

引用格式:侯婉,侯西勇.全球海岸带多源土地利用/覆盖遥感分类产品一致性分析[J].地球信息科学学报,2019,21(7):1061-1073. [Hou W, Hou X Y. Consistency of the multiple remote sensing-based land use and land cover classification products in the global coastal zones[J]. Journal of Geo-information Science, 2019,21(7):1061-1073.] DOI:10.12082/dqxxkx.2019.180441

全球海岸带多源土地利用/覆盖遥感分类产品一致性分析

侯 婉^{1,2,3}, 侯西勇^{1,3*}

1. 中国科学院烟台海岸带研究所, 烟台 264003;
2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 中国科学院海岸带环境过程与生态修复重点实验室, 烟台 264003

Consistency of the Multiple Remote Sensing-based Land Use and Land Cover Classification Products in the Global Coastal Zones

HOU Wan^{1,2,3}, HOU Xiyong^{1,3*}

1. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. Key Laboratory of Coastal Environmental Processes and Ecological Remediation, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China

Abstract: Land Use and Land Cover (LULC) classification products play an indispensable role in ecosystem assessment, climate change simulation, national geographical condition monitoring, and macro-control policy analysis at the global scale; consistency analysis is the precondition of applying various LULC classification products. This paper assessed the area consistency and spatial consistency of five LULC classification products - MCD12Q1- 2010, GlobCover2009, CCI- LC2010, FROM- GLC2010 and GlobeLand30- 2010- in the global coastal zones. The five products were compared in terms of the deviation coefficient, correlation coefficient, error matrix, and spatial confusion of LULC types. The main findings are as follows: (1) The spatial patterns of LULC in five products demonstrate relatively strong overall consistency, but can have significant local inconsistency. (2) The five products are qualitatively consistent yet quantitatively inconsistent in classifying the LULC in the global coastal zones—in terms of structure, water ranks top one, followed by forest and unused land, next are farmland, grassland and shrubland, and lastly wetland and artificial surface, yet the exact area of each LULC type differs among different products. (3) For the correlation coefficient, overall accuracy and Kappa coefficient, MCD12Q1- 2010/GlobCover2009 have the minimum values, 0.8814, 67.46% and 0.5748, respectively; while GlobCover2009/CCI- LC2010 have the maximum values, 0.9869, 81.50% and 0.7505, respectively; it is because GlobCover2009 and CCI- LC2010 obtained from the same production organization have the same classification system, while MCD12Q1- 2010 is different from GlobCover2009 in terms of the production organization, data source, classification system, and classification method. (4) For the spatial confusion/

收稿日期:2018-09-05;修回日期:2019-03-31.

基金项目:中国科学院战略性先导科技专项项目(XDA19060205);国家自然科学基金项目(31461143032). [**Foundation items:** The Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No.XDA19060205; National Natural Science Foundation of China, No.31461143032.]

作者简介:侯 婉(1991-),女,安徽亳州人,博士生,主要研究方向为海岸带土地利用/覆盖变化等. E-mail: whou@yic.ac.cn

*通讯作者:侯西勇(1975-),男,山东泰安人,博士,研究员,博士生导师,主要从事海岸带土地利用变化与海岸线变化遥感监测、海岸带综合管理等方面的研究. E-mail: xyhou@yic.ac.cn

misclassification between any two different products, grassland, shrubland, and wetland have the highest mix-up ratios, followed by farmland and artificial surface, and lastly forest, unused land, and water; this difference is because forest, unused land, and water have distinctive spectral characteristics and clear spatial textures, while grassland, shrubland, and wetland have similar spectral characteristics and fuzzy spatial distributions. (5) There are 28.81% land area in the global coastal zones with relatively low consistency, i.e., with severe spatial confusion; specifically, the misclassification of farmland, forest, grassland, shrubland, wetland, and unused land has direct influence on the spatial consistency of the five products. This paper is hoped to serve as a reference of selecting data from the five available LULC products for researching coastal zones.

Key words: land use and land cover; area consistency; spatial consistency; contrast; coastal zones; global

***Corresponding author:** HOU Xiyong, E-mail: xyhou@yic.ac.cn

摘要:多源土地利用/覆盖分类产品是陆地表层过程研究不可或缺的重要基础数据,而其一致性分析则是产品应用的前提和基础。本文基于类型面积偏差、类型面积相关、误差矩阵和类型空间混淆等方法,从面积一致性和空间一致性两方面分析了5种土地利用/覆盖分类产品(MCD12Q1-2010、GlobCover2009、CCI-LC2010、FROM-GLC2010和GlobeLand30-2010)在全球海岸带区域的一致性。结果表明:①各产品土地利用/覆盖类型的空间分布总体上表现出较强的一致性,但在细节上存在大面积不一致现象;②各产品对全球海岸带土地利用/覆盖构成的描述基本一致,即以水体为主,林地和未利用地次之,耕地、草地和灌木地较少,湿地和人造地表相对最少,但在细节上存在面积偏差;③在产品组合中,MCD12Q1-2010/GlobCover2009的相关系数、总体精度和Kappa系数均最低,分别为0.8814、67.46%和0.5748,而GlobCover2009/CCI-LC2010的相关系数、总体精度和Kappa系数均最高,分别为0.9869、81.50%和0.7505;④5种产品两两对比,草地、灌木地和湿地的混淆程度最高,耕地和人造地表次之,林地和未利用地较低,水体最低;⑤全球海岸带有28.81%的土地具有较低的一致性,这些区域地类混淆现象较为严重,尤其是耕地、林地、草地、灌木地、湿地和未利用地之间的相互混淆对5种产品的一致性程度有直接影响。本文有望为海岸带研究在已有土地利用/覆盖数据来源选择和使用等方面提供参考和建议。

关键词:土地利用/覆盖;面积一致性;空间一致性;对比;海岸带;全球

1 引言

土地利用/覆盖是地球表层各种物质类型及其自然属性与人文特征的综合体,是地球系统科学研究的重要基本因素^[1,2]。精确的土地利用/覆盖分类产品是陆地表层过程研究不可或缺的重要基础信息,在生态系统评估、气候变化模拟、地理国情监测、宏观调控分析等方面发挥着至关重要的作用^[3-5]。近几十年来,随着遥感技术的迅猛发展以及数据政策的有效放开,基于图像处理技术和卫星影像数据的全球及区域尺度的土地利用/覆盖遥感制图研究取得了重要进展^[6,7],其中,应用最为广泛的全球土地利用/覆盖分类产品主要包括美国地质调查局的IGBP-DISCover、美国马里兰大学的UMD、欧盟联合研究中心的GLC2000、美国波士顿大学的MCD12Q1、欧洲空间局的GlobCover和CCI-LC、中国清华大学的FROM-GLC以及中国国家基础地理信息中心的GlobeLand30等。

上述全球土地利用/覆盖分类产品为研究者认识和了解全球土地利用/覆盖的类型构成和格局—

过程特征提供了有效途径^[8]。但由于数据来源、分类体系和分类技术方法不同,这些产品的质量不尽相同,彼此间存在显著差异,因此,研究者在应用这些土地利用/覆盖分类产品之前,有必要判断和评估这些产品在特定领域应用上的一致性^[9]。国际上对全球土地利用/覆盖分类产品的对比研究起步早且综合性强,逐步构建了多源产品一致性分析的评价指标体系,涉及类型面积对比、误差矩阵分析和类型空间混淆等方法。如Hansen等^[10]对IGBP-DISCover和UMD进行对比发现这2种产品的一致性为49%;Giri等^[11]对GLC2000和MODIS土地覆盖分类产品进行对比发现这2种产品的一致性为59.12%;Kaptué等^[12]对GLC2000、MCD12Q1-2005和GlobCover2005在非洲大陆的相对一致性进行比较发现这些产品的一致性在56%~69%之间。近年来,中国也相继开展了大量综合性及专业性的多源土地利用/覆盖分类产品一致性研究,但其共同特点是侧重于中小尺度陆地区域的研究,对宏观尺度海岸带区域的报道并不多见。如胡云锋等^[13]研究了GlobCover2005、GlobCover2009、GLC2000、MCD12Q1-

