

引用格式: 赖晨曦, 闫慧敏, 杜文鹏, 等. 全球土地覆被数据集中哈萨克斯坦草地分布的异同及其成因[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(3): 372-383. [Lai C X, Yan H M, Du W P, et al. The variations and causes of grassland distribution in Kazakhstan from the global land cover datasets[J]. Journal of Geo-information Science, 2019, 21(3): 372-383.] DOI: 10.12082/dqxxkx.2019.180518

全球土地覆被数据集中哈萨克斯坦草地分布的异同及其成因

赖晨曦^{1,2}, 闫慧敏^{2,3*}, 杜文鹏^{2,3}, 胡云锋^{2,3}

1. 长安大学地球科学与资源学院, 西安 710054; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;
3. 中国科学院大学, 北京 100049

The Variations and Causes of Grassland Distribution in Kazakhstan from the Global Land Cover Datasets

LAI Chenxi^{1,2}, YAN Huimin^{2,3*}, DU Wenpeng^{2,3}, HU Yunfeng^{2,3}

1. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Affected by social institutional transformation and climate change, Kazakhstan is the most significant country with ecological degradation and grass-livestock contradiction in Central Asia. Over the past century, the distinct characteristics of various grassland ecosystems have changed due to agricultural reclamation, changes in grazing patterns, and climate change in Kazakhstan. Therefore, it is important to study the process and mechanisms of grassland degradation in Kazakhstan in order to understand the responses of grassland ecosystems to climate change and human activities in Central Asia. These findings may also support regional ecological sustainable development in the construction of green silk roads. Ecological change research is based on the land cover statistics. However, there are significant differences between the current widely-used global data sets, leading to uncertainty in the understanding of ecological variation and the simulation of future change. This study compared the similarities and differences of grassland distribution using five types of global land cover data (UMD 1992-1993, MCD12Q1 2001, GLC 2000, CCI-LC 2000, Glob Cover 2005). Grassland type identification, consistency of spatial distribution and the cause of spatial distribution variation were used to provide the basis for selection of land cover datasets in Kazakhstan. Results showed that: ① the primary cause of differences in grassland definitions were differing remote sensing data sources, ancillary data, classification methods, verification methods, and data within the five data sets. The MCD12Q1 data had the largest difference in grassland distribution area; ② the area of grassland distribution overlaps within the five data sets (complete consistency) or within the four data sets (high consistency) accounted for only 39.66% of the total, which were mainly located in the typical grassland and part of the semi-desert grassland. The spatial consistency gradually

收稿日期: 2018-10-13; 修回日期: 2018-12-13.

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(A类)资助(XDA20010202); 国家重点研发项目(2016YFC 05037000). [**Foundation items:** The Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No.XDA20010202; National Key Research and Development Program of China, No.2016YFC0503700.]

作者简介: 赖晨曦(1994-), 男, 江西宜春人, 硕士, 主要从事生态环境遥感研究. E-mail: laicjxycja@126.com

*通讯作者: 闫慧敏(1974-), 女, 内蒙古锡林郭勒盟人, 副研究员, 主要从事土地利用变化及其生态环境效应研究。

E-mail: yanhm@igsnrr.ac.cn

decreased from the inside to the outside around the typical grassland distribution zone. An inconsistent zone within the five data sets accounted for 26.78%, mainly located in the desert grassland; ③ CCI-LC2000 data had the highest areas of overlap compared to other types of data. There were 76% of the grassland overlapped with areas of complete consistency or high consistency in the five data sets. In the inconsistent areas, the most easily confused land cover types were mainly rainfed cropland, irrigated cropland, mosaic cropland and natural vegetation, bare areas and shrub land.

Key words: global land cover data; grassland resources; spatial consistency; type confusion; Kazakhstan

***Corresponding author:** YAN Huimin, E-mail: yanhm@igsnr.ac.cn

摘要:受社会制度变迁和气候变化的影响,哈萨克斯坦是中亚地区生态退化和草畜矛盾问题最为突出的国家。近百年来,放牧方式的改变、农业开垦的占用、加之暖干化的气候变化影响,使得哈萨克斯坦各类草地生态系统变化的时空格局具有鲜明的特点。因此,研究哈萨克斯坦草地退化的过程与机制对认识中亚地区草地生态系统对气候变化和人类活动的响应尤为重要,也是对绿色丝路建设过程中区域生态可持续发展的科学支撑。土地覆被数据是生态变化研究的基础数据,但目前广泛使用的各套全球数据集间往往存在很大的差异,这会导致对生态变化成因的认知以及对未来变化的模型模拟产生更大的不确定性。本研究从对草地类型识别的定义、空间分布的一致性和空间分布差异的原因3方面对比5类全球土地覆被数据(UMD 1992–1993、MCD12Q1 2001、GLC 2000、CCI-LC 2000、Glob Cover 2005)中哈萨克斯坦草地分布的异同,以期为哈萨克斯坦的相关研究中土地覆被数据集的选择提供依据。研究结果表明:①分类系统对草地类型的界定、遥感数据源、辅助分类数据、分类方法、验证数据和方法的不同是5套数据草地资源分布差异的主要原因,其中MCD12Q1数据与其他4套数据的草地分布面积相差最大;②5套数据中草地分布都重叠(完全一致)或四套数据重叠(高度一致)的区域仅占39.66%,主要位于哈萨克斯坦典型草原带和部分半荒漠草原带;围绕典型草地分布区,空间一致性由内向外逐渐降低。5套数据完全不一致区域占26.78%,主要位于荒漠草原带;③CCI-LC2000数据与其他几类数据的重叠区域最高,有76%的草地与5套数据的完全一致以及高度一致区重叠;在分布不一致区域中,极易造成混淆的土地覆被类型主要为旱作耕地、灌溉耕地、耕地与自然植被镶嵌体、裸地以及灌丛。

关键词:全球土地覆被数据;草地资源;空间一致性;类型混淆;哈萨克斯坦

1 引言

20世纪以来,哈萨克斯坦的社会制度经历了俄罗斯联邦、独立共和国、苏联加盟共和国以及苏联解体等一系列变迁过程。同时,在1941–2011年哈萨克斯坦全境季节性气温呈现增加的趋势,而年降水量呈现下降趋势,以致暖干化趋势显著^[1–2]。受气候变化及社会制度变迁的影响,哈萨克斯坦是中亚地区生态退化和草畜矛盾问题最为突出的国家^[3–6]。

