

引用格式: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.] DOI:10.12082/dqxxkx.2018.180184

中国海岸带土地利用遥感制图及精度评价

侯西勇^{1,2,3}, 邸向红^{1,2,3}, 侯婉^{1,2,3}, 吴莉^{1,2,3}, 刘静^{1,2,3}, 王俊惠^{1,3,4}, 苏红帆^{1,3}, 路晓^{1,2,3},
应兰兰^{1,2,3}, 于新洋^{1,3,4}, 毋亭^{1,2,3}, 朱明明^{1,2,3}, 韩磊^{1,2,3}, 李明杰^{1,2,3}

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; 4. 鲁东大学资源与环境工程学院, 烟台 264025

Accuracy Evaluation of Land Use Mapping Using Remote Sensing Techniques in Coastal Zone of China

HOU Xiyong^{1,2,3}, DI Xianghong^{1,2,3}, HOU Wan^{1,2,3}, WU Li^{1,2,3}, LIU Jing^{1,2,3}, WANG Junhui^{1,3,4}, SU Hongfan^{1,3},
LU Xiao^{1,2,3}, YING Lanlan^{1,2,3}, YU Xinyang^{1,3,4}, WU Ting^{1,2,3}, ZHU Mingming^{1,2,3}, HAN Lei^{1,2,3}, LI Mingjie^{1,2,3}

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; 4. School of Resources and Environmental Engineering, Ludong University, Yantai 264025, China

Abstract: Land use mapping using remote sensing techniques supplies essential datasets for scientific researches including global climate change, regional sustainable development and so on. The evaluation information on the accuracy of the land use mapping determines the integrity, reliability, usability, controllability and shareability of the land use maps obtained by the applications of remote sensing techniques. In this paper, the methods, processes and results of multiple temporal land use mapping for China's coastal zone using remote sensing techniques were overviewed, and the land use maps in 2010 and 2015 were selected for accuracy evaluation. The validation samples were collected based on Google Earth and the confusion matrices were established for the whole coastal zone and its sub-regions, respectively. Then, the overall accuracy and Kappa coefficient were calculated. Main findings are as follows: (1) Results of land use mapping in 2010 and 2015 using remote sensing techniques achieved high accuracy. For the entire coastal zone in China, the overall accuracy came to 95.15% and 93.98%, with the Kappa coefficients of 0.9357 and 0.9229 in 2010 and 2015, respectively. (2) The accuracy of land use mapping in China's coastal zone exhibited obvious regional differences. The best accuracy was found in the coastal area of Jiangsu province in 2010, and very high accuracy were found in the coastal area of Hebei-Tianjin, Shanghai city, Hainan province and Taiwan province in 2015, while the worst accuracy was found in the coastal area of Fujian province in both 2010 and 2015. (3) The accuracy of land use mapping in China's coastal zone exhibited obvious typological differences. The very high accuracy (both producer precision and user precision) were achieved for farmland, forest, grassland and saltwater wetlands, and the high accuracy for built-

收稿日期:2018-04-12;修回日期:2018-06-22.

基金项目:中国科学院战略性先导科技专项项目(XDA19060205、XDA11020305);国家自然科学基金项目(31461143032、40801016)。[**Foundation items:** The Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No. XDA19060205, XDA11020305; National Natural Science Foundation of China, No.31461143032, 40801016.]

作者简介: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、海岸带脆弱性评价、海岸带综合管理等方面研究。E-mail: xyhou@yic.ac.cn

up, freshwater wetlands and human made saltwater wetland, while the worst accuracy for unused land. (4) The misclassification between cultivated land and forest land, construction land and grassland is quite significant. Inland water bodies were easily misclassified into cultivated land, forest land and construction land. Artificial salt water wetlands were easily misclassified into cultivated land and construction land, and unused land. It was easy to mistakenly classify the unused land as cultivated land. These are the issues that should be paid more attention during the continuous update of the land use maps in the future. This study provides supports for the dynamic monitoring and scientific researches on coastal land use changes.

Key words: land use; remote sensing mapping; accuracy evaluation; coastal zone; China

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

摘要:土地利用遥感制图结果是支撑全球气候变化和区域可持续发展等领域科学研究不可或缺的重要基础数据,而制图精度方面的评价信息则决定土地利用遥感制图结果的完整性、可靠性、可用性、可控性和可传播性。本文概述2000、2005、2010和2015年多时相中国海岸带土地利用遥感制图的数据源和技术方法,针对2010年和2015年制图结果,基于Google Earth高分影像通过目视判读获得精度评价所需的参考数据,进而建立混淆矩阵并评估制图的精度。结果表明:①2010和2015年中国海岸带土地利用遥感制图结果的总体精度分别为95.15%和93.98%,Kappa系数分别为0.9357和0.9229,表明2个时相遥感制图结果的精度总体较好;②中国海岸带土地利用遥感制图结果的精度水平存在较为显著的区域差异,2010年时相江苏沿海区域的精度最高,2015年时相津冀沿海区域、上海市、海南省和台湾省的精度均比较高,2个时相均以福建省沿海区域的精度最低;③中国海岸带土地利用遥感制图结果的精度水平存在显著的类型差异,总体上,耕地、林地、草地和滨海湿地的分类精度较高,而建设用地、内陆水体和人工咸水湿地的分类精度则相对较低,未利用土地则是错分最严重的类型;④耕地与林地之间、建设用地与草地之间相互误分比较显著,内陆水体容易被错分为耕地、林地和建设用地,人工咸水湿地容易被误分为耕地和建设用地,未利用土地容易被误分为耕地,这些都是未来时期数据持续更新过程中应该重视的问题。本文有望为海岸带土地利用变化遥感监测和科学研究提供必要的支持。

