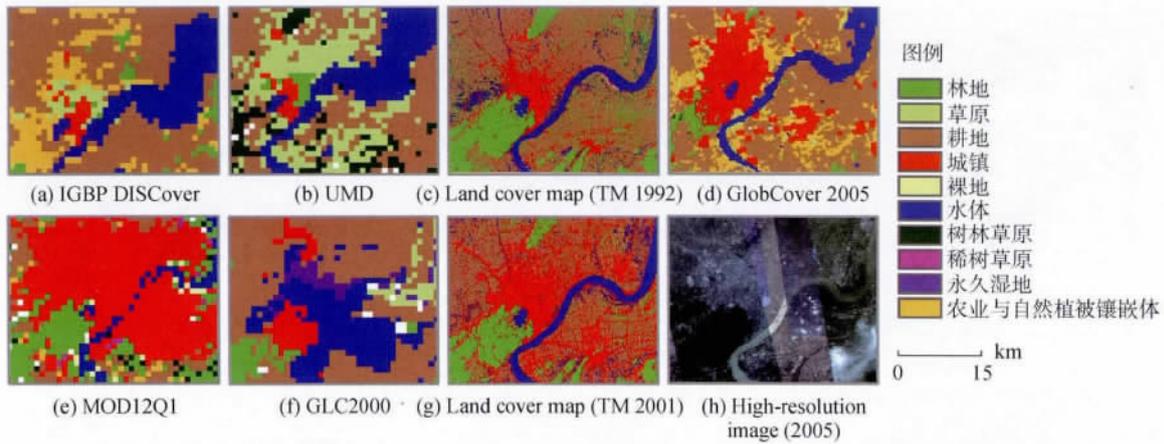


图4 5种土地覆盖数据集与参考数据在杭州地区的局部比较

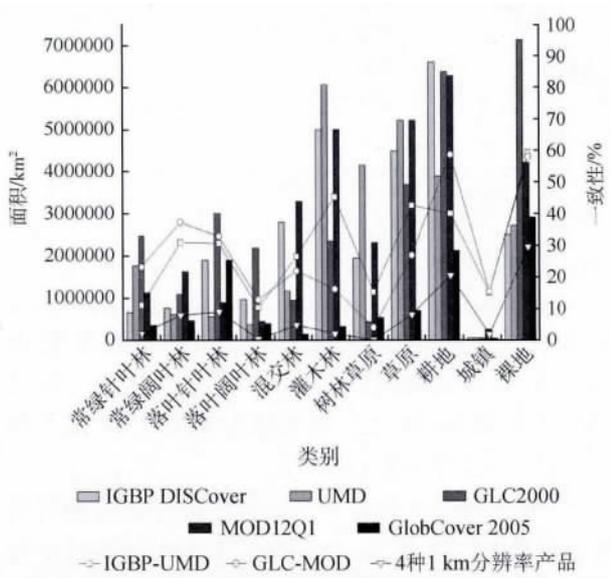


图5 不同土地覆盖数据集的面积与空间一致性

图5显示同种地物在不同土地覆盖数据集之间的面积差异较大, 相同地物在不同土地覆盖数据集之间的一致性系数差异较大, 而且不同土地覆盖数据集之间的一致性曲线具有相似的变化趋势。IGBP DISCover和UMD总体一致性为36.93%; 单类别一致性最高的是裸地, 达到59.35%; 灌木林、草原和耕地分别为45.32%、42.65%和40.05%; 尽管UMD的城镇数据由IGBP DISCover中的城镇数据掩膜得到, 但两者的城镇一致性系数仅为15.14%, 主要是因为两种数据集的原始投影不同, 经过多次投影转换后城镇的位置发生偏移。GLC2000和MOD12Q1总体一致性为36.67%; 单类别一致性最高的是耕地, 达到58.66%; 裸地为58.04%; 常绿阔叶林、落叶针叶林、常绿针叶林和草原则依次降低, 而城镇、灌木林和树林草原的空间一致性非常低。

4种土地覆盖数据集的完全一致性分析结果显示, 4种土地覆盖数据集的总体一致性仅有11.30%; 单类别一致性最高的是裸地, 为29.54%; 其次是耕地, 为20.41%; 其他类别的一致性则都低于10%。另外, 相同地物在不同土地覆盖数据之间的面差异较大, 如常绿针叶林、落叶阔叶林、混交林和树林草原等。