2000这4种产品在欧洲地区两两比较的一致性,得出参考精度大致在38.56%~77.65%之间;马京振等^[14]以2010年1:10万中国土地利用数据为参考,对河南省GlobeLand30-2010、GlobCover2009和MCD12Q1-2010进行了精度评价,结果表明GlobeLand30-2010的总体精度和Kappa系数最高,GlobCover2009的最低;许光明等^[15]以湖南省桃源县为例综合评价了FROM-GLC2010、GlobCover2009、MCD12Q1-2010这3种产品的质量,指出MCD12Q1-2010的总体精度最高,GlobCover2009的最低。

城市、人口和工业聚集的全球海岸带地处陆地和海洋两大生态系统之间,是陆地系统和海洋系统相连接、交叉和耦合的重要地理单元,也是极易受人类活动和气候变化共同影响的生态环境脆弱区^[16-17]。针对多源土地利用/覆盖遥感分类产品在全球海岸带的一致性开展研究,是全球变化和区域可持续发展研究关注的一个重要问题。截至目前,土地利用/覆盖遥感分类产品一致性分析的评价指标体系已相对成熟,但对全球尺度海岸带区域的相关研究却尚属空白;为此,本文以全球海岸带为研究区域,利用类型面积偏差、类型面积相关、误差矩阵、类型空间混淆等方法,对MCD12Q1-2010、GlobCover2009、CCI-LC2010、FROM-GLC2010、GlobeLand30-2010这5种土地利用/覆盖分类产品进行一致性分析,旨在为海岸带研究在已有土地利用/覆盖数据源选择和使用等方面提供参考和建议。

2 研究区概况、数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

海岸带是指海岸线向陆海两侧延伸一定范围的带状区域。中国海岸带和海涂资源综合调查规定:调查范围为由海岸线向陆侧延伸10 km,向海至水深10 m等深线处。为适应全球海岸带调查,本文选取从海岸线向内陆缓冲100 km范围内的陆地和

向海洋扩展至100 m等深线范围内的海域作为研究区,但不包括大型内陆湖泊和南极洲沿岸^[18]。这一区域覆盖全球沿海陆地和近岸海域的大部分,地势呈现自内陆向海洋逐级降低的趋势,地形地貌类型多样性显著,沿海陆地以山地、丘陵和平原为主,近岸海域以丘陵、盆地和水下河谷为主。该区域入海河流广布,河口区域咸淡水交界以及泥沙淤积形成大型河口三角洲。区域内气候类型纬度地带性明显,由低纬向高纬分别为热带雨林气候、亚热带季风气候、温带海洋性气候和寒带气候,同样,植被类型多样性丰富,由低纬向高纬分别为热带雨林、亚热带常绿阔叶林、温带落叶阔叶林和亚寒带针叶林。全球海岸带受陆海格局、气候、地形地貌、入海河流、植被等因素的影响,土地利用/覆盖显著有别于陆地区域。

2.2 数据来源及预处理

2.2.1 数据来源

近几十年来,涌现出大量以遥感影像为数据源的全球土地利用/覆盖分类产品。本文选用其中的空间分辨率较高的5种,其基本信息如表1所示。500 m分辨率的MCD12Q1是由波士顿大学利用TERRA/MODIS影像制成,土地利用/覆盖分为IGBP定义的17个类,产品每年更新,拥有2001年以来的数据序列^[19]。300 m分辨率的GlobCover是欧洲空间局以ENVISAT/MERIS影像为数据源制作的全球地表产品,采用FAO的LCCS分类体系,共有22个类,包含2005年和2009年2期数据^[20]。300 m分辨率的CCI-LC是由欧洲空间局通过ENVISAT/MERIS和SPOT-VGT影像制作,土地利用/覆盖分为FAO规定的22个类,包括2000、2005和2010年3期数据^[21]。30 m分辨率的FROM-GLC是清华大学利用Landsat TM/ETM+影像获取的全球地表产品,包括9个类型,有2010年和2015年2个时相的数据^[22]。30 m分辨率的GlobeLand30是由国家基础地理信

表1 5种土地利用/覆盖分类产品基本信息^[6]

Tab. 1 Basic information of the five land use and land cover classification products

产品名称	选用时相/年	分辨率/m	遥感影像	分类体系	分类方法	制作单位	制图精度/%
MCD12Q1	2010	500	MODIS	IGBP(17)	决策树	美国波士顿大学	71.6
GlobCover	2009	300	MERIS	FAO(22)	神经网络	欧洲空间局	67.5
CCI-LC	2010	300	MERIS、SPOT-VGT	FAO(22)	非监督分类	欧洲空间局	70.8
FROM-GLC	2010	30	Landsat	(9)	决策树	中国清华大学	69.5
GlobeLand30	2010	30	Landsat、HJ-1	(10)	POK法	中国国家基础地理信息中心	80.3

息中心牵头制作,以 Landsat TM/ETM+影像为主要数据源,并以 HJ-1 影像作为补充,包括 10 个类型,有 2000 年和 2010 年 2 期数据^[23]。由于分辨率、分类系统和分类技术方法不同,这些产品对实地反映的详细程度也不尽相同,但一般来讲,分辨率越高、分类系统越精细、分类技术方法越成熟,分类产品对实地的刻画则越准确。文中以 2010 年为基准年,选取 MCD12Q1- 2010、GlobCover2009、CCI- LC2010、FROM-GLC2010、GlobeLand30-2010 开展研究。

2.2.2 数据预处理

基于划定的研究区域,通过裁剪和拼接得到边界一致的全球海岸带土地利用/覆盖产品集。为了确保无面积变形,选用 WGS_1984_Cylindrical_Equal_Area 作为基准,将 5 种产品统一到相同的坐标系和地理投影。利用最大面积聚合^[13],将不同空间分辨率的 5 种产品统一至 1000 m 分辨率。此外,统一的分类体系是多源土地利用/覆盖分类产品比较分析的基础。FROM-GLC2010 和 GlobeLand30-2010 分为 10 个基本类型,MCD12Q1-2010、GlobCover2009 和 CCI-LC2010 对地物的定义包括植被覆盖率和树高界限两个量化参数,其中植被覆盖率是最主要的分类指标,而树高界限仅用于区分乔木和灌木。基于上述情况,将 5 种产品的土地利用/覆盖类型归并为 8 类(表 2)。

2.3 研究方法

土地利用/覆盖分类产品精度评价主要包括面积数量精度评价和空间位置精度评价两方面内容。面积数量精度(面积一致性)在于评价多源土地利用/覆盖分类产品中各种土地利用/覆盖类型的

面积数量特征是否一致,而空间位置精度(空间一致性)则侧重于评价多源土地利用/覆盖分类产品中各种土地利用/覆盖类型的空间分布特征是否相似。

2.3.1 类型面积偏差分析

偏差系数(D)是衡量土地利用/覆盖分类产品中土地利用/覆盖类型分类精度的有效指标。统计 5 种产品土地利用/覆盖类型面积,以 5 种产品同种类型的面积均值为标准,计算类型面积的偏差系数,公式^[29]如下:

$$D_{xk} = \left(\frac{x_k}{\bar{k}} - 1 \right) \times 100 \tag{1}$$

式中: x 为土地利用/覆盖分类产品; k 为产品的土地利用/覆盖类型; x_k 为产品 x 中类型 k 的面积; \bar{k} 为 5 种产品类型 k 的面积均值; D_{xk} 为产品 x 中类型 k 面积的偏差系数(正值代表相对于均值偏大,负值代表相对于均值偏小)。