关键词:土地利用;遥感制图;精度评价;海岸带;中国

1 引言

土地利用/覆盖变化(Land Use/Cover Change, LUCC)遥感监测是开展气候变化与人类活动及其相互作用等方面科学研究的重要基础^[1];20世纪80年代以来,该领域研究开始进入快速发展的阶段,如国际地圈与生物圈计划(IGBP)与全球变化人文因素计划(IHDP)在1993年联合制订土地利用/覆盖变化(LUCC)科学研究计划,又于2005年启动全球土地计划(GLP)^[2]。作为遥感对地观测技术发展的重要产物,土地利用/覆盖遥感分类结果已成为支撑全球变化和区域可持续发展等研究不可或缺的重要基础数据^[3],全球范围的科学家以及众多的国际组织发挥遥感技术的优势开展了一系列全球及区域尺度的土地利用/覆盖遥感制图研究,目前已经形成了众多的土地利用/覆盖数据产品^[4]。例如,针对全球尺度,美国地质调查局为国际地圈与生物圈计划建立IGBP DISCover数据集^[5],美国马里兰大学开发了全球土地覆盖数据(UMD数据集)^[6],欧盟联合研究中心制作了GLC数据集^[7],美国波士顿大学基于MODIS影像生产了MCD12Q1数据集^[8],欧

洲空间局制备了GlobCover数据集^[9]和CCI-LC数据集^[10],中国清华大学研制了FROM-GLC数据集^[11],中国国家基础地理信息中心制作了GlobeLand30数据集^[12]等。针对中国区域,较具代表性的工作有:中国科学院组织开展了全国范围以遥感手段为主的土地资源调查,建立了全国1:10万多时相土地利用数据库^[13-14]等。土地利用/覆盖遥感制图精度评价是正确使用遥感制图结果、发挥其巨大价值的前提和保证,因此受到国内外学者的高度重视。由于数据源、分类系统和分类方法不同,遥感制图结果差异显著;通过遥感制图精度评价,数据生产者可以不断改进方法获得更高质量的数据产品,数据使用者则可以分析数据的优劣从而做出正确的选择以及合理地使用数据来满足具体的应用需求^[15]。目前,常用的评估遥感制图精度的方法包括:野外实地验证(直接验证)、以更高分辨率的同类产品为真值进行对比验证(间接验证),以及二者相结合的验证方法^[16]。在地面真实值难以获取或难以与制图产品在时间上同步的情况下,间接验证是一种行之有效的验证方法,尤其是针对大范围区域的遥感制图。例如,对IGBP DISCover、UMD、GLC2000和

MCD12Q1 进行比较,结果表明其在数量和空间分布上的一致性较差^[17];以 Google Earth 高分影像为参考,评估和对比 IGBP DISCover、UMD、GLC2000、MCD12Q1 和 GlobCover2005 在中国区域及其周边范围的精度特征,发现 GLC2000 的总体精度和 Kappa 系数最高、GlobCover2005 的总体精度和 Kappa 系数最低^[18]。将中国 1:10 万土地利用数据 CHINA 2010 与 30 m 分辨率的 GlobLand30 数据,针对中国河南省进行对比,表明 GlobLand30 与 CHINA 2010 的空间一致性高达 80.20%^[19]。

城市、人口和经济等要素高度聚集的海岸带区域是全球变化等领域科学研究的重要“窗口”。中国海岸带自 20 世纪 80 年代以来经历了明显的变化,因此针对中国海岸带开展长时间序列的土地利用动态遥感监测具有重要的科学意义。本文简要回顾和总结研究组针对中国海岸带区域所开展的土地利用遥感分类系统调整、数据修改与更新工作,在此基础上,针对 2010 年和 2015 年中国海岸带土地利用遥感制图结果,基于 Google Earth 高分影像建立参考数据并进行精度评价。通过研究,旨在为后续的海岸带土地利用变化、生态系统评估等相关领域的科学研究和数据共享等提供必要的信息与支持。

2 土地利用数据制备与精度分析方法

2.1 多期土地利用遥感制图的技术方法

中国海岸带区域南北及东西跨度大,气候、地貌、植被、土壤、水文以及人类活动等因素都存在着非常显著的空间差异,而且与内陆区域相比也有其突出的独特性,因此自 2009 年以来陆续开展了如下研究工作:① 针对山东沿海,尤其是黄河三角洲和胶东半岛区域,开展了多目的的野外调查和考察,土地利用是历次野外调查和考察的重要研究目标之一,并在此基础上开展了区域性的海岸带多时相土地利用遥感制图工作;② 通过文献分析,总结和评估已有的能够覆盖整个中国沿海区域的土地利用遥感制图产品,确定以中国科学院地理科学与资源研究所建立的多时相 1:10 万比例尺中国土地利用数据库^[13,20-21]为基础开展中国海岸带土地利用数据制备和变化特征研究;③ 强调中国海岸带区域自

然环境、人类活动以及土地资源的特殊性,综合国内外相关研究成果,对多时相 1:10 万比例尺土地利用数据的分类系统进行必要的调整,得到中国海岸带土地利用遥感分类系统(表 1)^[22-23];④ 从 2000 年 1:10 万比例尺中国土地利用数据中提取出中国沿海区域的数据,对照 2000 年成像的 Landsat 卫星影像,按照中国海岸带土地利用遥感分类系统进行目视判读,修改图斑边界及属性,得到 2000 年中国海岸带土地利用数据^[22,24];⑤ 对照 2005 年成像的 Landsat 卫星影像修改 2000 年中国海岸带土地利用数据,进行目视判读,通过变化区域图斑勾绘和代码赋值建立 2005 年中国海岸带土地利用数据,依次类推、顺次更新,获得 2010 年和 2015 年中国海岸带土地利用数据;⑥ 2000 年数据修改以及 2005、2010 和 2015 年数据顺次更新,在土地利用类型遥感判读和 GIS 制图规范等方面遵循 1:10 万比例尺的技术要求;⑦ 遥感制图范围以中国沿海地级市为主体^①,兼顾鞍山、德州、临沂、湖州、佛山和玉林 6 个不临海但辖区距海很近的地级市。截至 2017 年,完成了 2000、2005、2010 和 2015 年 4 个时相的中国海岸带土地利用遥感制图工作(图 1),数据图斑数量分别多达 41.33、43.17、42.82 和 42.01 万。