4.2 精度评价

利用验证样本分别建立5种土地覆盖数据集在整体区域的混淆矩阵, 得到不同地物的用户精度和生产者精度, 及总体精度和Kappa系数, 受篇幅限制, 未将混淆矩阵放入文中, 不同地物的用户精度和生产者精度如图6和图7所示, 树林草原、雪和冰、永久湿地、农业与自然植被镶嵌体4种地物的生产者精度和用户精度见表4。

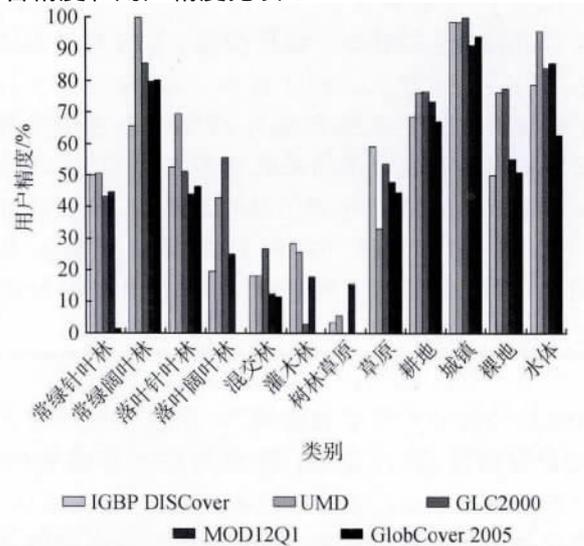


图6 不同地物的用户精度比较

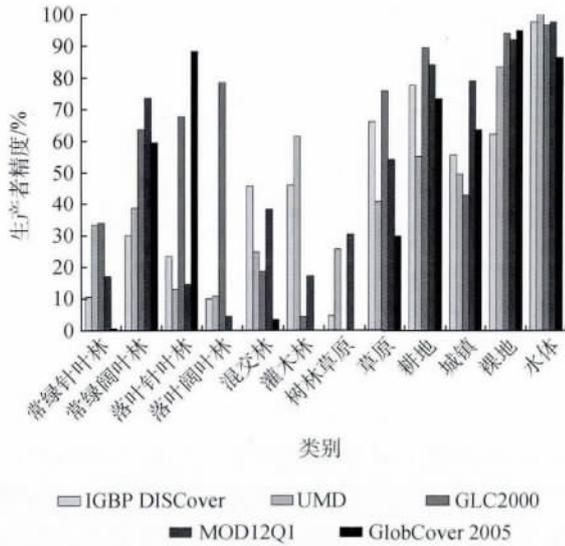


图 7 不同地物的生产者精度比较

图 6 显示,所有地物类型中,常绿阔叶林、耕地、城镇和水体的用户精度相对最高,且差异较小;常绿针叶林、落叶针叶林的用户精度次之,在 50% 左右;混交林、灌木林和树林草原的用户精度相对最低,且差异较大;裸地在 UMD 和 GLC2000 中用户精度约为 80%,而在 IGBP DISCover、MOD12Q1 和 GlobCover 2005 中只有 50% 左右。

图 7 显示,所有地物类型中,耕地、裸地和水体的生产者精度相对最高,且差异较小;常绿针叶林和树林草原的生产者精度相对最低,且差异较大;而落叶针叶林、落叶阔叶林、混交林、灌木林和草原等的生产者精度差异较大。