2.3.2 类型面积相关分析

相关系数(R)是定量描述 2 个随机变量之间线性相关程度的有效指标。统计各种土地利用/覆盖类型的面积,通过计算 2 种产品类型面积数据序列的相关系数来评价不同产品面积的一致性程度,公式^[30]如下:

$$R_i = \frac{\sum_{k=1}^8 (x_k - \bar{x})(y_k - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{k=1}^8 (x_k - \bar{x})^2 \sum_{k=1}^8 (y_k - \bar{y})^2}} \tag{2}$$

式中: R_i 为产品组合 i 的相关系数; k 为产品的土地利用/覆盖类型; x_k 和 y_k 分别为产品 x 和产品 y 中类型 k 的面积; \bar{x} 和 \bar{y} 分别为产品 x 和产品 y 中全部 8 种类型总面积的均值。

表 2 5 种产品土地利用/覆盖类型对应关系

Tab. 2 Corresponding relationships of land use and land cover types in the five products

类型归并	MCD12Q1-2010	GlobCover2009	CCI-LC2010	FROM-GLC2010	GlobeLand30-2010
1 耕地	12, 14	11, 14, 20	10, 11, 12, 20, 30	10	10
2 林地	1, 2, 3, 4, 5	30, 40, 50, 60, 70, 90, 100, 110	40, 50, 60, 61, 62, 70, 71, 72, 80, 81, 82, 90, 100	20	20
3 草地	8, 9, 10	120, 140	110, 130	30	30
4 灌木地	6, 7	130	120, 121, 122	40	40
5 湿地	11	160, 170, 180	160, 170, 180	50	50
6 水体	0	210	210	60	60, 255
7 人造地表	13	190	190	80	80
8 未利用地	15, 16	150, 200, 220	140, 150, 151, 152, 153, 200, 201, 202, 220	70, 90, 100	70, 90, 100

注:表中数字是多源遥感分类产品原始分类体系的类型代码^[24-28]。

2.3.3 误差矩阵分析

误差矩阵是多源土地利用/覆盖遥感分类产品精度分析中的常用方法。将两种土地利用/覆盖分类产品空间叠置,采用逐像元对比法生成误差矩阵;而后通过计算2种产品的生产者精度(PA)、用户精度(UA)、总体精度(OA)和Kappa系数(K)来衡量不同产品空间的一致性程度。

生产者精度从制图角度描述了待评价产品与参考产品间的空间一致性;用户精度从用图角度表现了待评价产品的可用程度;总体精度衡量了2种产品空间的整体一致性程度;Kappa系数弥补了类型像元数微变导致的指标比例变化,进而更全面地反映2种产品的空间一致性,计算公式^[14-15,31-32]如下:

$$PA_k = \frac{n_{kk}}{n_{+k}} \quad (3)$$

$$UA_k = \frac{n_{kk}}{n_{k+}} \quad (4)$$

$$OA = \frac{\sum_{k=1}^8 n_{kk}}{N} \quad (5)$$

$$K = \frac{N \sum_{k=1}^8 n_{kk} - \sum_{k=1}^8 (n_{k+} n_{+k})}{N^2 - \sum_{k=1}^8 (n_{k+} n_{+k})} \quad (6)$$

式中: k 为产品的土地利用/覆盖类型; n_{kk} 为类型 k 中正确分类的像元数; n_{+k} 为参考产品中类型 k 的像元数; n_{k+} 为待评价产品中类型 k 的像元数; N 为产品的总像元数。

2.3.4 类型空间混淆分析

两两对比:选择5种土地利用/覆盖分类产品中的任意2种空间叠置,获得2种产品间逐像元的土地利用/覆盖类型对应关系,而后对空间叠置结果统计汇总,绘制土地利用/覆盖类型混淆图。

多源对比:将5种土地利用/覆盖分类产品空间叠置,获得5种产品间逐像元的土地利用/覆盖类型对应关系,而后逐像元判断不同产品的土地利用/覆盖类型是否相同,并区分不同等级的一致性绘制专题图^[13,33]:完全一致(5种产品类型完全相同)、高度一致(5种产品中有4种产品类型相同)、中度一致(5种产品中有3种产品类型相同)、低度一致(5种产品中有2种产品类型相同)、完全不一致(5种产品类型各不相同)。

3 结果及分析

3.1 分类效果视觉对比

比较全球海岸带5种土地利用/覆盖分类产品

的空间分布情况。可见,总体上5种土地利用/覆盖分类产品中同种土地利用/覆盖类型的空间分布表现出较强的一致性。具体而言,5种产品均能够较准确地反映出广泛分布于墨西哥湾沿岸、阿根廷东部海岸、欧洲沿岸、东亚及南亚沿岸、澳大利亚南部海岸的耕地,分布于加拿大东部及西部海岸、南美洲北部海岸、几内亚湾沿岸、北欧沿岸、东南亚沿岸的林地,分布于非洲东部海岸、澳大利亚西部海岸的草地,分布于墨西哥加利福尼亚半岛沿岸、澳大利亚北部海岸的灌木地以及分布于加拿大北极群岛、智利与秘鲁沿岸、纳米比亚沿岸、北非及西亚沿岸、亚欧大陆北部海岸的未利用地。同时,地处海陆结合部的湿地、沿海区域的水体以及依傍耕地存在的人造地表也能够较准确地被刻画出来。但在细节上,5种产品的土地利用/覆盖类型空间分布又存在大面积不一致现象。例如,MCD12Q1-2010在南美洲北部海岸和几内亚湾沿岸的林地偏少,在加拿大北极群岛和亚欧大陆北部海岸的未利用地偏少,且相应的是在加拿大北极群岛的草地和灌木地偏多,在亚欧大陆北部海岸的灌木地偏多;还有FROM-GLC2010在墨西哥湾沿岸、欧洲沿岸和南亚沿岸的耕地偏少,在加拿大哈德森湾沿岸、美国佛罗里达州沿岸、委内瑞拉沿岸和巴西亚马孙河入海区域的湿地偏少。具体的分类效果视觉对比如图1所示。

3.2 面积一致性

3.2.1 类型面积统计分析

5种土地利用/覆盖分类产品在全球海岸带的土地利用/覆盖类型面积对比情况如图2。5种产品中各种土地利用/覆盖类型的面积百分比及偏差系数如表3。可见,总体上5种产品对全球海岸带土地利用/覆盖构成的描述基本一致,即5种产品中土地利用/覆盖类型均以水体为主,该类型面积占全球海岸带总面积的40%以上,林地和未利用地次之,所占比例均大于15%而小于23%,耕地、草地和灌木地较少,所占比例均大于2%而小于15%,湿地和人造地表相对最少,面积比例均小于2%。但在细节上,不同产品在土地利用/覆盖构成方面又存在明显的不一致现象。其中,MCD12Q1-2010中林地和未利用地的面积比例分别为14.96%和8.14%,与其他4种产品相比均偏小,偏差幅度分别为23.12%和46.59%;同时,该产品中草地和灌木地的面积比例分别为14.54%和9.34%,相较于其他4种产品均偏大,偏差幅度分别为98.18%和72.78%;该产品偏差