从1900年的俄国移民潮开始,因人口增加和农业技术的引进,少部分游牧逐渐转变为半定居^[7]。在俄罗斯时期,哈萨克斯坦牧民的生活方式从“逐水草而居”到半定居状态,出现季节性转场放牧模式^[8]。在1930年,因政府强制实行集体所有制政策,导致约80%的牲畜死亡;该事件后,游牧基本定居,只允许少部分的游牧存在^[9]。随后,苏联政府为了恢复和发展畜牧业,畜群规模急剧增加,哈萨克斯坦的放牧活动从典型草原区扩展至南部的荒漠草原区^[10]。1954–1963年受“处女地运动”事件的影响,23万km²草地被开垦,而牲畜数量持续增长,

导致荒漠带草地进一步退化,生物量由483 kg/hm²降低至100 kg/hm²,极易造成沙漠化^[11–12]。苏联解体之后,大部分牧民被限制只能在居住点附近放牧,导致局部地区斑块状退化^[13]。哈萨克斯坦草原地区正面临生物多样性减少、生产力降低等生态退化问题^[14–15]。

哈萨克斯坦草地面积约为1.84亿hm²,占国土总面积的67.53%^[16],占中亚地区草地面积的73.60%^[13]。哈萨克斯坦草地自北向南由典型草原过渡为半荒漠、荒漠草原(图1)^[17],典型草原带和半荒漠带年降水量仅200 mm左右,荒漠地带年降水量不足100 mm。放牧方式的改变、农业开垦的占用、加之暖干化的气候变化影响,使得哈萨克斯坦各类草地生态系统变化的时空格局具有鲜明的特点。因此,中亚地区及哈萨克斯坦草地生态变化^[5]以及荒漠化^[6]逐渐受到学者们的关注,作为“一带一路”沿线的重要国家,其生态可持续发展也成为研究的焦点。草地资源的可持续合理利用需要清晰准确的草地分布与草地质量信息,区域生态退化的遥感识别需要结合植被生长状况的指标变化趋势与植被群落特征、自

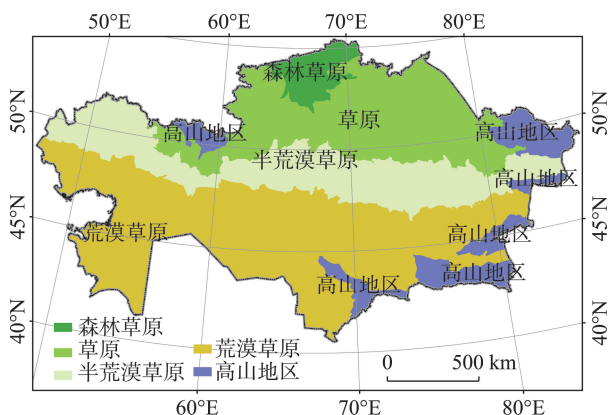
图1 哈萨克斯坦生态分区^[17]

Fig. 1 Ecological geographical regionalization in Kazakhstan

然地理条件进行判断^[18]。

目前,全球尺度及区域尺度免费共享的土地覆被数据集已经有20余套^[19-20],其中,MCD12Q1、GLC2000和GlobCover等全球尺度土地覆被数据集已是目前全球变化相关研究的重要数据基础^[21]。国内外已有诸多学者利用各类土地覆被数据对不同区域的地物进行空间分布差异研究,结果均表明不同土地覆被数据集对同一地区的地物分类差异较大^[22-27]。例如,在南美洲,各套数据草地面积的差异最大达491万km²,占南美洲总面积的27.56%^[28];在欧洲,各套数据草地面积的差距最高达50万km²,占欧洲总面积的4.94%^[29];如此之大的空间分布差异,会使得对区域草地承载力评估、草地退化的识别、荒漠化的驱动机制分析等研究产生更大的不确定性。

为此,本研究基于UMD 1992-1993、MCD12Q1 2001、GLC 2000、CCI-LC 2000和GlobCover 2005共5套全球土地覆被数据集,分别从草地类型界定、草地分布的空间一致性和草地空间分布差异成因3方面,对比5套数据哈萨克斯坦草地分布的异同,分析草地分布差异的空间布局规律及其成因。以期分析哈萨克斯坦草地生态系统变化机制,进而认识中亚地区草地生态系统对气候变化和人类活动的响应,以及绿色丝路建设过程中草地承载力的评估与区域生态可持续发展提供依据。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本研究所采用的5套土地覆被数据集分别为当前可以共享使用的美国马里兰大学(University of

Maryland-UMD)生产的UMD1992-1993^[30]、欧盟联合研究中心(European Union's Joint Research Centre, JRC)空间应用研究所(Space Application Institute, SAI)联合全球30多个国家和地区的研究机构共同研制的GLC 2000^[31-33]、欧洲航天局(European Space Agency, ESA)生产的Climate Change Initiative-Land Cover 2000(CCI-LC 2000)^[34]、NASA MODIS生产的MCD12Q1 2001^[22,35]和欧洲航天局(ESA)基于Envisat MERIS (Medium Resolution Imaging Spectrometer)传感器生产的GlobCover 2005^[36](表1)。行政边界矢量数据来源于2018年4月3.4版本的全球行政区划(Global Administrative Areas, GADM)数据库。为了便于面积的统计分析,将这5类数据定义为相同的投影坐标:Albers等面积投影。由于原始的5类土地覆被数据的空间分辨率不同,因此采用最大面积聚合法,将空间分辨率统一重采样至1000 m。

2.2 分析方法

(1) 草地分布一致性

草地分布一致性分析是为了揭示各套数据集草地资源空间分布的一致性程度,其分析流程为:①首先对各套土地覆被数据集二值化处理,根据各数据集对草地的定义,判断草地和非草地;②将5套数据进行空间叠加,根据不同数据之间逐像元的空间对应关系,逐像元判断不同数据集中草地的分布是否一致;③根据各像元的分布一致性情况,将草地类型区划分为5套数据一致、4套数据一致、3套数据一致、2套数据一致和1套数据一致,并将其分别定义为完全一致(C5)、高度一致(C4)、基本一致(C3)、低度一致(C2)和完全不一致(C1)。为表述方便,文中将分类可信度最高的完全一致区(C5)和高度一致区(C4)统称为“典型草地分布区”,用英文字母表示(Completely Consistent and Highly Consistent, CCHC)。