5 种土地覆盖数据集中城镇的用户精度都在 90% 之上,但其生产者精度差异却较大。IGBP DIS-

Cover 与 UMD 的中城镇的生产者精度较低,主要是因为其使用的 DCW 中的城镇数据是由 1960 年—1980 年的多源地图数据融合得到的,在城市化高速发展的时代,这些过时的数据不能准确的反映城镇的变化信息,IGBP DISCover 中有 14.29% 的城镇被分成了耕地,8.27% 的城镇被分成了农业与自然植被镶嵌体;IGBP DISCover 和 UMD 中灌木林的生产者精度较高,而其他土地覆盖数据集中灌木林的生产者精度却很低,与图 3 中其他土地覆盖数据集中将灌木林错分到裸地和草原有关。UMD 中则有 15.04% 的城镇被分为耕地。GLC2000 的城镇生产者精度最低,与中国区域内的城镇是由目视解译得到的,受主观因素影响较大有关,因为不同的解译者对相同的影像有不同的认识,有 23.30% 的城镇被分为耕地。MOD12Q1 的城镇生产者精度最高,主要是因为利用监督分类树方法进行分类时,最终输出的叶子节点是按不同地物所占比例赋值的,若城镇所占的比例最大,则所有像元全部赋值为城镇,故城镇面积会有一定程度的夸大,图 3 显示,城镇周围的耕地与其他地物会被分为城镇,使生产者精度被高估。GlobCover 2005 的草原生产者精度较低,主要是因为 24.62% 的草原被分为裸地。

表 4 显示,5 种土地覆盖数据集中,永久湿地及雪和冰的用户精度均较高,生产者精度差异却较大;UMD 的稀树草原用户精度和生产者精度最高,其他数据集则较低,主要因为对稀树草原训练样本的采样不仅仅局限于热带区域,其他地区具有类似地表覆盖特征的地物也按稀树草原进行采样。

表 4 5 种土地覆盖数据集中稀树草原、永久湿地、农业与自然植被镶嵌体及雪和冰的精度信息

	IGBP DISCover		UMD		GLC2000		MOD12Q1		GlobCover 2005	
	生产者精度	用户精度	生产者精度	用户精度	生产者精度	用户精度	生产者精度	用户精度	生产者精度	用户精度
稀树草原	0.00	0.00	57.81	35.34	—	—	5.26	3.13	—	—
永久湿地	45.45	90.91	—	—	63.64	82.35	31.82	93.33	14.73	95.56
农业与自然植被镶嵌体	30.30	68.66	—	—	3.79	15.63	1.52	8.70	19.54	8.92
雪和冰	37.65	98.67	—	—	87.65	97.93	14.81	100.00	53.54	95.50

5 种土地覆盖数据集的混淆矩阵显示,灌木林和草原、农业与自然植被镶嵌体和耕地、稀树草原和树林草原、耕地和草原、耕地与城镇、裸地与草原、5 种乔木林地之间的错分现象较多,对不同地物的生产者

精度和用户精度影响较大。部分实际需求只需一级林地的精度,而非林地二级分类的精度,故还计算了 5 种乔木林地合并成林地后 5 种数据集的总体精度、Kappa 系数,林地的生产者精度和用户精度(表 5)。

表 5 5 种林地合并前后 5 种土地覆盖数据集的精度信息

	总体精度 / %		Kappa 系数		林地精度 / %	
	合并前	合并后	合并前	合并后	生产者精度	用户精度
IGBP DISCover	51.58	60.75	0.47	0.55	60.77	86.01
UMD	56.71	58.94	0.52	0.53	50.09	77.93
GLC2000	67.72	76.06	0.64	0.73	86.83	87.13
MOD12Q1	53.19	59.44	0.48	0.54	69.43	82.89
GlobCover 2005	51.12	58.33	0.45	0.51	71.83	76.89

表 5 显示 5 种林地合并后 5 种土地覆盖数据集中林地用户精度都在 75% 以上,且差异不大;而林地的生产者精度差异却较大;5 种土地覆盖数据集的总体精度和 Kappa 系数都有不同程度的提高。IGBP DISCover 的总体精度提高的最多,达到 9.17%;GLC2000、MOD12Q1 和 GlobCover 2005 分别提高了 8.34%、6.25% 和 7.21%;UMD 仅提高了 2.23%。IGBP DISCover 和 GLC2000 的 Kappa 系数均提高 0.8,MOD12Q1、GlobCover 2005 均提高 0.6,UMD 仅提高了 0.1。5 种林地合并前后 GLC2000 的总体精度和 Kappa 系数均为最高,而 GlobCover 2005 的总体精度和 Kappa 系数均为最低。