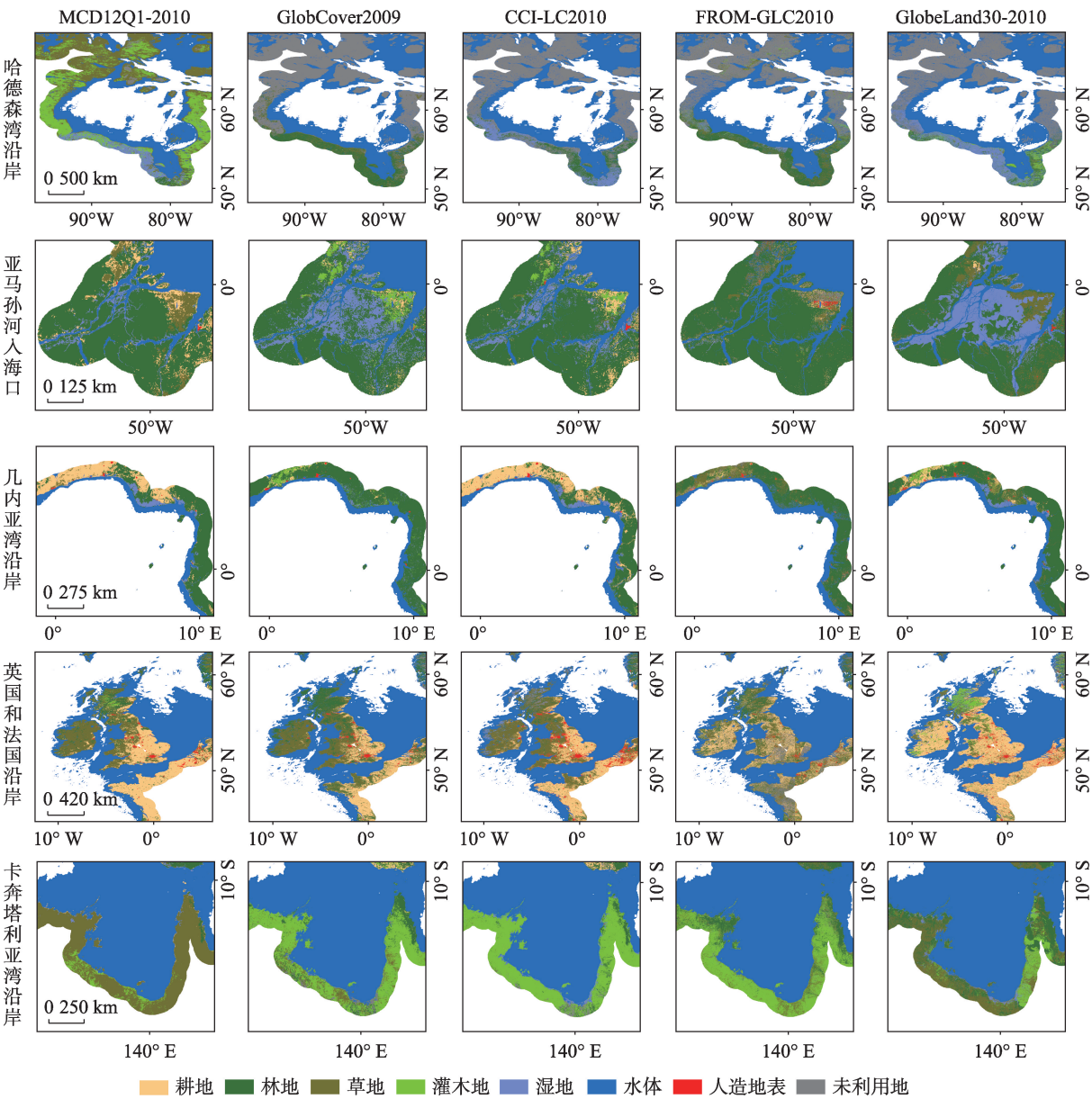


图1 5种土地利用/覆盖产品分类效果对比

Fig. 1 Classification accuracy of the five land use and land cover products

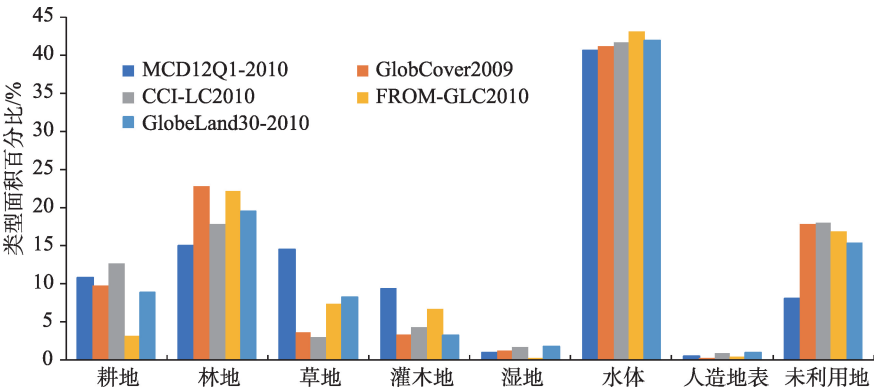


图2 5种产品土地利用/覆盖类型面积对比情况

Fig. 2 Area consistency of each land use and land cover type in the five products

表3 5种产品土地利用/覆盖类型面积百分比及偏差系数

Tab. 3 Area percentages and deviation coefficients of each land use and land cover type in the five products (%)										
土地利用/ 覆盖类型	MCD12Q1-2010		GlobCover2009		CCI-LC2010		FROM-GLC2010		GlobeLand30-2010	
	面积百分比	偏差系数	面积百分比	偏差系数	面积百分比	偏差系数	面积百分比	偏差系数	面积百分比	偏差系数
耕地	10.79	18.90	9.75	7.47	12.70	39.93	3.24	-64.24	8.89	-2.07
林地	14.96	-23.12	22.82	17.30	17.75	-8.76	22.18	14.01	19.57	0.58
草地	14.54	98.18	3.61	-50.83	2.96	-59.71	7.28	-0.71	8.29	13.08
灌木地	9.34	72.78	3.33	-38.33	4.37	-19.22	6.67	23.51	3.31	-38.75
湿地	1.07	-13.69	1.29	4.41	1.76	42.49	0.29	-76.70	1.78	43.50
水体	40.65	-2.38	41.10	-1.28	41.60	-0.10	43.00	3.28	41.83	0.47
人造地表	0.53	-14.95	0.30	-51.23	0.87	39.62	0.45	-27.30	0.96	53.85
未利用地	8.14	-46.59	17.79	16.76	18.00	18.17	16.87	10.76	15.37	0.91

的主要来源是北半球高纬度地区草地、灌木地与未利用地之间的相互错分,还有中低纬度地区耕地与林地的相互误分。另外, FROM-GLC2010 中耕地和湿地的面积比例分别为 3.24%和 0.29%,对比其他 4 种产品面积比例均偏小,偏差幅度分别为 64.24%和 76.70%,该产品的偏差主要来源于耕地、湿地与灌木地之间的相互误判。

3.2.2 类型面积相关分析

多源土地利用/覆盖遥感分类产品土地利用/覆盖类型面积的相关系数如表 4。可见, MCD12Q1-2010 与其他 4 种产品(GlobCover2009、 CCI-LC2010、 FROM-GLC2010 和 GlobeLand30-2010)的面积相关性均较差。其中, MCD12Q1-2010/GlobCover2009 最差,相关系数为 0.8814, MCD12Q1-2010/GlobeLand30-2010 相对最强,相关系数为 0.9378,究其原因 MCD12Q1-2010 相较于其他产品具有较低的空间分辨率,这也体现出高空间分辨率产品在土地利用/覆盖分类方面的优势。此外, GlobCover2009、 CCI-LC2010、 FROM-GLC2010 和 GlobeLand30-2010 这 4 种产品的面积相关性均较强。其中, GlobCover2009/CCI-LC2010 最强,相关系数为 0.9869,这主要是因为 CCI-LC2010 采用与 GlobCover2009 相同的 ENVISAT/MERIS 遥感影像和 FAO 分类体