表 1 中国海岸带土地利用遥感分类系统

Tab. 1 Land use hierarchy for China's coastal zone based on remote sensing techniques

一级类型 (编码+名称)	二级类型 (编码+名称)
1 耕地	11 水田;12 旱地
2 林地	21 有林地;22 疏林地;23 灌木林地;24 其他林地
3 草地	31 高覆盖度草地;32 中覆盖度草地;33 低覆盖度草地
4 建设用地	41 城镇用地;42 农村居民点;43 独立工矿及交通用地
5 内陆水体	51 河渠;52 湖泊;53 水库坑塘;54 滩地
6 滨海湿地	61 滩涂;62 河口水域;63 河口三角洲湿地;64 沿海潟湖;65 浅海水域
7 人工咸水湿地	71 盐田;72 养殖
8 未利用地	81 未利用地

2.2 土地利用数据精度分析的技术途径

随着遥感技术的不断发展和数据开放共享的逐渐推进,已经有越来越多的中、高分辨率卫星影

① 制图范围:早期的研究工作是以“大陆海岸带(沿海)”为重点,因而未包含海南省和台湾省,后续进行了补充;二级类型中的“浅海水域”仅通过光学遥感技术难以确定其具体范围,因而早期数据产品缺少这一类型,导致海部边界不固定,后期以-10 m 等深线和离岸 10 km 缓冲区为依据,取二者的并集建立了固定的海域边界,因此数据产品中实际上是“浅海/近海水域”。

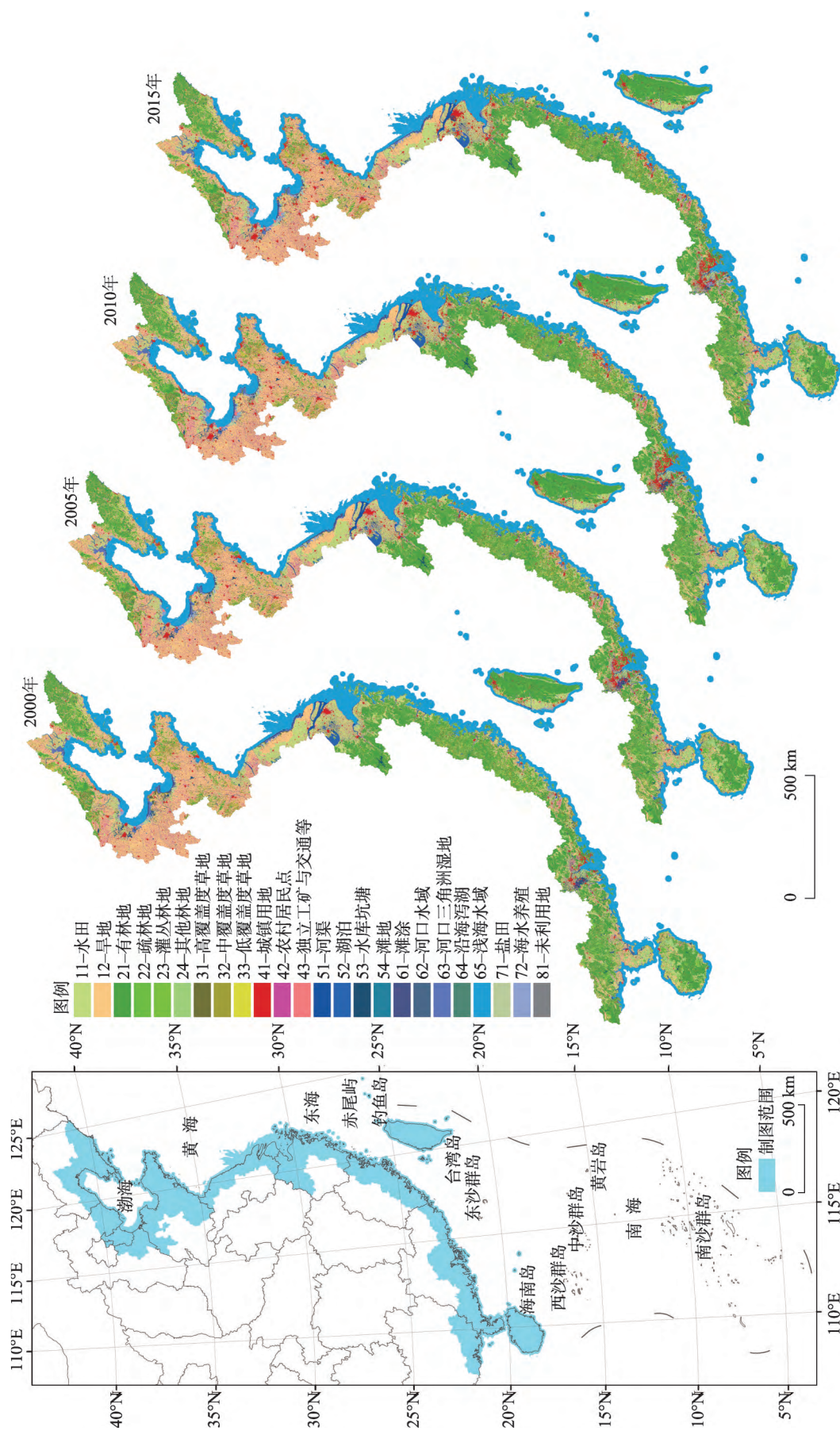


图1 中国海岸带多时相土地利用遥感制图结果
Fig. 1 Land use maps in multiple years in China's coastal zone based on remote sensing techniques

像数据实现了共享,很好地满足了各种各样与日俱增的需求。2005年,Google公司推出Google Earth (GE)虚拟地球软件^[25],实时为用户提供覆盖全球的高分影像数据,这一数据资源迅速成为中低分辨率(30 m~1 km)土地利用/覆盖遥感制图精度评价的有效参考数据。为此,设置采样点,基于Google Earth高分影像建立中国海岸带土地利用遥感制图精度评价的参考数据集。验证样本采集及制图精度评价的技术流程如图2所示。具体过程包括:①中国海岸带土地利用分类系统确定与多时相遥感制图,主要通过Landsat卫星影像假彩色合成、土地利用类型目视判读、变化图斑勾绘与编码、多时相数据顺次更新的技术途径获得4个年份的土地利用分类结果;②利用ArcGIS中的Generate工具,在