(2) 重叠度分析

草地分布的空间一致性还不能揭示究竟哪套数据与典型草地分布区(CCHC区)的重叠程度最高,从而为选择可靠适宜的数据集提供依据。重叠度分析即是各套数据集草地与典型草地分布区(CCHC)的公共区域面积与两者草地分布总面积的比值,其分析流程为将五套数据的草地分别与CCHC区域进行叠加分析,通过式(1)得出各类数据与CCHC区域的草地重叠度 O 。

$$O = \frac{X_i}{Y_i} \quad (1)$$

表1 5套土地覆被数据集基本信息

Tab. 1 Basic information of five cover datasets

数据	空间 分辨率/ m	分类 体系	数据源 时段	数据源 传感器	分类方法	输入数据和辅助数据	数据精度/%	数据精度 验证方法
UMD ^①	1000	IGBP 14类	1992-04 1993-03	AVHRR	将全球作为整体进行分类;采用监督分类树 分类(水体与城镇掩膜去除),分类树输出的 叶子节点中所有像元赋值为占比最大的类别	水体数据:MODIS 传感器制作的水体掩膜;城镇数据: IGBP DIS Cover 数据集的城镇数据;1992-04至1993- 03中 AVHRR 的5个波段和 NDVI 组成的41个规则矩 阵;辅助选取样本数据主要是 Landsat MSS 影像解译得 到	65.00	与其它区域数字数据 集比较法进行验证 (如美国的 MRLC 和 欧洲的 CEC 等)
MCD12Q1 ^②	500	IGBP 17类	2001	MODIS	将全球作为整体进行分类;采用集成监督分 类算法,其基本算法是决策树,使用 boosting 估计集成分类,对集成决策树的结果进行后 处理	将整年 Terra 和 Aqua 数据的 1~7 波段的光谱和时间信 息作为输入数据,并补充 EVI 数据,训练样本数据包括 地球陆地上的 1860 个站点数据;辅助选取样本数据主 要是 Landsat TM 影像	78.30	基于 90% 的随机训练 样本数据,采用交叉 验证方法来验证精度
GLC ^③	1000	LCSS 22类	1999- 2000	SPOT4 Vegetation	将全球分为 19 个区进行单独分类;采用非监 督分类的 ISODATA 算法进行分类	中亚地区,将每月合成的 NDVI 数据作为输入;采用的 样本数据主要是实地调查、Landsat 影像解译、SPOT/ Vegetation 和 AVHRR 数据的物候信息、现有土地利用 或植被地图以及专家知识	68.60	结合已有相关数据进 行对比验证精度及修 正;采用置信度-统计 抽样法
CCI-LC ^④	300	LCSS 22类	1998- 2002	MERIS 和 SPOT Vegetation	将全球分为 22 个气候区进行分类;首先基于 2003-2012 年 MERIS FR 和 RR 数据,利用添 加机器学习法改进的 Glob Cover 非监督分类 链和结合监督分类技术,生成为期 10 年的 2003-2012 年全球土地覆被图,然后基于 SPOT VGT 时间序列的回溯和更新技术得出 2010、2005 和 2000 年地图	基于空间分辨率 300 m 的 MERIS FR 影像以及 MERIS RR 数据(用于补偿某些地区缺乏 MERIS FR);逐日的 空间分辨率为 1000 m 的 SPOT VEGETATION 数据,并 将 1998-2002 年用于扩大时间覆盖范围	74.10	验证数据(欧洲外)由 18 位专家参与收集并 进行精度验证,欧洲 部分采用 Glob Cover 2009 的验证数据进行 验证;采用抽样标记 法验证
Glob Cover ^⑤	300	LCSS 22类	2004-12 2006-06	ENVISA/ MIRIS	将全球分为 22 个气候区进行分类;水体进行 掩膜后,监督分类提取湿地和城镇,非监督分 类的多维聚类分类其它类型,并自动赋值为 LCSS 分类系统	2004-12 至 2006-06 的 300m 空间分辨率的 13 个光谱波 段;其中水体数据由 ENVIASAT 卫星携带的 MERIS 传 感器自带的水路边界进行掩膜得到,并结合 SRTM 得 到的水体数据进行改善,城镇则通过单独的监督分类 进行提取	73.00	验证数据由 16 位专家 参与收集,建立数据 库进行验证;采用统 计抽样进行专家判断

注: ① 数据下载网址: ① <http://glcf.umd.edu/data/landcover/data.shtml>; ② https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/mcd12q1; ③ <http://forobs.jrc.ec.europa.eu/products/glc2000/products.php>; ④ <http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/index.php>; ⑤ http://due.esrin.esa.int/page_globcover.php。

式中： X_i 和 $Y_i(i=1,2,3,4,5)$ 分别表示各套数据与典型草地分布区(CCHC)公共区域面积和二者之间的总面积。

3 结果及分析

3.1 5套数据集对草地的界定及其差异

5套数据采用不同的分类体系,因此产生对草地范围界定的差别。UMD 1992–1993年和MCD12Q1 2001两套数据采用IGBP分类体系,将草地覆盖率大于10%的类型划分为草地;GLC2000、CCI-LC2000和GlobCover2005数据采用LCCS分类体系,将草地覆盖率大于15%的类型划分为草地(表2),其中GLC2000和GlobCover2005数据的稀疏植被分布于典型草原带(图2(c)和2(e)),故将稀疏植被类型合并为草地。5套数据的草地面积相差巨大,UMD1992–1993、MCD12Q1 2001、GLC2000、CCI-LC2000和GlobCover 2005的草地面积分别为129.04、209.41、106.38、107.87、和96.59万 km^2 。

因数据源和土地覆被类型判别方法的不同,相同分类体系下各套数据也存在较大差异。UMD 1992–1993和MCD12Q1 2001的草地面积相差80.37万 km^2 ,二者草地资源空间分布差异也较大,其原因可能在于UMD采用监督分类树法,将1992–04至1993–03中AVHRR的5个波段和NDVI组成的41个规则矩阵作为输入数据;而MCD12Q1采用监督分类树法,将Terra和Aqua数据的1–7波段的光谱和时间信息以及EVI数据作为输入数据。GLC2000、CCI-LC2000、GlobCover2005的草地面积最大相差11.28万 km^2 ,其原因可能在于GLC2000采用非监督分类法,在中亚地区,将每月合成的NDVI数据作为输入数据;CCI-LC2000采用监督分类和结合机器