系,使得两种产品间表现出较好的面积相关性; CCI-LC2010/FROM-GLC2010 相对最差,相关系数为 0.9522,这主要是因为 FROM-GLC2010 采用决策树法,训练样本的选取直接影响分类结果,而该产品的训练样本存在湿地类型缺失或误判的现象,致使该产品与其他产品的面积相关性均不高。

3.3 空间一致性

3.3.1 误差矩阵分析

选择 5 种土地利用/覆盖分类产品中的任意 2 种建立误差矩阵,得到一致性评价指标如表 5。结果显示: MCD12Q1-2010/GlobCover2009 的总体精度和 Kappa 系数最低,分别为 67.46%和 0.5748,即这 2 种产品间具有最低的一致性; GlobCover2009/CCI-LC2010 的总体精度和 Kappa 系数最高,分别为 81.50%和 0.7505,即这 2 种产品间具有最高的一致性。究其原因是 GlobCover2009 和 CCI-LC2010 出自同一制作单位,且遥感影像和分类体系一致; MCD12Q1-2010 和 GlobCover2009 的制作单位、遥感影像、分类体系和分类技术方法均不同,且在草地与灌木地的分类上存在模糊性。另外,分析表中各个产品组合土地利用/覆盖类型的生产者精度和用户精度,可以发现:水体的生产者精度和用户精

表4 5种土地利用/覆盖分类产品类型面积相关系数

Tab. 4 Correlation coefficients of the five land use and land cover classification products					
产品	MCD12Q1-2010	GlobCover2009	CCI-LC2010	FROM-GLC2010	GlobeLand30-2010
MCD12Q1-2010	1.0000	0.8814	0.8920	0.9127	0.9378
GlobCover2009	0.8814	1.0000	0.9869	0.9751	0.9859
CCI-LC2010	0.8920	0.9869	1.0000	0.9522	0.9791
FROM-GLC2010	0.9127	0.9751	0.9522	1.0000	0.9820
GlobeLand30-2010	0.9378	0.9859	0.9791	0.9820	1.0000

表5 5种土地利用/覆盖分类产品一致性评价指标
Tab. 5 Consistency indicators of the five land use and land cover classification products

参考产品/待评价产品	指标/%	耕地	林地	草地	灌木地	湿地	水体	人造地表	未利用地	OA/%	Kappa 系数
MCD12Q1-2010/GlobCover2009	PA	56.64	76.82	9.08	6.48	20.33	98.41	32.85	92.65	67.46	0.5748
	UA	62.66	50.35	36.60	18.17	16.80	97.31	57.29	42.38		
MCD12Q1-2010/CCI-LC2010	PA	73.39	78.45	9.14	16.05	41.47	98.53	82.55	92.41	70.93	0.6212
	UA	62.36	66.11	44.94	34.34	25.11	96.28	50.29	41.76		
MCD12Q1-2010/FROM-GLC2010	PA	21.87	88.46	20.68	32.11	8.43	98.30	28.73	79.23	68.24	0.5809
	UA	72.72	59.65	41.28	44.92	31.22	92.91	33.61	38.20		
MCD12Q1-2010/GlobeLand30-2010	PA	56.84	79.55	21.13	12.62	43.41	97.85	59.17	86.33	69.85	0.6050
	UA	69.01	60.81	37.02	35.60	26.11	95.07	32.71	45.69		
GlobCover2009/CCI-LC2010	PA	74.33	62.73	30.76	56.60	40.94	98.81	77.04	87.49	81.50	0.7505
	UA	57.09	80.65	37.54	43.21	30.00	97.64	26.91	86.44		
GlobCover2009/FROM-GLC2010	PA	17.77	67.26	21.35	38.83	3.12	97.90	31.28	66.91	71.42	0.6110
	UA	53.39	69.20	10.57	19.39	13.98	93.58	20.98	70.53		
GlobCover2009/GlobeLand30-2010	PA	50.36	60.26	30.52	20.03	25.81	96.91	52.35	73.98	73.92	0.6490
	UA	55.27	70.28	13.27	20.16	18.78	95.22	16.59	85.60		
CCI-LC2010/FROM-GLC2010	PA	16.84	78.98	25.25	50.28	3.61	97.43	21.81	67.83	72.09	0.6239
	UA	65.88	63.21	10.25	32.88	22.07	94.25	41.89	72.36		
CCI-LC2010/GlobeLand30-2010	PA	46.76	72.46	28.15	23.46	35.58	95.96	46.20	73.23	74.79	0.6629
	UA	66.82	65.73	10.03	30.93	35.33	95.42	41.93	85.76		
FROM-GLC2010/GlobeLand30-2010	PA	62.50	67.46	28.33	20.98	24.30	92.79	34.21	63.84	71.35	0.6126
	UA	22.82	76.46	24.87	42.30	3.94	95.37	16.17	70.07		

度最高,林地和未利用地次之,耕地和人造地表较低,草地、灌木地和湿地最低。具体而言:

(1) 水体的生产者精度和用户精度都很高,均高于92%,其中GlobCover2009/CCI-LC2010均最高,分别为98.81%和97.64%。

(2) 林地的生产者精度和用户精度都高于50%,其中MCD12Q1-2010/FROM-GLC2010的生产者精度是88.46%,GlobCover2009/CCI-LC2010的用户精度是80.65%,均为最高值。

(3) 未利用地的生产者精度都高于63%,其中MCD12Q1-2010/GlobCover2009最高,为92.65%;MCD12Q1-2010与其他产品(GlobCover2009、CCI-LC2010、FROM-GLC2010和GlobeLand30-2010)未利用地的用户精度分别是42.38%、41.76%、38.20%和45.69%,均为较低值,其余组合在70%以上。

(4) 针对耕地,MCD12Q1-2010/FROM-GLC2010、GlobCover2009/FROM-GLC2010和CCI-LC2010/FROM-GLC2010的生产者精度分别是21.87%、17.77%和16.84%,均为较低值,其余组合在46%~75%之间;FROM-GLC2010/GlobeLand30-2010的用户精度是22.82%,为最低值,其他组合在53%~73%之间。

(5) 针对人造地表,MCD12Q1-2010/CCI-LC2010和GlobCover2009/CCI-LC2010的生产者精度分别是82.55%和77.04%,均为较高值,其余组合在60%以下;人造地表的用户精度都较低,均低于58%,其中FROM-GLC2010/GlobeLand30-2010最低,为16.17%。