不同的行政区内按照不同的采样间距生成采样点,其中2010年共计13 013个样点,2015年共计16 418个样点(表2);③将采样点图层与土地利用遥感制图结果进行叠加分析,获得每个样点位置2010年和2015年的土地利用遥感分类结果;④将采样点图层转换为KML文件,进而将其加载至Google Earth中,根据Google Earth高分影像目视判读每个采样点的土地利用类型,其中,针对2010年数据的样本采集时间为2011-2012年,针对2015年数据的样本采集时间为2015-2016年;⑤针对整个中国海岸带以及分行政区空间范围,分别进行土地利用类型的一致性检验,在8个一级类型层面建立混淆矩阵并计算精度水平,获得土地利用遥感制图精度评估结果。

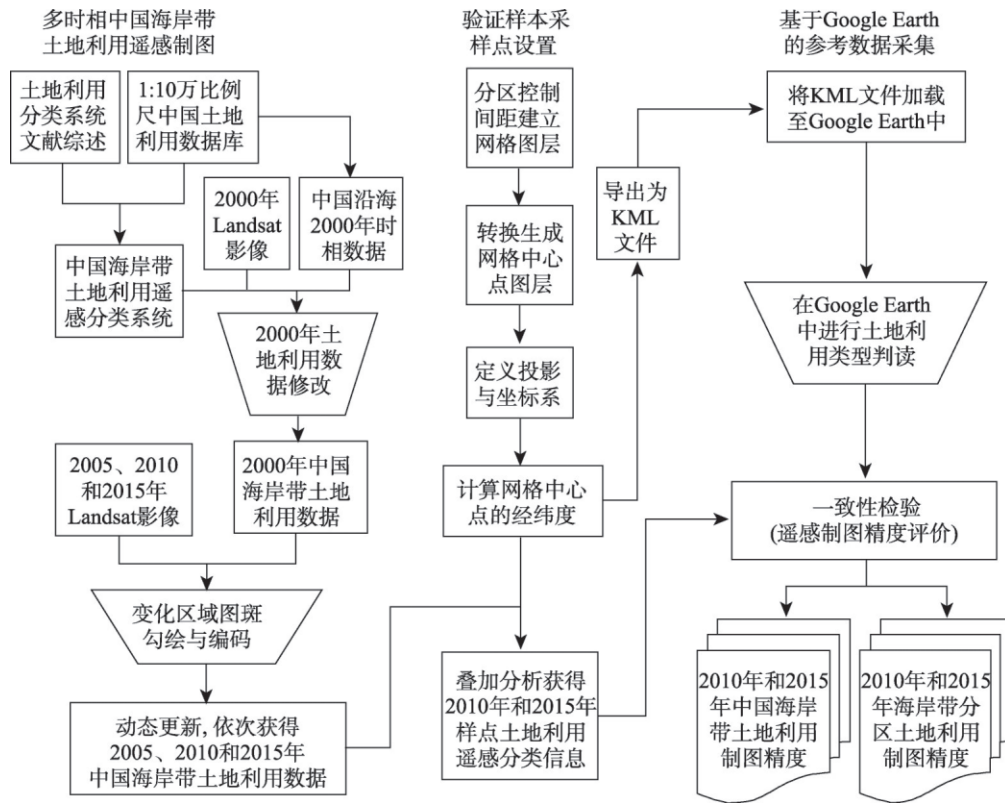


图2 中国海岸带土地利用遥感制图及精度评价的技术流程

Fig. 2 Technical approaches of land use mapping and accuracy evaluation for China's coastal zone

表2 不同行政区域的采样间距及样点数量

Tab. 2 Spacing and amounts of sampling points in each administrative region

行政区域	辽宁	河北	天津	山东	江苏	上海	浙江	福建	广东	广西	海南	港澳	台湾	合计
采样间距/km	7	7	5	7	7	4.5	8	7	7	6	6	2	10	
2010年采样点数量/个	1358	730	500	1410	1098	500	1163	1117	1772	1000	1311	500	554	13013
2015年采样点数量/个	1780	1019	474	2445	1318	578	1463	1304	2397	1123	1311	652	554	16418

2.3 土地利用数据分类精度计算的方法

土地利用遥感制图精度评价是一项非常重要的工作,一般主要从面积一致性和空间一致性2个方面进行考察^[26-27]。面积一致性强调数量方面的精度,用于验证待评价数据各类别的数量是否与参考数据对应类别的数量一致^[28],多采用一致性系数^[29]或相关系数^[30]来表征;空间一致性是将特定位置的分类结果和参考数据相应点的类别进行比较,多采用混淆矩阵来度量^[31]。本研究基于较大数量的样本数据,针对土地利用遥感制图的空间一致性进行定量评价,具体方法如下:

混淆矩阵是 n 行 n 列的矩阵, n 为类别数;矩阵列方向依次为实际类别的第1类、第2类、...、第 n 类的代码或名称,矩阵行方向依次为制图类别的第1类、第2类、...、第 n 类的代码或名称;矩阵中的元素是各类别的样点数^[32]。总体精度等于被正确分类的样点总和除以总样点数,被正确分类的样点数沿混淆矩阵的对角线分布;生产者精度是被正确分类样点数占参考数据样点数的百分比,描述待评价数据与参考数据的一致性;用户精度描述待评价数据中被正确分类样点所占的百分比,从用户角度描述数据的可用程度。总体精度、生产者精度和用户精度的不足在于样点类别的小变动即可能导致其较大的变化,而Kappa系数则能够更全面地反映制图结果的分类精度^[33]。计算公式如下:

$$O = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ii}}{N} \quad (1)$$

$$P = \frac{x_{ii}}{x_{+i}} \quad (2)$$

$$U = \frac{x_{ii}}{x_{i+}} \quad (3)$$

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^n x_{ii} - \sum_{i=1}^n x_{i+} x_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^n x_{i+} x_{+i}} \quad (4)$$