5 结 论

5 种土地覆盖数据集的比较分析和精度评价结果显示,相同地物在不同土地覆盖数据集之间的空间分布格局差异和一致性系数差异均较大;相同地物在原始分类体系相同的土地覆盖数据集之间的空间分布格局较为吻合;而在原始分类体系不同的土地覆盖数据集之间的空间分布格局差异和一致性系数差异均较大;5 种土地覆盖数据集中,GLC2000 的总体精度最高,GlobCover 2005 的总体精度最低,5 种土地覆盖数据集在局部区域都有明显错分现象;所有地物类型中,只有耕地、裸地和水体 3 类地物同时具有相对较高的生产者精度和用户精度;其他地物的生产者精度与用户精度差异较大。

本研究中只将 IGBP 分类体系中的郁闭灌木林和稀疏灌木林合并为灌木林,其他地物不变,最大限度保持了 IGBP 分类体系的完整性,且通过 Google Earth 可获得 IGBP 分类体系中所有地物类别的样本,故精度评价结果提供了 5 种土地覆盖数据集中丰富地物的精度信息,如林地二级分类精度,并计算了一级林地(5 种乔木林地合并后)分类结果精度,可满足不同的用户需求。

受分类数据源、分类模型与方法、分类体系等因素影响,5 种土地覆盖数据集之间的差异较大,且各有优缺点。用户可根据实际需求选择合适的数据集,或者综合使用现有数据集;对数据生产者而言,可根据数据集的应用目的,选择合适的分类数据源、分类模型与方法 and 分类体系,以便生产出满足应用需要的土地覆盖数据。

参考文献(References)

- Bartholomé E and Belward A S. 2005. GLC2000: a new approach to global land cover mapping from earth observation data. *International Journal of Remote Sensing*, 26(9): 1959 – 1977 [DOI: 10.1080/01431160412331291297]
- Bicheron P, Defourny P, Brockmann C, Schouten L, Vancutsem C, Huc M, Bontemps S, Leroy M, Achard F, Herold M, Ranera F and Arino O. 2008. GlobCover Products Description and Validation Report 31401 1. Toulouse: Medias-France
- Brown J F, Loveland T R, Ohlen D O and Zhu Z L. 1999. The global land-cover characteristics database: the users' perspective. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65: 1069 – 1074
- 陈军, 陈晋, 宫鹏, 廖安平, 何超英. 2011. 全球地表覆盖高分辨率遥感制图. *地理信息世界*, 9(2): 12 – 14
- Clark M L, Aide T M, Grau H R and Riner G. 2010. A scalable approach to mapping annual land cover at 250 m using modis time series data: a case study in the Dry Chaco ecoregion of South America. *Remote Sensing of Environment*, 114(11): 2816 – 2832 [DOI: 10.1016/j.rse.2010.07.001]
- Comber A, Fisher P, Brunsdon C and Khmag A. 2012. Spatial analysis of remote sensing image classification accuracy. *Remote Sensing of Environment*, 127: 237 – 246 [DOI: 10.1016/j.rse.2012.09.005]
- Foody G M. 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80(1): 185 – 201 [DOI: 10.1016/S0034-4257(01)00295-4]
- Foody G M. 2010. Assessing the accuracy of land cover change with imperfect ground reference data. *Remote Sensing of Environment*, 114(10): 2271 – 2285 [DOI: 10.1016/j.rse.2010.05.003]
- Friedl M A, McIver D K, Hodges J C F, Zhang X Y, Muchoney D, Strahler A H, Woodcock C E, Gopal S, Schneider A, Cooper A,