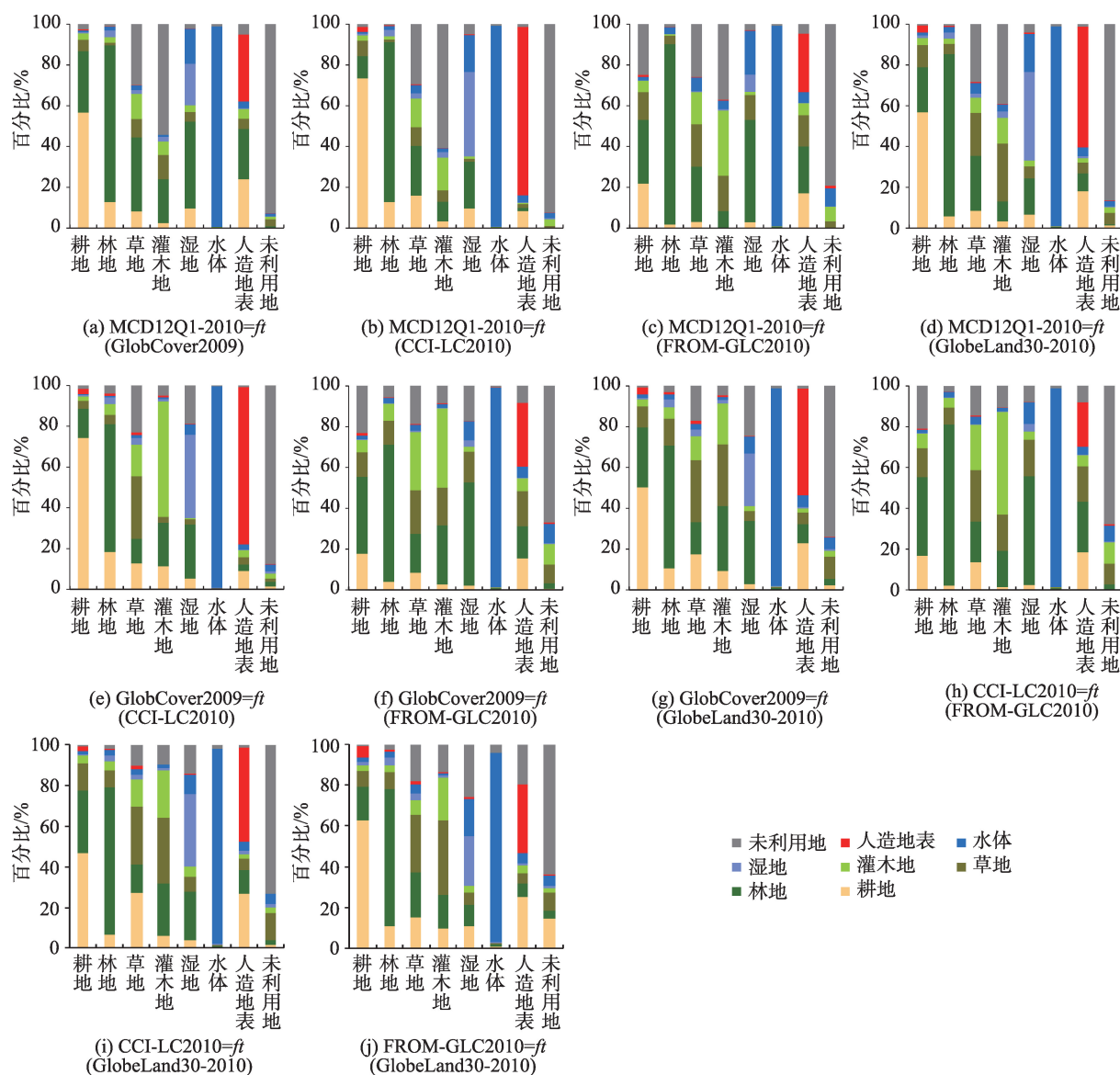
(6) 草地的生产者精度和用户精度均低于45%,其中MCD12Q1-2010/GlobCover2009的生产者精度是9.08%,CCI-LC2010/GlobeLand30-2010的用户精度是10.03%,均为最低值。

(7) 灌木地的生产者精度和用户精度均低于57%,其中MCD12Q1-2010/GlobCover2009均最低,分别为6.48%和18.17%。

(8) 针对湿地,MCD12Q1-2010/FROM-GLC2010、GlobCover2009/FROM-GLC2010和CCI-LC2010/FROM-GLC2010的生产者精度都很低,分别为8.43%、3.12%和3.61%,其余组合在20%~44%之间;湿地的用户精度都较低,均在36%以下,其中FROM-GLC2010/GlobeLand30-2010最低,为3.94%。

3.3.2 两两对比的类型空间混淆分析

5种土地利用/覆盖分类产品两两对比的土地利用/覆盖类型混淆情况如图3。结果显示:总体上,各个产品组合中草地、灌木地和湿地的混淆程



注: f_i 代表2种产品间的混淆关系,横坐标代表参考产品的土地利用/覆盖类型,纵坐标代表参考产品中某个类型的像元在待评价产品中被分为各类型的百分比。具体而言,以图3(a)为例, f_i 代表MCD12Q1-2010和GlobCover2009之间的混淆关系,横坐标代表MCD12Q1-2010的土地利用/覆盖类型,纵坐标代表在MCD12Q1-2010的某个类型上,GlobCover2009中各个类型像元所占的百分比。

图3 5种产品两两对比的土地利用/覆盖类型空间混淆情况

Fig. 3 Spatial confusion of each land use and land cover type between any two different products

度最高,耕地和人造地表次之,林地和未利用地较低,水体最低。究其原因是水体、林地和未利用地的光谱特征明显、空间纹理清晰,极易与其他土地利用/覆盖类型相区别,而草地、灌木地和湿地的光谱特征相似、空间分布交错,在遥感分类时难以准确地区分。具体而言:

(1) 水体的一致性最好,均高于92%,极少部分像元被误分为林地和未利用地,误分的原因可能是裸露的河床或海滩易被分类为未利用地,而有植被覆盖时又易被分类为林地。

(2) 未利用地的一致性在63%~93%之间,其中FROM-GLC2010/GlobeLand30-2010的混淆程度最高,MCD12Q1-2010/GlobCover2009最低,分类误差主要表现为将未利用地误判为草地、灌木地和水体。

(3) 林地的一致性在60%~89%之间,其中GlobCover2009/GlobeLand30-2010的混淆程度最高,MCD12Q1-2010/FROM-GLC2010最低,分类误差主要表现为将林地错判为耕地和草地。

(4) 针对耕地,MCD12Q1-2010/FROM-GLC2010、GlobCover2009/FROM-GLC2010和CCI-LC2010/

FROM-GLC2010的混淆程度较高,约有70%被混分为林地、草地和未利用地,其余组合的一致性在46%~75%之间,其误差主要来源于耕地被混分为林地和草地。

(5) 针对人造地表, MCD12Q1-2010/CCI-LC2010和GlobCover2009/CCI-LC2010的混淆程度较低,约有10%被错分为耕地,其余组合的一致性在21%~60%之间,其误差主要来源于人造地表被错分为耕地、林地、草地和未利用地。

(6) 草地的一致性都很低,均低于31%,地类混淆主要来源于草地被错误分类为耕地、林地、灌木地和未利用地。

(7) 针对灌木地, GlobCover2009/CCI-LC2010和CCI-LC2010/FROM-GLC2010的一致性较高,分别为56.60%和50.28%,其余组合都很低,均低于39%,MCD12Q1-2010/GlobCover2009最低,为6.48%,地类混淆主要来源于灌木地与耕地、林地、草地和未利用地的误分。

(8) 针对湿地, GlobCover2009/FROM-GLC2010和CCI-LC2010/FROM-GLC2010的混淆情况最严重,几乎全部像元被误分为林地、草地、水体和未利

用地等主要地类,其余组合的混淆程度都较高,地类混淆主要来源于将湿地错分为林地、水体和未利用地。综上,耕地-林地-草地混分、草地-灌木地-未利用地混分、林地-湿地-水体混分、耕地-人造地表混分现象是影响5种土地利用/覆盖分类产品一致性的主要原因。

3.3.3 多源产品的空间一致性分析

图4是全球海岸带5种土地利用/覆盖分类产品一致性的空间分布情况,将其与5种产品土地利用/覆盖类型的空间分布相对比可以发现:

(1) 5种产品类型完全一致的区域占全球海岸带总面积的54.03%,主要集中在沿海区域的水体,加拿大东部及西部海岸、南美洲北部海岸、几内亚湾沿岸、北欧沿岸、东亚及东南亚沿岸、澳大利亚东部海岸的林地,欧洲及东亚沿岸的耕地,加拿大北极群岛、智利与秘鲁沿岸、纳米比亚沿岸、北非及西亚沿岸的未利用地,这些区域地类单一,光谱特征和纹理特征清晰,易于分辨,所以空间一致性最好。