式中: O 是总体精度; P 是生产者精度; U 是用户精度; N 是用于精度评价的总样点数; n 为混淆矩阵中的总列数; x_{ii} 为混淆矩阵中第 i 行、第 i 列上样点数; x_{i+} 和 x_{+i} 分别是第 i 行和第 i 列的总样点数; K 是Kappa系数。

3 精度评价结果与分析

3.1 分区层面的制图精度

在沿海省、区、市层面对2010年和2015年中国

海岸带土地利用遥感制图的结果进行精度评价,针对8个一级土地利用类型,基于遥感分类结果和Google Earth采样信息建立混淆矩阵,计算总体精度和Kappa系数,汇总各行政区的计算结果如表3所示。可见:①各个分区2010年和2015年的土地利用遥感分类结果的精度均比较高,2010年精度水平总体上略优于2015年。②2010年各分区的总体精度普遍大于95%,Kappa系数普遍大于0.94;江苏沿海区域土地利用分类结果的精度最高,总体精度达97.45%,Kappa系数达0.9641;福建沿海区域土地利用分类结果的精度最低,总体精度为92.57%,Kappa系数为0.8839。③2015年各分区总体精度普遍大于94%,Kappa系数普遍大于0.93;上海、台湾、海南以及津冀沿海区域土地利用分类结果的精度最高,总体精度均大于95.30%,Kappa系数均大于0.9340;福建沿海区域土地利用分类结果的精度仍为各个分区中的最低水平,总体精度为90.95%,Kappa系数仅为0.8714。④福建沿海地貌类型及其格局比较复杂,地形起伏剧烈,主要受此影响,30m分辨率卫星影像中混合像元占比高,以其为主要数据源进行土地利用目视解译具有较高的不确定性。

3.2 海岸带整体的制图精度

针对整个中国海岸带区域2010年和2015年土地利用遥感制图结果进行精度评价,在8个一级土地利用类型层面,基于遥感分类结果和Google Earth采样信息建立混淆矩阵,进而计算总体精度和Kappa系数,如表4、5所示。可见:①2010年分类

表3 分区层面中国海岸带土地利用遥感制图的精度

Tab. 3 Accuracy of land use mapping in each administrative region in China's coastal zone

分区 编号	所属的 行政区	2010年		2015年	
		总体精度/%	Kappa系数	总体精度/%	Kappa系数
1	辽宁	95.06	0.9318	94.83	0.9332
2	津冀	94.39	0.9110	95.71	0.9348
3	山东	93.90	0.8991	95.17	0.9288
4	江苏	97.45	0.9641	94.69	0.9280
5	上海	95.20	0.9331	95.33	0.9374
6	浙江	95.96	0.9430	94.81	0.9317
7	福建	92.57	0.8839	90.95	0.8714
8	广东	93.12	0.8996	90.99	0.8809
9	广西	96.90	0.9523	92.43	0.8917
10	海南	97.40	0.9606	95.65	0.9342
11	港澳	96.20	0.9408	94.02	0.9180
12	台湾	96.39	0.9500	95.30	0.9349

表4 2010年中国海岸带土地利用遥感制图混淆矩阵

Tab. 4 Confusion matrix of land use mapping in China's coastal zone in 2010

分类数据	标准数据								行总数	用户精度/%
	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	4103	102	33	83	26	4	19	3	4373	93.83
2	88	4170	7	15	8	1	0	2	4291	97.18
3	32	10	671	4	5	0	3	3	728	92.17
4	39	17	2	1484	7	4	10	1	1564	94.88
5	11	5	5	6	664	3	7	2	703	94.45
6	2	5	1	2	0	901	3	0	914	98.58
7	7	1	1	5	3	0	335	2	354	94.63
8	12	9	0	3	0	6	1	55	86	63.95
列总数	4294	4319	720	1602	713	919	378	68		
生产者精度/%	95.55	96.55	93.19	92.63	93.13	98.04	88.62	80.88		
总体精度/%	95.16			Kappa系数		0.9357				

注:土地利用类型编码请参考表1

表5 2015年中国海岸带土地利用遥感制图混淆矩阵

Tab. 5 Confusion matrix of land use mapping in China's coastal zone in 2015

分类数据	标准数据								行总数	用户精度/%
	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	4424	231	5	173	26	2	6	1	4868	90.88
2	107	4117	5	48	11	10	6	2	4306	95.61
3	31	4	723	23	4	7	4	4	800	90.38
4	58	42	9	1587	17	10	4	2	1729	91.79
5	29	14	8	18	625	3	6	2	705	88.65
6	3	8	2	3	0	3559	1	0	3576	99.52
7	2	0	0	5	2	2	350	0	361	96.95
8	16	4	1	2	0	5	0	45	73	61.64
列总数	4670	4420	753	1859	685	3598	377	56		
生产者精度/%	94.73	93.14	96.02	85.37	91.24	98.92	92.84	80.36		
总体精度/%	93.98			Kappa系数		0.9229				

注:土地利用类型编码请参考表1

结果的总体精度为95.16%, Kappa系数为0.9357;

② 2015年分类结果的精度水平略低于2010年,但总体精度和Kappa系数仍然分别高达93.98%和0.9229;③ 总的来说,2010年和2015年中国海岸带土地利用遥感制图结果的精度水平均比较高。

3.3 制图精度的类型差异

分析遥感制图结果与Google Earth验证样本之间的混淆特征以及错误样点的数量分布特征(图3、4),可以发现:2010年和2015年,林地和滨海湿地的生产者精度与用户精度均超过93%,这是由于林地主要分布于地势较高的区域,色调和纹理特征显著,目视解译比较容易判读;而滨海湿地主要位于