学习法改进的非监督分类,将空间分辨率300 m的MERIS FR和RR数据以及逐日的空间分辨率为1000 m的SPOT VEGETATION数据作为输入数据;GlobCover2005采用监督分类以及非监督分类的多维聚类,将2004–10至2006–06的300 m空间分辨率ENVISAT的13个光谱波段作为输入数据。

3.2 五套数据中草地资源空间分布一致性

5套数据叠置后草地总面积达225.83万 km^2 ,其中典型草地分布区(CCHC)占草地总面积的39.66%,基本一致区域(C3)占草地总面积的15.66%,低度一致区域(C2)占草地总面积的17.90%,完全不一致区域(C1)达26.78%(表3)。

5套数据一致性最高的典型草地分布区(CCHC)主要分布于北纬47°N–51°N之间,以及巴浦洛达尔州和阿克莫拉州的东部地区,这些区域正是哈萨克典型草原带和部分半荒漠草原带;而5套数据草地分布基本一致(C3)、低度一致(C4)和完全不一致(C5)区域,则围绕典型草地分布区(CCHC)向逐级依次向外围扩散(图3)。草地分布基本一致(C3)和低度一致(C4)区域大部分位于农牧交错区和荒漠草原带(图1);草地分布完全不一致区域主要位于哈萨克斯坦荒漠带(图1,图3),此现象产生的主要原因是仅有MCD12Q1 2001数据集将该区域分类为草地(图2)。

五套数据中草地的分布与CCHC区域的重叠度可以在一定程度上说明各数据集草地分布范围识别的可靠性。与CCHC区域重叠度最高的数据集是CCI-LC2000,达76%;MCD12Q1 2001重叠度最低,仅为42%;GLC2000、UMD1992–1993、GlobCover2005共3套数据与CCHC的重叠度分别为64%、59%、58%(表4)。

表2 5套土地覆盖数据集草地定义
Tab. 2 Grassland definitions of five datasets

数据集	类型	定义描述	面积/万 km^2
UMD1992-1993	草地	草地覆盖率>10%	129.04
MCD12Q1 2001	草地	草地覆盖率>10%	209.41
GLC2000	草地	草地覆盖率>15%	16.73
CCI-LC2000	稀疏草本或灌丛	稀疏草地或稀疏灌木覆盖率<15%	89.65
	草地	草地覆盖率>15%	107.21
	稀疏植被	树/灌丛/草地的覆盖率<15%	0.66
Glob Cover2005	草地	草本覆盖率>15%	7.00
	稀疏植被	乔木植被/灌丛/草地<15%	89.59

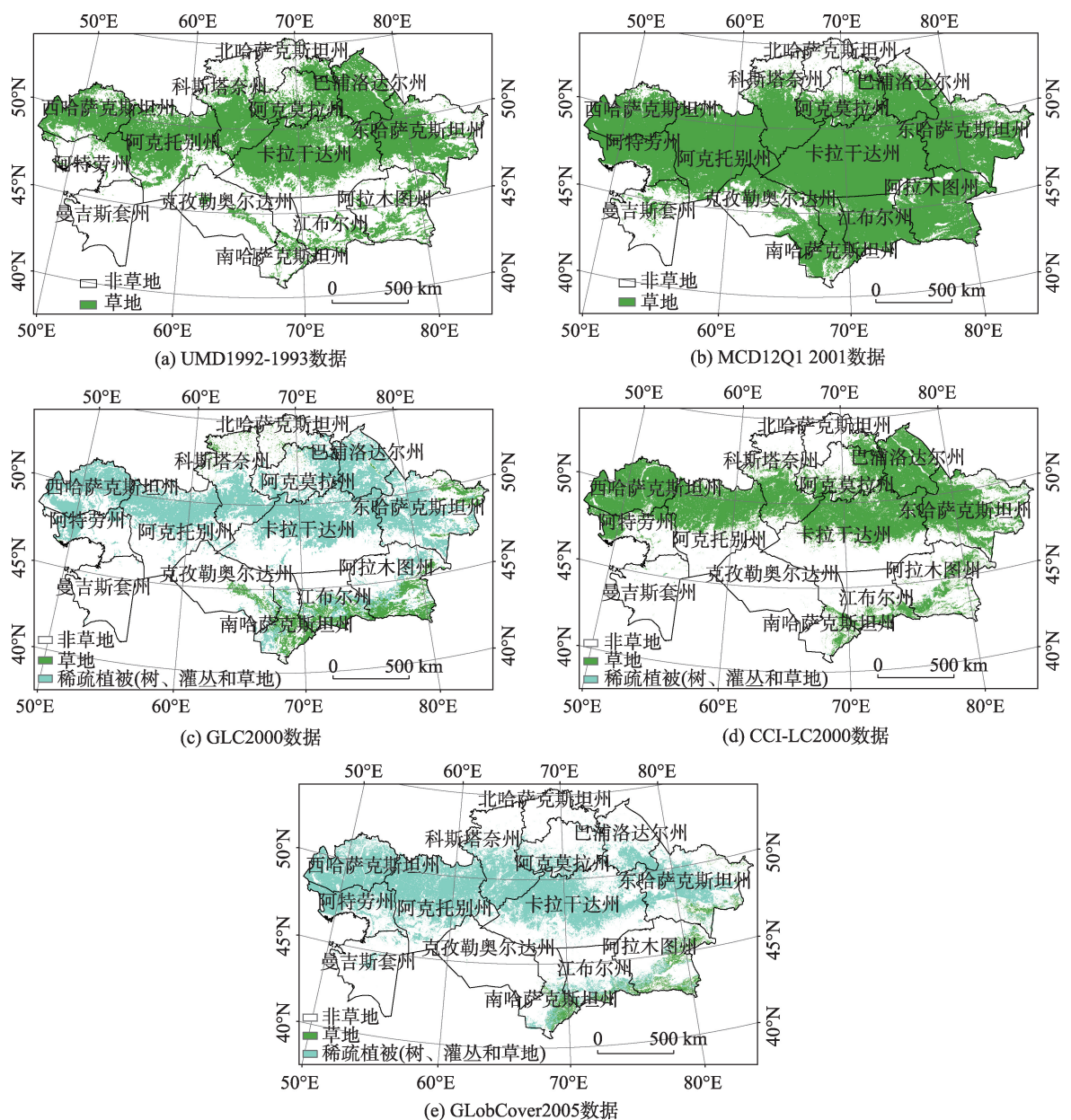


图2 从5套土地覆被数据中提取的哈萨克斯坦草地空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of grassland in Kazakhstan derived from five global land cover datasets