(2) 高度一致的区域占全球海岸带总面积的17.16%,主要聚集于加拿大北极群岛、亚欧大陆北部海岸和南亚沿岸,其中,加拿大北极群岛主要是

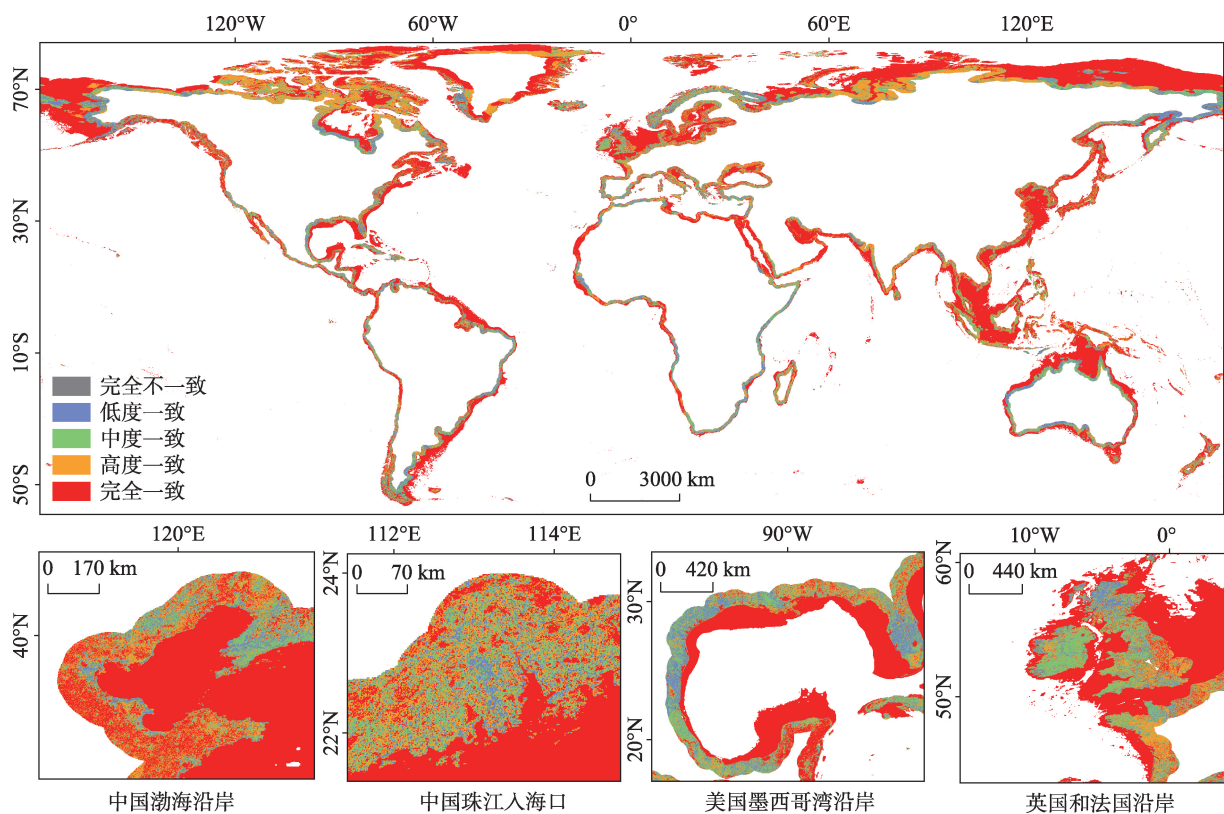


图4 5种土地利用/覆盖分类产品一致性的空间分布情况

Fig. 4 Spatial patterns of classification consistency among the five land use and land cover products

MCD12Q1-2010将未利用地误分为草地或灌木地,亚欧大陆北部海岸主要是MCD12Q1-2010将未利用地错判为灌木地,南亚沿岸主要是FROM-GLC2010将耕地错分为未利用地。

(3) 中度一致的区域占全球海岸带总面积的17.45%,广泛分布于全球沿海陆域,地类混淆现象较为严重,其中,耕地、林地、草地、灌木地之间的相互误判尤为突出,所以空间一致性一般。

(4) 低度一致和完全不一致的区域占全球海岸带总面积的11.36%,主要集中在美国阿拉斯加州沿岸、加拿大哈德森湾沿岸、墨西哥湾沿岸、巴西沿岸、非洲东部海岸、俄罗斯勘察加边疆区沿岸、澳大利亚西部及南部海岸,这些区域地类混淆现象极为严重,主要表现为耕地、林地、草地、灌木地、湿地和未利用地之间的相互混淆,因而空间一致性最差。

4 结论与讨论

本文以全球海岸带为研究区域,利用类型面积偏差、类型面积相关、误差矩阵、类型空间混淆作为研究方法,从面积一致性和空间一致性两方面对5种土地利用/覆盖(MCD12Q1-2010、GlobCover2009、CCI-LC2010、FROM-GLC2010和GlobeLand30-2010)分类产品进行了一致性分析,主要结论如下:

(1) 5种产品对于全球海岸带土地利用/覆盖的类型构成和格局特征的刻画都基本一致。各产品均以水体为主,林地和未利用地次之,耕地、草地和灌木地较少,湿地和人造地表相对最少,且在土地利用/覆盖类型的空间分布上表现出较强的一致性。但在细节上,5种产品在土地利用/覆盖类型构成和格局特征方面又存在明显的不一致现象。

(2) 对5种产品开展面积相关性和误差矩阵分析。结果表明:不同产品间的相关系数在0.8814~0.9869之间,总体精度在67.46%~81.50%之间,Kappa系数在0.5748~0.7505之间。其中,MCD12Q1-2010/GlobCover2009一致性最低,GlobCover2009/CCI-LC2010一致性最高。究其原因是GlobCover2009与CCI-LC2010源自同一制作机构,数据来源和分类体系完全一致;MCD12Q1-2010与GlobCover2009的制作机构、数据来源、分类体系和分类技术方法均不同。

(3) 5种产品在空间上存在类型混淆。草地、灌木地和湿地的混淆程度最高,耕地和人造地表次

之,林地和未利用地较低,水体最低。其中,耕地-林地-草地混淆、草地-灌木地-未利用地混淆、林地-湿地-水体混淆、耕地-人造地表混淆现象对5种产品的一致性程度有直接影响。此外,全球海岸带有71.19%的土地具有较高的一致性,不同产品间的一致性程度尚有可以提升的空间。

综上所述,受数据来源、分类体系和分类技术方法等因素的影响,5种产品在全球海岸带的质量不尽相同,且各有优缺点。但总的来说,5种土地利用/覆盖分类产品对于林地、水体和未利用地识别的一致性程度相对较高,究其原因是因为这3种土地利用/覆盖类型的光谱特征相对明显、纹理特征相对清晰(空间展布上斑块独立且面积广大),在卫星影像上易于辨识;5种产品对于草地、灌木地和湿地识别的一致性程度相对较低,究其原因是因为这3种土地利用/覆盖类型的光谱特征相似、空间分布交错(三者之间存在模糊性和过渡性),在遥感分类时难以准确地区分。依据研究结果,产品生产者可以分析反馈信息以选择适宜的技术方法来生产更高质量的产品,产品使用者可以分析产品优劣以选择适宜的产品或综合已有的产品来满足应用需求。研究还发现,不同产品之间存在不同程度的类型混淆现象,如何有效融合多源产品的优势,克服单一产品的不确定性,提高信息利用率,是今后研究中应当考虑的问题之一。

参考文献(References):