大陆海岸线附近,解译标志亦比较明显,与其他地类之间的边界清晰。

耕地是中国海岸带区域最主要的用地类型之一,2010年和2015年耕地制图精度均超过94%,表明遥感分类结果比较理想,其误差主要表现为误分成林地、建设用地、草地、内陆水体和未利用地。由于耕地农作物与林地或草地光谱特征接近,加之我国海岸带区域耕地分布、农作物类型及熟制南北方差异巨大,耕地-林地、耕地-草地、耕地(水田)-内陆水体、耕地-未利用地的混分现象比较显著。耕地误分为建设用地的样点多分布于城乡建设用地的周边,耕地与建设用地空间分布呈现“犬牙交错”的复杂格局特征,在30 m空间分辨率卫星影像中存

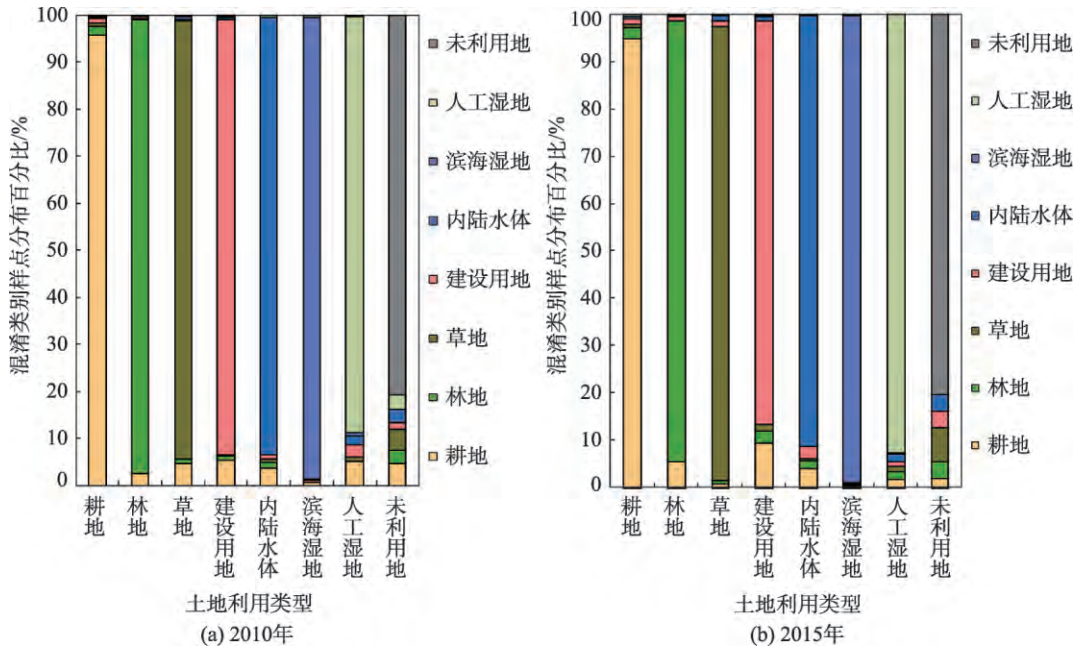


图3 土地利用遥感制图与 Google Earth 验证样本混淆特征

Fig. 3 Confusions between remote sensing based land use map and Google Earth based samples in 2010 and 2015

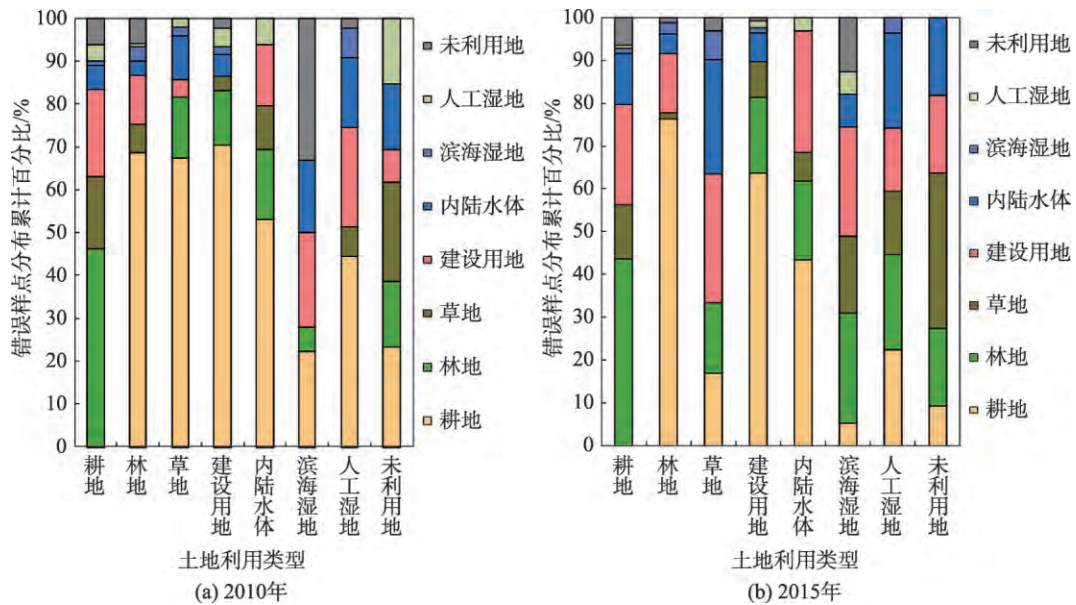


图4 土地利用遥感制图错误样点统计特征

Fig. 4 Statistical characters of misclassified samples of land use mapping in 2010 and 2015

在大量的混合像元,导致目视解译过程中对耕地-建设用地的共有边界判断不准确,出现明显的错分问题。

内陆水体的分类精度总体上也比较高,其误差主要表现为错分成耕地(水田)、林地和建设用地,误分的可能原因包括:内陆水体水面受季节和降水因素影响较为显著,丰枯变化导致季节性的农作物

种植或其他植被分布,周期性淹没的区域也经常有耐水湿乔木分布;城乡周边与建设用地毗邻的水体,其边界形状受人为影响而趋于复杂化,在 30 m 空间分辨率卫星影像中水体与建设用地的混合像元大量分布,导致明显的错分问题。