表3 草地分布一致性占比

Tab. 3 Grassland distribution consistency ratio

类型	面积/(万 km ²)	百分比/%
完全一致(C5)	43.59	19.30
高度一致(C4)	45.98	20.36
基本一致(C3)	35.35	15.66
低度一致(C2)	40.43	17.90
完全不一致(C1)	60.48	26.78

3.3 5套数据草地分布不一致区域的地物类型及成因分析

草地空间一致性分析揭示了5套数据对草地识

别的异同及其的空间分布特征,但对于草地分布不一致的区域,仍无法判断土地覆被识别中易造成混淆的类型。本研究将与CHCC区域重叠度最高的CCI-LC2000数据集与其它四套数据的草地进行对比,判断在哈萨克斯坦草地识别中易与之混淆的土地覆被类型。

CCI-LC2000与其它4套数据中草地分布不一致区域主要位于北部农牧交错区、中部半荒漠草原带以及南部荒漠草原带。易与草地混淆的土地覆被类型主要为旱作耕地、灌溉耕地、耕地与自然植被镶嵌体、灌丛以及裸地5类(图4)。MCD12Q1

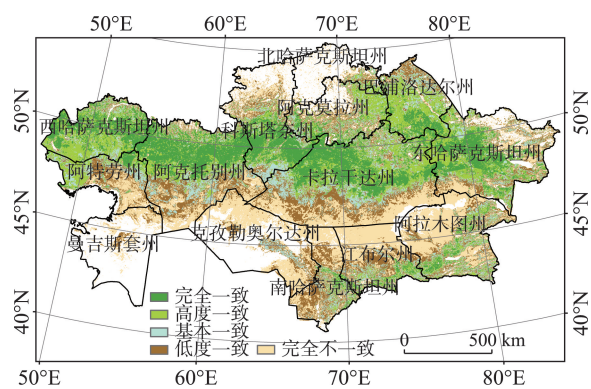


图3 5套土地覆盖数据集草地分布一致性

Fig. 3 Distribution consistency of grassland within the five global land cover datasets

2001 与 CCI-LC2000 数据集草地分布不一致的区域面积最大,达 115.63 万 km²,其中位于荒漠带的区域面积占 73.85%;与 CCI-LC2000 草地分布最相近的是

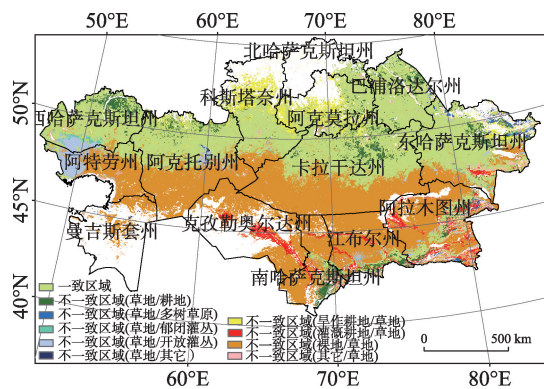
GLC2000,不一致区域的面积有 55.17 万 km²(表 5),主要分布于农牧交错带、半荒漠带和南部的天山山脉(图 4(b)、4(c))。

UMD 1992–1993 与 CCI-LC 2000 数据中草地分布不一致区域的总面积为 58.65 万 km²,其中耕地(占 38.84%)和裸地(占 42.08%)占比较大(表 5),耕地主要位于农牧交错带、锡尔河和伊犁河流域;裸地主要位于半荒漠带(图 4(a))。MCD12Q1 2001 与 CCI-LC 2000 数据中草地分布不一致区域的总面积为 115.63 万 km²,其中裸地(占 73.85%)和耕地(占 21.79%)占比较大(表 5),裸地主要位于荒漠带,耕地主要位于农牧交错带、锡尔河流域、伊犁河流域、额尔齐斯河流域(图 4(b))。GLC2000 与 CCI-LC2000 数据中草地分布不一致区域总面积为 55.17 万 km²,其中裸地(占 53.66%)和耕地(占 34.72%)占比较大(表 5),裸地主要位于东南部的荒漠带、半荒漠带与

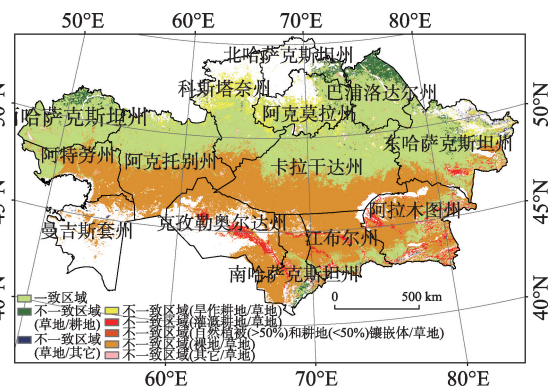
表 4 5 套土地覆盖数据集中草地分布与 CCHC 的重叠度

Tab. 4 Overlap of grassland distribution in the five land cover datasets and CCHC (%)

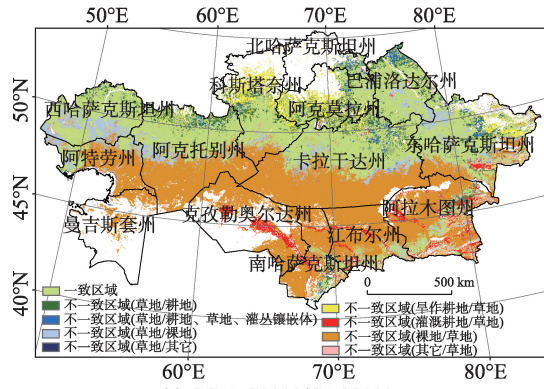
	UMD1992-1993	MCD12Q1 2001	GLC2000	CCI-LC2000	GlobCover2005
CCHC	59	42	64	76	58