- [1] Giri C, Pengra B, Long J, et al. Next generation of global land cover characterization, mapping, and monitoring[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2013,25:30-37.
- [2] 黄亚博,廖顺宝.首套全球30 m分辨率土地覆被产品区域尺度精度评价——以河南省为例[J].地理研究,2016,35(8):1433-1446. [Huang Y B, Liao S B. Regional accuracy assessments of the first global land cover dataset at 30-meter resolution: A case study of Henan province [J]. Geographical Research, 2016,35(8):1433-1446.]
- [3] 杨永可,肖鹏峰,冯学智,等.大尺度土地覆盖数据集在中国及周边区域的精度评价[J].遥感学报,2014,18(2):453-475. [Yang Y K, Xiao P F, Feng X Z, et al. Comparison and assessment of large-scale land cover datasets in China and adjacent regions[J]. Journal of Remote Sensing, 2014,18(2):453-475.]
- [4] Erb K H, Luyssaert S, Meyfroidt P, et al. Land management: Data availability and process understanding for global

- change studies[J]. *Global Change Biology*, 2017,23:512-533.
- [5] 陈军,陈晋,官鹏,等.全球地表覆盖高分辨率遥感制图[J]. *地理信息世界*,2011,9(2):12-14. [Chen J, Chen J, Gong P, et al. Higher resolution global land cover mapping[J]. *Geomatics World*, 2011,9(2):12-14.]
- [6] Grekousis G, Mountrakis G, Kavouras M. An overview of 21 global and 43 regional land-cover mapping products [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2015,36(21): 5309-5335.
- [7] Congalton R G, Gu J Y, Yadav K, et al. Global land cover mapping: A review and uncertainty analysis[J]. *Remote Sensing*, 2014,6:12070-12093.
- [8] 吴文斌,杨鹏,张莉,等.四类全球土地覆盖数据在中国区域的精度评价[J]. *农业工程学报*,2009,25(12):167-173. [Wu W B, Yang P, Zhang L, et al. Accuracy assessment of four global land cover datasets in China[J]. *Transactions of the CSAE*, 2009,25(12):167-173.]
- [9] 刘琼欢,张懿锂,刘林山,等.七套土地覆被数据在羌塘高原的精度评价[J]. *地理研究*,2017,36(11):2061-2074. [Liu Q H, Zhang Y L, Liu L S, et al. Accuracy evaluation of the seven land cover data in Qiangtang Plateau[J]. *Geographical Research*, 2017,36(11):2061-2074.]
- [10] Hansen M C, Reed B. A comparison of the IGBP DISCover and University of Maryland 1 km global land cover products[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2000,21(6-7):1365-1373.
- [11] Giri C, Zhu Z L, Reed B. A comparative analysis of the Global Land Cover 2000 and MODIS land cover data sets [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2005,94:123-132.
- [12] Kaptué Tchuenté A T, Roujean J L, De Jong S M. Comparison and relative quality assessment of the GLC2000, GLOBCOVER, MODIS and ECOLIMAP land cover data sets at the African continental scale[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2011,13:207-219.
- [13] 胡云锋,张千力,戴昭鑫,等.多源遥感土地覆被产品在欧洲地区的一致性分析[J]. *地理研究*,2015,34(10):1839-1852. [Hu Y F, Zhang Q L, Dai Z X, et al. Agreement analysis of multi-sensor satellite remote sensing derived land cover products in the Europe Continent[J]. *Geographical Research*, 2015,34(10):1839-1852.]
- [14] 马京振,孙群,肖强,等.河南省 GlobeLand30 数据精度评价及对比分析[J]. *地球信息科学学报*,2016,18(11):1563-1572. [Ma J Z, Sun Q, Xiao Q, et al. Accuracy assessment and comparative analysis of GlobeLand30 dataset in Henan province[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2016,18(11):1563-1572.]
- [15] 许光明,杨雅萍,杨飞,等.多分辨率遥感土地覆被数据质量综合评价——以湖南省桃源县为例[J]. *地球信息科学学报*,2016,18(3):553-563. [Xu G M, Yang Y P, Yang F, et al. Quality assessment of multi-resolution remote sensing land cover data: A case study in Taoyuan county of Hunan province[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2016,18(4):553-563.]
- [16] 张健,濮励杰,陕永杰,等.海岸带土地开发利用及生态环境效应研究简述[J]. *长江流域资源与环境*,2012,21(1): 36-43. [Zhang J, Pu L J, Shan Y J, et al. Progress of the research on land exploitation and its use and eco-environmental effects of coastal zone[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2012,21(1):36-43.]
- [17] Halkos G, Matsiori S. Environmental attitudes and preferences for coastal zone improvements[J]. *Economic Analysis and Policy*, 2018,58:153-166.
- [18] Shi H, Singh A.全球海岸带环境问题现状和相互联系[J]. *AMBIO-人类环境杂志*,2003,32(2):145-152. [Shi H, Singh A. Status and interconnections of selected environmental issues in the global coastal zones[J]. *AMBIO- A Journal of the Human Environment*, 2003,32(2):145-152.]
- [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*, 2002,83:287-302.
- [20] An Y M, Zhao W W, Zhang Y H. Accuracy assessments of the GLOBCOVER dataset using global statistical inventories and FLUXNET site data[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012,32:314-320.
- [21] Li W, Ciaia P, MacBean N, et al. Major forest changes and land cover transitions based on plant functional types derived from the ESA CCI Land Cover product[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2016,47:30-39.
- [22] 俞乐,王杰,李雪草,等.基于多源数据集成的多分辨率全球地表覆盖制图[J]. *中国科学:地球科学*,2014,44(8): 1646-1660. [Yu L, Wang J, Li X C, et al. A multi-resolution global land cover dataset through multisource data aggregation[J]. *Science China: Earth Sciences*, 2014,57(10):2317-2329.]
- [23] Chen J, Chen J, Liao A P, et al. Global land cover mapping at 30 m resolution: A POK-based operational approach[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2015,103:7-27.
- [24] Sulla-Menashe D, Friedl M A. User guide to collection 6 MODIS land cover (MCD12Q1 and MCD12C1) product [C]. May 14, 2018.
- [25] UCLouvain, ESA. GLOBCOVER 2009 products description and validation report[C]. Feb 18, 2011.
- [26] UCL-Geomatics(Belgium), ESA. Land cover CCI prod-

- uct user guide version 2.0[C]. April 10, 2017.
- [27] 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.
- [28] 陈军,廖安平,陈晋,等.全球30 m地表覆盖遥感数据产品—GlobeLand30[J].*地理信息世界*,2017,24(1):1-8. [Chen J, Liao A P, Chen J, et al. 30-meter global land cover data product—GlobeLand30[J]. *Geomatics World*, 2017,24(1):1-8.]
- [29] 李晓迪,王淑民,张黎明,等.土壤数据源和制图比例尺对旱地土壤有机碳储量估算的影响[J].*土壤学报*,2016,53(1):58-71. [Li X D, Wang S M, Zhang L M, et al. Impacts of source of soil data and scale of mapping on assessment of organic carbon storage in upland soil[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2016,53(1):58-71.]
- [30] 宋宏利,张晓楠.中国区域多源土地覆被遥感产品精度分析与验证[J].*农业工程学报*,2012,28(22):207-214. [Song H L, Zhang X N. Precision analysis and validation of multi-sources landcover products derived from remote sensing in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012,28(22):207-214.]
- [31] Foody G M. Valuing map validation: The need for rigorous land cover map accuracy assessment in economic valuations of ecosystem services[J]. *Ecological Economics*, 2015,111:23-28.
- [32] 侯西勇,邸向红,侯婉,等.中国海岸带土地利用遥感制图及精度评价[J].*地球信息科学学报*,2018,20(10):1478-1488. [Hou X Y, Di X H, Hou W, et al. Accuracy evaluation of land use mapping using remote sensing techniques in coastal zone of China[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2018,20(10):1478-1488.]
- [33] 刘向培,王汉杰,何明元,等.三种土地覆盖遥感数据在中国区域的精度分析[J].*农业工程学报*,2012,28(24):252-259. [Liu X P, Wang H J, He M Y, et al. Precision analysis of three land-cover types in China region[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012,28(24):252-259.]