人工咸水湿地类型中较多的样点被错分为耕地或建设用地,与其他地类相比制图精度偏低。错

分为耕地(尤其是水田)的样点大多分布于入海河流的河口三角洲区域以及养殖池附近;滨海城市受到土地资源紧缺的制约,在城市化和工业化过程中,人工咸水湿地比开阔的滩涂湿地和浅海水域更容易被侵占,因此,很多区域人工咸水湿地与建设用地相邻分布,在30 m空间分辨率卫星影像中混合像元大量分布,导致明显的错分问题。

未利用地的分类错误率最高,生产者精度与用户精度均为最低。其误差主要表现为与耕地、林地和建设用地之间相互混淆和误分。中国海岸带区域人类活动的广度和深度均比较显著,长期闲置的未利用地较为少见,在土地利用方式变化较为频繁的区域,常有短期的、暂时性的未利用地,这种“暂时性”特征容易导致错分;另外,滩涂湿地被围垦的过程产生大量的新增未利用地,围垦方式、围垦阶段以及潮位的影响,也导致某些区域的错分。

归纳土地利用类型间的混分与错分,主要包括自然植被与农作物(耕地)之间、人工水体与天然湿地之间以及城乡结合部多种地类的混合像元等几种情形,有鉴于此,提出消减混分和错分、降低不确定性的可能途径,主要包括:①充分利用一年之内不同生长季的卫星影像,借助植被物候特征信息降低林地、草地、耕地等之间以及多种类型植被覆盖与建设用地之间的混分;②充分利用一年之内不同水文周期的卫星影像,借助不同季节陆地水体的丰枯变化以及海岸带不同潮位所对应的影像差异,提高各种水体的分类精度;③尝试中高分辨率卫星影像相结合,降低地貌类型复杂、地形起伏剧烈和景观格局复杂等因素所导致的不确定性。

4 结论与讨论

本文概述了在1:10万比例尺中国土地利用数据库中2000年时相数据的基础上进行2000年以来4个时相中国海岸带土地利用数据制备的技术途径和过程,在此基础上,针对2010年和2015年的数据产品,设置大量的采样点,从Google Earth中获取采样点的土地利用类型作为参考数据,用于对2个时相的遥感制图结果进行精度评价。主要结论如下:

(1)以时间序列的Landsat多波段卫星影像为主要数据源,采用目视判读、图斑勾绘与编码以及时序动态更新的技术途径进行多时相中国海岸带

土地利用遥感制图,这一技术方案能够获得精度较优的多时相土地利用分类数据产品,在支持中国海岸带土地利用变化监测和研究方面是行之有效的。

(2)基于Google Earth获取采样信息,进而在8个一级类型层面评价2010年和2015年中国海岸带土地利用遥感制图结果的精度水平,结果表明:2010年和2015年总体精度分别为95.16%、93.98%,Kappa系数分别为0.9357、0.9229;制图精度整体较高,但存在较为显著的空间差异性。

(3)中国海岸带多时相土地利用遥感制图的精度水平存在显著的类型差异特征,总的来说:耕地、林地、草地和滨海湿地的分类精度均比较高;建设用地、内陆水体和人工咸水湿地的分类精度则相对较低;未利用地很容易被误分为耕地、林地和建设用地,是海岸带区域错分问题最突出的类型。

(4)总结未来时期海岸带土地利用数据持续更新需要重视的问题,主要有:耕地与林地、建设用地、草地、内陆水体等类型之间比较显著的混分现象,内陆水体被错分为耕地(水田)、林地和建设用地,人工咸水湿地被误分为耕地(水田)和建设用地,严重且复杂的未利用地的错分问题等。

(5)提出克服土地利用之间混分与错分,降低目视解译不确定性的技术途径,主要包括:充分利用一年之内不同生长季以及不同水文周期的卫星影像,尝试中高分辨率卫星影像相结合。

综上所述,本文介绍了2000年以来4个时相中国海岸带土地利用遥感分类数据的建立过程以及其中2010年和2015年时相数据的精度评价方法和评价结果信息,对于推进该科学数据集的推广和应用价值提升具有一定的意义,对于未来时期中国海岸带多时相土地利用数据持续更新过程中的精度提高和质量控制也将具有一定的指导意义。

致谢:诚挚感谢刘纪远研究员、徐新良研究员、王庆教授、李秀彬研究员、张安定教授、郭笃发教授、牛振国研究员、何洪林研究员、李志教授、李春晖博士、常军博士通过参加研究生开题和中期报告会、毕业答辩会等过程对“中国海岸带土地利用数据”研发过程中相关的技术方法、经验技巧以及数据产品应用等问题给予宝贵的意见和建议。非常感谢于良巨、常远勇、王远东、陈晴、宋洋、李晓炜、方晓东、王晓利、张玉新、李卉、李瑞泽、张春艳等在野外考察与调查、卫星影像下载和处理、统计资料整理等过程中所做出的工作和贡献。

参考文献(References):