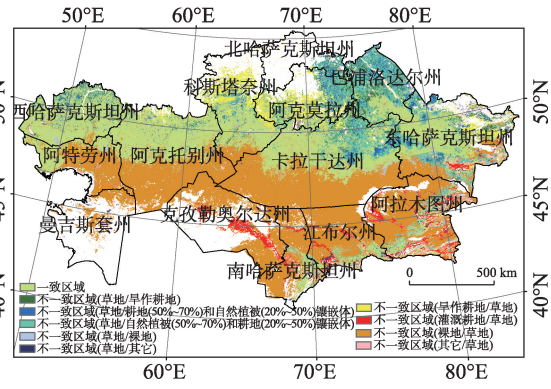
(a) CCI-LC2000/UMD1992-1993



(b) CCI-LC2000/MCD12Q1 2001



(c) CCI-LC2000/GLC2000



(d) CCI-LC2000/ClobCover2005

图 4 CCI-LC2000 与 4 套土地覆盖数据集类型混淆分析

Fig. 4 Confusion analysis of CCI-LC2000 and four land cover datasets

表 5 CCI-LC2000 和 4 套土地覆盖数据集不一致的区域类型统计
Tab. 5 CCI-LC2000 and four land cover datasets of inconsistent area type statistics

CCI-LC2000/ UMD1992-1993				CCI-LC2000/ MCD12Q1 2001			
CCI-LC2000 不一致类型	面积/万 km ²	百分比/%	UMD1992-1993 不一致类型	面积/万 km ²	百分比/%	MCD12Q1 2001 不一致类型	面积/万 km ² 百分比/%
旱作耕地	8.61	14.68	多树草原	1.11	1.89	耕地	6.34 5.48
灌溉耕地	4.03	6.87	灌丛	7.03	11.99	其他类型	0.87 0.75
裸地	24.68	42.08	耕地	10.14	17.29		
其他类型	2.53	4.31	其他类型	0.52	0.89		

CCI-LC2000/ GLC2000				CCI-LC2000/ Glob Cover 2005			
CCI-LC2000 不一致类型	面积/万 km ²	百分比/%	GLC2000 不一致类型	面积/万 km ²	百分比/%	GlobCover2005 不一致类型	面积/万 km ² 百分比/%
旱作耕地	4.71	8.54	耕地	10.05	18.22	旱作耕地	5.37 6.36
灌溉耕地	4.39	7.96	耕地、草地和灌丛 镶嵌体	3.46	6.27	耕地和自然植 被镶嵌体	30.05 35.61
裸地	15.17	27.50	裸地	14.43	26.16	裸地	19.29 22.86
其他类型	2.32	4.20	其他类型	0.64	1.15	其他类型	1.80 2.13

注：CCI-LC2000 不一致类型：CCI-LC2000 为非草地，而与之比较的为草地；反之 CCI-LC 为草地，与之比较的为非草地。

草原带交错区,耕地主要位于农牧交错带、锡尔河流域(图4(c))。Glob Cover 2005与CCI-LC 2000数据中草地分布不一致区域总面积为84.38万km²,其中裸地(占46.73%)、耕地和自然植被镶嵌体(占35.61%)、耕地(占13.99%)占比较大(表5),裸地主要位于半荒漠带,耕地和自然植被的镶嵌体主要位于阿克莫拉州的西部、卡拉干达州的东北部和巴浦洛达尔州,耕地主要位于农牧交错带(图4(d))。

5套数据在哈萨克斯坦的草地分布差异较大,造成其差异的原因除分类体系外,还可能受到遥感数据源、辅助分类数据、分类方法以及验证数据和方法等方面的影响(表1)。CCI-LC2000较其他4套数据可靠性更高的可能原因包括:

(1) 在5套数据中,CCI-LC2000和GlobCover2005的空间分辨率最高,为300 m;其他几套数据的空间分辨率均在500~1000 m;其遥感数据源较为丰富,包括空间分辨率为300 m MERIS,空间分辨率为1000 m、逐日的SPOT VEGETATION,其他4套数据的遥感数据源相对单一。

(2) 土地覆被数据在分类过程中,尤其是在监督分类选取训练样本或非监督分类确定聚类图斑所属地物类别阶段,辅助数据(如解译数据、其它参考数据)的不同也是造成土地覆被数据差异的重要因素^[37-38]。UMD1992-1993和MCD12Q1 2001使用的解译数据分别是Landsat MSS^[30]和Landsat TM影像^[22];GLC2000中亚区域的解译数据主要包括实地调查、Landsat影像解译、SPOT Vegetation和AVHRR数据的物候信息、现有的土地利用或植被地图以及专家知识^[33];CCI-LC2000使用的辅助选取训练数据是可用于某特定区域最准确且具有最高空间分辨率和其图例兼容的土地覆被数据^[39];而且CCI-LC2000和GlobCover2005将全球分为22个气候区,在分类过程中利用了气候等辅助数据^[25,34]。

(3) 各数据产品的分类方法上存在着不同,CCI-LC2000将全球划分为22个气候区,采用监督分类和机器学习法改进的GlobCover非监督分类链分类^[34];UMD将全球作为整体,基于监督分类树进行分类^[30];MCD12Q1 2001将全球作为整体,采用集成监督分类树算法进行分类,并对分类结果进行后处理^[22];GLC2000将全球划分为19个区域,采用非监督分类的ISODATA算法进行分类^[32];GlobCover 2005将全球划分为22个气候区,采用监督分类和非监督分类的多维聚类算法进行分类^[36];而相关研究表明机器学习法在精度和稳定性方面均优于监

督分类、决策树分类^[40]。

(4) 各数据产品的验证方法和数据不同,CCI-LC验证数据(除欧洲外)由18位专家参与收集并进行精度验证,欧洲部分采用GlobCover 2009的验证数据进行验证^[34];而UMD与局部地区的土地覆被数据(如美国的MRLC和欧洲的CEC等)的对比来辅助分析其精度^[30],MCD12Q1 2001基于90%的随机训练样本数据,采用交叉验证的方法来验证其精度^[35],GLC2000采用置信度-统计抽样方法,并结合已有相关数据(如国家森林统计^[41]、LandSat影像样本点^[42-43]以及其他与森林领域相关的高分辨率样本点^[44]等)进行对比验证其精度及修正^[32],GlobCover 2005验证数据由16位专家参与收集,建立验证数据库进行验证^[45]。