- Baccini A, Gao F and Schaaf C. 2002. Global land cover mapping from modis: algorithms and early results. *Remote Sensing of Environment*, 83(1/2): 287 - 302 [DOI: 10.1016/S0034 - 4257(02)00078 - 0]
- Friedl M A, Sulla-Menashe D, Tan B, Schneider A, Ramankutty N, Sibley A and Huang X M. 2010. Modis collection 5 global land cover: algorithm refinements and characterization of new datasets. *Remote Sensing of Environment*, 114(1): 168 - 182 [DOI: 10.1016/j.rse.2009.08.016]
- Gao H and Jia G S. 2012. Spatial and quantitative comparison of satellite-derived land cover products over China. *Atmospheric and Oceanic Science Letter*, 5(5): 426 - 434
- Giri C, Zhu Z L and Reed B. 2005. A comparative analysis of the global land cover 2000 and modis land cover data sets. *Remote Sensing of Environment*, 94(1): 123 - 132 [DOI: 10.1016/j.rse.2004.09.005]
- Hansen M C and Reed B. 2000. A comparison of the IGBP DISCover and University Maryland 1 km global land cover products. *International Journal of Remote Sensing*. 21(6/7): 1365 - 1373 [10.1080/014311600210209]
- Hansen M C, Defries R S, Townshend J R G and Sohlberg R. 2000. Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach. *International Journal of Remote Sensing*, 21(6/7): 1331 - 1364 [DOI: 10.1080/014311600210209]
- Herold M, Mayaux P, Woodcock C E, Baccini A and Schmullius C. 2008. Some challenges in global land cover mapping: an assessment of agreement and accuracy in existing 1 km datasets. *Remote Sensing of Environment*, 112(5): 2538 - 2556 [DOI: 10.1016/j.rse.2007.11.013]
- 李博. 1997. 中国北方草地退化及其防治对策. *中国农业科学*, 30(6): 1 - 9
- 李月臣, 宫鹏, 陈晋, 刘春霞, 何春阳. 2005. 中国北方 13 省土地利用景观格局变化分析. *水体保持学报*, 19(5): 143 - 146
- Liang L and Gong P. 2010. An assessment of MODIS collection 5 global land cover product for biological conservation studies // *Proceedings of the 2010 18th International Conference on Geoinformatics*. Beijing, China: IEEE: 1 - 6 [DOI: 10.1109/GEOINFORMATICS.2010.5567991]
- 刘纪远, 布和敖斯尔. 2000. 中国土地利用变化现代过程时空特征的研究——基于卫星遥感数据. *第四纪研究*, 20(3): 229 - 239
- 刘纪远, 刘明亮, 庄大方, 张增祥, 邓祥征. 2002. 中国近期土地利用变化的空间格局分析. *中国科学(D 辑)*, 32(12): 1031 - 1043
- 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 王一谋, 周万村, 张树文, 李仁东, 江南, 吴世新. 2003. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析. *地理研究*, 22(1): 1 - 12
- 刘纪远, 张增祥, 徐新良, 匡文慧, 周万村, 张树文, 李仁东, 颜长珍, 于东升, 吴世新, 江南. 2009. 21 世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析. *地理学报*, 64(12): 1411 - 1420
- Loveland T R, Reed B C, Brown J F, Ohlen D O, Zhu Z, Yang L and Merchant J W. 2000. Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km avhrr data. *International Journal of Remote Sensing*, 21(6/7): 1303 - 1330 [DOI: 10.1080/014311600210191]
- McCallum I, Obersteiner M, Nilsson S and Shvidenko A. 2006. A spatial comparison of four satellite derived 1km global land cover datasets. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8(4): 246 - 255 [DOI: 10.1016/j.jag.2005.12.002]
- 梅安新, 彭望球, 秦其明, 刘慧平. 2001. 遥感导论. 北京: 高等教育出版社: 5 - 6
- 牛振国, 单玉秀, 张海英. 2012. 全球土地覆盖 GlobCover2009 数据中的中国区域湿地数据精度评价. *湿地科学*, 10(4): 289 - 395
- 冉有华, 李新, 卢玲. 2009. 四种常用的全球 1km 土地覆盖数据中国区域的精度评价. *冰川冻土*, 31(3): 490 - 499
- 田光进, 庄大方, 刘明亮. 2003. 近 10 年中国耕地资源时空变化特征. *地球科学进展*, 18(1): 30 - 36
- 王思远, 刘纪远, 张增祥, 周全斌, 赵晓丽. 2001. 中国土地利用时空特征分析. *地理学报*, 56(5): 631 - 639
- 王思远, 张增祥, 周全斌, 赵晓丽, 张宗科. 2002. 遥感和 GIS 支持下的中国森林植被动态变化分析. *资源科学*, 24(5): 64 - 69
- Wu W B, Shibasaki R, Yang P, Ongaro L, Zhou Q and Tang H J. 2008. Validation and comparison of 1 km global land cover products in China. *International Journal of Remote Sensing*, 29(13): 3769 - 3785 [DOI: 10.1080/01431160701881897]
- 徐文婷, 吴炳方, 颜长珍, 黄慧萍. 2005. 用 SPOT-VGT 数据制作中国 2000 年度土地覆盖数据. *遥感学报*, 9(2): 204 - 214