- [1] 冉有华,李新.全球第一个综合高分辨率土地覆盖图——中国30 m分辨率全球土地覆盖图评述[J].中国科学:地球科学,2015,45(8):1243-1244. [Ran Y H, Li X. First comprehensive fine-resolution global land cover map in the world from China: Comments on global land cover map at 30- m resolution[J]. Science China: Earth Sciences, 2015,45(8):1243-1244.]
- [2] 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.]
- [3] 廖顺宝,刘睿,尹芳.全国1:25万土地覆被遥感制图精度在内蒙古东部的实地验证[J].地理研究,2011,30(3):555-563. [Liao S B, Liu R, Yin F. Validation for accuracy of land cover remote sensing mapping of China at scale of 1: 250 000 in East Inner Mongolia[J]. Geographical Research, 2011,30(3):555-563.]
- [4] 华文剑,陈海山,李兴.中国土地利用/覆盖变化及其气候效应的研究综述[J].地球科学进展,2014,29(9):1025-1036. [Hua W J, Chen H S, Li X. Review of land use and land cover change in China and associated climatic effects [J]. Advances in Earth Science, 2014,29(9):1025-1036.]
- [5] Loveland T R, Reed B C, Brown J F, et al. Development of a global land cover characteristics database and IGBP DIS Cover from 1 km AVHRR data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000,21(6-7):1303-1330.
- [6] 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.
- [7] Bartholomé E, Belward A S. GLC2000: A new approach to global land cover mapping from Earth observation data [J]. International Journal of Remote Sensing, 2005,26(9): 1959-1977.
- [8] 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.
- [9] 宁佳,张树文,蔡红艳,等. MODIS 和 GLOBCOVER 全球土地覆盖数据集对比分析——以黑龙江流域为例[J].地球信息科学学报,2012,14(2):240-249. [Ning J, Zhang S W, Cai H Y, et al. A comparative analysis of the MODIS land cover data sets and Globcover land cover data sets in Heilongjiang Basin[J]. Journal of Geo- information Science, 2012,14(2):240-249.]
- [10] Li W, Ciais 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.
- [11] 宫鹏,张伟,俞乐,等.全球地表覆盖制图研究新范式[J].遥感学报,2016,20(5):1002-1016. [Gong P, Zhang W, Yu L, et al. New research paradigm for global land cover mapping [J]. Journal of Remote Sensing, 2016,20(5):1002-1016.]
- [12] Chen X H, Cao X, Liao A P, et al. Global mapping of artificial surface at 30-m resolution[J]. Science China: Earth Sciences, 2016,59:2295-2306.
- [13] 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]. Acta Geographica Sinica, 2014,69(1):3-14.]
- [14] Ning J, Liu J Y, Kuang W H, et al. Spatiotemporal patterns and characteristics of land-use change in China during 2010-2015[J]. Journal of Geographical Sciences, 2018,28 (5):547-562.
- [15] 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.]
- [16] 卢玲,李新,董庆罕,等. SPOT4-VEGETATION 中国西北地区土地覆盖制图与验证[J].遥感学报,2003,7(3):214-220. [Lu L, Li X, Dong Q H, et al. The mapping and validation of land cover in Northwest China from SPOT4-VEGETATION[J]. Journal of Remote Sensing, 2003,7(3): 214-220.]
- [17] McCallum I, Obersteiner M, Nilsson S, et al. A spatial comparison of four satellite derived 1 km global land cover datasets[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2006,8:246-255.
- [18] 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.]
- [19] 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.]

- [20] 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-Earth Sciences)*, 2003,46(4):373-384.
- [21] 刘纪远,张增祥,庄大方,等. 20世纪90年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J]. *地理研究*, 2003,22(1): 1-12. [Liu J Y, Zhang Z X, Zhuang D F, et al. A study on the spatial-temporal dynamic changes of land-use and driving forces analyses of China in the 1990s[J]. *Geographical Research*, 2003,22(1):1-12.]
- [22] 邸向红. 21世纪初期中国海岸带区域土地利用变化特征研究[D]. 北京:中国科学院大学, 2013. [Di X H. Characteristics of land use change in China's coastal zone in the early 21st century[D]. Beijing: The University of Chinese Academy of Sciences, 2013.]
- [23] 邸向红,侯西勇,吴莉. 中国海岸带土地利用遥感分类系统研究[J]. *资源科学*, 2014,36(3):463-472. [Di X H, Hou X Y, Wu L. Land use classification system for China's coastal zone based on remote sensing[J]. *Resources Science*, 2014,36(3):463-472.]
- [24] Di X H, Hou X Y, Wang Y D, et al. Spatial-temporal characteristics of land use intensity of coastal zone in China during 2000-2010[J]. *Chinese Geographical Science*, 2015,25(1):51-61.
- [25] 刘佳,王利民,滕飞,等. Google Earth 影像辅助的农作物面积地面样方调查[J]. *农业工程学报*, 2015,31(24):149-154. [Liu J, Wang L M, Teng F, et al. Crop area ground sample survey using Google Earth image-aided[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015,31(24):149-154.]
- [26] 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.
- [27] Yang Y K, Xiao P F, Feng X Z, et al. Accuracy assessment of seven global land cover datasets over China[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2017,125:156-173.
- [28] 王蕾,王鹏新,田苗,等. 效率系数和一致性指数及其在干旱预测精度评价中的应用[J]. *干旱地区农业研究*, 2016, 34(1):229-251. [Wang L, Wang P X, Tian M, et al. Application of the coefficient of efficiency and index of agreement on accuracy assessment of drought forecasting models[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2016,34(1):229-251.]
- [29] 牛振国,单玉秀,张海英. 全球土地覆盖 GlobCover2009 数据中的中国区域湿地数据精度评价[J]. *湿地科学*, 2012, 10(4):389-395. [Niu Z G, Shan Y X, Zhang H Y. Accuracy Assessment of Wetland Categories from the GlobCover2009 Data Over China[J]. *Wetland Science*, 2012,10(4): 389-395.]
- [30] 冉有华,李新,卢玲. 四种常用的全球1km土地覆盖数据中国区域的精度评价[J]. *冰川冻土*, 2009,31(3):490-500. [Ran Y H, Li X, Lu L. Accuracy evaluation of the four remote sensing based land cover products over China[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2009,31(3):490-500.]
- [31] 蒋璐媛,肖鹏峰,冯学智,等. 基于亚分数混淆矩阵的中国典型区大尺度土地覆盖数据集评价[J]. *遥感技术与应用*, 2015,30(2):353-363. [Jiang L Y, Xiao P F, Feng X Z, et al. Assessment of Large-scale land cover datasets in Typical Areas of China based on sub-fractional error matrix[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2015,30(2):353-363.]
- [32] 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.
- [33] 许文宁,王鹏新,韩萍,等. Kappa系数在干旱预测模型精度评价中的应用——以关中平原的干旱预测为例[J]. *自然灾害学报*, 2011,20(6):81-86. [Xu W N, Wang P X, Han P, et al. Application of Kappa coefficient to accuracy assessments of drought forecasting model: A case study of Guanzhong Plain[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2011,20(6):81-86.]