4 结论与讨论

为准确掌握哈萨克斯坦草地资源分布,了解在土地覆被分类中草地识别不确定性的原因,本研究基于UMD 1992-1993、MCD12Q1 2001、GLC 2000、CCI-LC 2000和GlobCover 2005共5套全球土地覆被数据集,从草地类型识别的定义、空间分布的一致性和空间分布差异三方面研究其异同,研究结果表明:

(1) 5套土地覆被数据集对草地类型识别的定义不同,草地类型界定中覆被率间的差异达5%,从而使得草地面积相差较大。相同草地类型界定下,由于数据源和分类方法的差别,也导致草地分布的差异,尤其是UMD 1992-1993和MCD12Q1 2001两套数据,面积相差达80.37万km²。5套数据集中,MCD12Q1 2001草地面积最大,为209.41万km²,其次是UMD 1992-1993,面积为129.04万km²,其它3套数据的面积在96.59万~107.87万km²之间。

(2) 5套土地覆被数据的空间一致性程度低,草地分布在5套数据都重叠(C5)或4套数据都重叠(C4)的区域仅占39.66%(CHCC区域);该区域主要位于47°N-51°N之间,属于典型草地的分布地带和部分半荒漠草原带,其地貌较为平坦、土地覆被类型单一,因此对该区域的草地分布较易识别。而5套数据集草地分布基本一致(C3)、低度一致(C2)和完全不一致(C1)区域,则围绕典型草地分布区(CCHC)向逐级依次向外围扩散。5套数据完全不一致区域(C1)占草地总面积的26.78%,主要位于荒漠草原带。CCI-LC2000数据集集中的草地分布与

CCHC区域的重叠度最高,达到76%;MCD12Q1 2001数据集中的草地分布与CCHC区域的重叠度最低,仅为42%。对于哈萨克斯坦草地分布,CCI-LC2000的可靠性显然高于其它4套数据,中国区域的对比研究结果也同样是CCI-LC2000的精度最高^[46]。

(3)CCI-LC2000与其他4套数据草地分布不一致的区域表明,极易与草地混淆的主要土地覆被类型包括旱作耕地、灌溉耕地、耕地与自然植被镶嵌体、灌丛以及裸地5类;混淆的区域主要位于哈萨克斯坦北部的农牧交错区,巴浦洛达尔州和47°N以南地区的半荒漠带和荒漠带。造成如此大的不一致现象主要是由于遥感数据源、辅助分类数据、分类方法以及验证数据和方法等四方面造成。

本研究所对比的5套数据时间跨度长达13年,且研究区内土地覆被变化较剧烈,时间差异会对数据集间一致性比较产生一定的影响^[40],但已有研究表明数据集间由分类引起的差异远远大于地表真实变化信息^[22-23]。此外,受苏联解体的影响,哈萨克斯坦土地利用变化频繁,在北部耕作区有大量的弃耕、撂荒及撂荒地复垦现象,使得耕地与草地难以区分;在灌丛区,由于苏联解体初期政府限制牧民只能在定居点周围放牧^[13],半荒漠带和荒漠带的低矮灌丛得以恢复,而后期又重新在这些区域放牧,灌丛长势的变化使得极易与草地造成混淆。裸地类型混淆的区域主要位于哈萨克斯坦的荒漠带,对草地类型识别的定义不同可能是导致不同数据间有如此大差距的原因。因此,随着对该区域的野外考察及长期定位观测研究的增多,将为土地覆被类型的准确识别提供更可靠的依据。

参考文献(References):

- [1] Salnikov V, Turulina G, Polyakova S, et al. Climate change in Kazakhstan during the past 70 years[J]. *Quaternary International*, 2015,358:77-82.
- [2] 王飞,丁建丽,魏阳.“一带一路”国家和地区百年尺度干旱化特征分析[J].*地球信息科学学报*,2017,19(11):1442-1455. [Wang F, Ding J L, Wei Y. Analysis of drought characteristics over countries and regions of “The Belt and Road Initiatives” in recent one hundred years[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2017,19(11):1442-1455.]
- [3] Jiang L, Jiapaer G, Bao A, et al. Vegetation dynamics and responses to climate change and human activities in Central Asia[J]. *Science of the Total Environment*, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.012
- [4] 范彬彬,罗格平,胡增运,等.中亚土地资源开发与利用分析[J].*干旱区地理*(汉文版),2012,35(6):928-937. [Fan B B, Luo G P, Hu Z Y, et al. Land resource development and utilization in central Asia[J]. *Arid Land Geography*, 2012,35(6):928-937.]
- [5] 罗亮,杜文鹏,闫慧敏,等.哈萨克斯1982-2015年植被时空变化(英文)[J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2017,8(4):378-384. [Luo L, Du W P, Yan H M, et al. Spatio-temporal patterns of vegetation change in Kazakhstan from 1982 to 2015[J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2017,8(4):378-384.]
- [6] Zhang G, Biradar C M, Xiao X, et al. Exacerbated grassland degradation and desertification in Central Asia during 2000-2014[J]. *Ecological Applications*, 2018,28(2): 442-456.
- [7] Aldashev G, Guirking C. Colonization and changing social structure: Evidence from Kazakhstan[J]. *Journal of Development Economics*, 2016,127:413-430.
- [8] Robinson S, Milner-Gulland E J. Political change and factors limiting numbers of wild and domestic ungulates in Kazakhstan[J]. *Human Ecology*, 2003,31(1):87-110.
- [9] Olcott M. The Kazakhs[M]. Stanford: Hoover Institution Press, 1995.
- [10] Alimaev I I, Zhambakin A, Pryanoshnikov S N. Rangeland farming in Kazakhstan[J]. *Problems of Desert Development*, 1986,3:14-19.
- [11] Kraemer R, Prishchepov A V, Müller D, et al. Long-term agricultural land-cover change and potential for cropland expansion in the former Virgin Lands area of Kazakhstan[J]. *Environmental Research Letters*, 2015,10(5):054012.
- [12] 赵万羽,李建龙,维纳汗,等.哈萨克斯坦草业发展现状及其科学研究动态[J].*中国草地*,2004(5):60-65. [Zhao W Y, Li J L, Wei N H, et al. The current situation of practice and its research trends in Kazakhstan[J]. *Grassland of China*, 2004(5):60-65.]
- [13] 吉力力·阿不都外力,马龙.中亚环境概论[M].北京:气象出版社,2015. [Ji L L, Abuduwalli, Ma L. Overview of Central Asian Environments[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2015.]
- [14] 吴绍洪,刘路路,刘燕华,等.“一带一路”陆域地理格局与环境变化风险[J].*地理学报*,2018,84(7):1214-1225. [Wu S H, Liu L L, Liu Y H et al. Geographical patterns and environmental change risks in terrestrial areas of the Belt and Road[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2018,84(7):1214-1225.]
- [15] 李元恒,侯向阳,戴雅婷,等.生态环境视角下草原丝绸之路在“一带一路”经济带中发展作用与战略需求[C].第十一届中国软科学学术年会论文集(上),2015:32-38. [Li Y H, Hou X Y, Dai Y T, et al. Based on perspective of

- grassland ecological environment, Development effect and strategic demand of grassland Silk Road in the "One Belt and One Road" Economic Belt[C]. Proceedings of the 11th China Soft Science Academic Annual Conference, 2015:32-38.]
- [16] 张丽萍,李学森,兰吉勇,等.哈萨克斯坦草地资源现状与保护利用[J].草食家畜,2013(3):64-67. [Zhang L P, Li X S, Lan J Y, et al. The current situation of grassland resource and its protection and utilization in Kazakhstan[J]. Grass-Feeding Livestock, 2013(3):64-67.]
- [17] Dr Se, Medeu AR. The national atlas of the Republic of Kazakhstan. Volume II: Social and economic development[M]. Almaty: the LLP' Institute of Geography' of the JSC National Scientific and Technological Holding 'Parasat', 2010.
- [18] 陈秋晓,洪冬晨,侯焱,等.哈萨克斯坦生态环境状况及影响因素的遥感分析[J].地球信息科学学报,2016,18(7):1000-1008. [Chen Q X, Hong D C, Hou Y, et al. Analysis of the eco-environmental condition of Kazakhstan and its impact factors using remote sensing data[J]. Journal of Geo-information Science, 2016,18(7):1000-1008.]
- [19] 刘琼欢,张德铨,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.]
- [20] Grekousis G, Mountrakis G, Kavouras M. An overview of 21 global and 43 regional land- cover mapping products. International Journal of Remote Sensing, 2015,36(21):5309-5335.
- [21] 杨永可.大尺度土地覆盖数据集遥感评价研究[D].南京: 南京大学,2014. [Yang Y K. Accuracy assessment of large scale land cover datasets[D]. Nanjing: Nanjing University, 2014.]
- [22] Friedl, M A, SullaMenashe D, Tan B, et al. MODIS Collection 5 global land cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets[J]. Remote Sensing of Environment, 2010,114(1):168-182.
- [23] McCallum I, Obersteiner M, Nilsson S, et al. A spatial comparison of four satellite derived 1km global land cover datasets[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2006,8(4):246-255.
- [24] 冉有华,李新,卢玲.四种常用的全球1 km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):490-499.]
- [25] 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.]
- [26] 徐文婷,吴炳方,颜长珍,等.用 SPOT-VGT 数据制作中国 2000 年度土地覆盖数据[J].遥感学报,2005,9(2):204-214. [Xu W T, Wu B F, Yan C Z, et al. China land cover 2000 using SPOT- VEG S10 data[J]. Journal of Remote Sensing, 2005,9(2):204-214.]
- [27] 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(1):123-132.
- [28] 戴昭鑫,胡云锋,张千力.多源卫星遥感土地覆被产品在南美洲的一致性分析[J].遥感信息,2017,32(2):137-148. [Dai Z X, Hu Y F, Zhang Q L. Agreement analysis of multi- source land cover products derived from remote sensing in South America[J]. Remote Sensing Information, 2017,32(2):137-148.]
- [29] 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.]
- [30] Hansen M C, Defries R S, Townshend J R G, et al. Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000,21(6-7):1331-1364.
- [31] Roy P S, Agrawal S, Joshi P, et al. The land cover map for Southern Asia for the year 2000[DB]. GLC2000 database, European Commission Joint Research Centre, 2003.
- [32] 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.
- [33] Fritz S, Bartholomé E, Belward A, et al. Harmonisation, mosaicing and production of the Global Land Cover 2000 database (Beta Version)[DB], 2003.
- [34] Defourny P, Kirches G, Brockmann, et al. Land Cover CCI: Product user guide version 2[P], 2016.
- [35] 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(1):287-302.
- [36] Bicheron P, Leroy M, Brockmann C, et al. GLOBCOVER: A 300 m global land cover product for 2005 using

- ENVISAT/MERIS time series[J]. International Symposium on Remote Sensing of Environment, 2006,1:538-542.
- [37] Hansen M C, Reed B. A comparison of the IGBP DISCover and University Maryland 1 km global land cover products[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000,21(6/7):1365-1373.
- [38] 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.]
- [39] Defourny P, Kirches G, Krueger O, et al. Land Cover CCI: Algorithm theoretical basis document version 2, 2013.
- [40] Huang C, Davis L S, Townshend J R G. An assessment of support vector machines for land cover classification [J]. International Journal of Remote Sensing, 2002,23(4): 725-749.
- [41] Bartalev S A, Belward A S, Erchov D V, et al. A new SPOT4-VEGETATION derived land cover map of Northern Eurasia[J]. International Journal of Remote Sensing, 2003,24(9):1977-1982.
- [42] Tateishi R. Global Land Cover Ground Truth database (GLCGT database) version 1.2[DB], 2002.
- [43] Cihlar J, Latifovic R, Beaubien J, et al. Thematic mapper (TM) based accuracy assessment of a land cover product for Canada derived from SPOT VEGETATION (VGT) data[J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 2003,29(2): 154-170.
- [44] Eva H D, Belward A S, Eede M, et al. A land cover map of South America[J]. Global Change Biology, 2004,10(5): 731-744.
- [45] Bicheron P, Defourny P, Brockmann C, et al. GLOBCOVER products report description and validation, 2008.
- [46] Yang Y, Xiao P, Feng X, et al. Accuracy assessment of seven global land cover datasets over China[J]. Isprs Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2017,125:156-173.