

李森, 颜长珍. 基于ChinaCover数据集的绿洲结构数据制图——以河西内陆河流域为例[J]. 中国沙漠, 2023, 43(3): 230–242.

# 基于ChinaCover数据集的绿洲结构数据制图 ——以河西内陆河流域为例

李 森, 颜长珍

(中国科学院西北生态环境资源研究院 沙漠与沙漠化重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 生产兼具绿洲独特性和结构特点的绿洲专题数据是目前绿洲学研究亟待解决的关键基础性问题。以河西内陆河流域为研究区, 在构建绿洲生态系统的二级分类体系基础上, 结合ChinaCover数据和Landsat NDVI影像, 利用面向对象随机森林分类和叠加分析方法, 完成1975—2020年7期河西内陆河流域绿洲土地结构数据的制图。结果表明: (1) 基于ChinaCover数据集的绿洲结构数据制图方法可以快速准确地生产出绿洲专题数据; (2) 绿洲生态系统一级类型总体精度为96.17%, 二级类型精度为82.64%~92.99%, 制图精度明显高于现有土地覆被产品; (3) 2020年河西内陆河流域绿洲占研究区比例为8.97%, 一级类型以人工绿洲为主, 二级类型以耕地和草地为主; (4) 近45年河西内陆河流域人工绿洲呈持续扩张趋势, 荒漠-绿洲过渡带呈萎缩趋势, 自然绿洲呈先萎缩后扩张趋势; 人工绿洲的扩张主要是耕地和建设用地的增加, 而过渡带和自然绿洲的萎缩主要是草地减少。

**关键词:** 绿洲制图; 分类体系; 绿洲变化; 精度评价

**文章编号:** 1000-694X(2023)03-230-13

**DOI:** 10.7522/j.issn.1000-694X.2022.00129

**中图分类号:** P283.49

**文献标志码:** A

## 0 引言

干旱区的可持续发展与生态环境问题一直是有关国家政府与广大科研人员最关心的热点问题。而绿洲作为干旱区发展的基础, 养育干旱区90%以上的人口, 提供干旱区95%的工农业产值<sup>[1-2]</sup>, 是干旱区人类从事各项生产、生态和生活活动的主要空间载体<sup>[3]</sup>。由于人类对绿洲水土资源开发强度的增加以及绿洲环境管理的深入以及地表水资源时空分异显著<sup>[4]</sup>, 绿洲的扩张与退缩过程变动较为频繁、绿洲内部结构受扰动程度增大<sup>[5-6]</sup>, 绿洲化过程和荒漠化过程引发了绿洲格局的变化。而这种绿洲新格局的变化反过来进一步导致单位面积土地可利用水资源量减少, 引起水热格局变化, 出现水土、水盐平衡失调, 生物多样性严重受损, 绿洲外围荒漠-绿洲过渡带(以下简称“过渡带”)缩小, 沙漠向绿洲入侵的缓冲作用弱等生态问题, 严重威胁到绿洲的稳定性及区域生态安全。因此

及时准确把握内陆河流域绿洲动态变化新格局是内陆河流域实现水资源优化配置和动态管理的基本前提。而绿洲数据的精准制图是实现以上目标的关键。

绿洲生态系统作为干旱区生态系统的重要组成部分, 其绿洲土地结构分类与传统的土地利用/土地覆被分类存在共性, 因此, 绿洲生态系统结构制图研究通常基于土地利用和土地覆被产品, 研究者一般有两种方法, 一种是基于现有的土地覆被产品, 对绿洲土地覆被类型进行合并, 这是最常见的; 另一种是基于绿洲的特点, 结合土地覆被类型, 进行绿洲专题数据的生产。这种方法虽然是针对绿洲生态系统的专题数据且精度较高, 然而在流域尺度由于绿洲生态系统作为干旱区非地带性生态系统, 与其他生态系统类型相比, 又具有其独特性, 同时由于研究者对绿洲生态系统认识不足, 研究者和研究目的存在差异, 造成专题数据成果差异较大,

收稿日期: 2022-09-02; 改回日期: 2022-10-24

资助项目: 国家自然科学基金项目(42007430); 第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK0608); 甘肃省自然科学基金项目(22JR5RA077); 中国科学院沙漠与沙漠化重点实验室开放基金项目(KLDD-2021-001)

作者简介: 李森(1985—), 男, 山东潍坊人, 高级工程师, 研究方向为沙漠化/绿洲化监测。E-mail: lisen@lzb.ac.cn

致使绿洲数据的适用性较低。以2010年河西走廊人工绿洲为例,不同研究者的人工绿洲面积分别为13 454.35<sup>[7]</sup>、14 281.04<sup>[8-10]</sup>、15 829.9<sup>[11]</sup>、16 500 km<sup>2</sup><sup>[12]</sup>等,极值相差3 045.65 km<sup>2</sup>。另外,由于人工绿洲在绿洲中的主体效应<sup>[13]</sup>,多数绿洲数据仅有人工绿洲的面积和结构,忽略了自然绿洲和过渡带的重要作用,而人工绿洲、过渡带和自然绿洲共同构成一个完整的绿洲生态系统<sup>[14]</sup>。那么如何充分挖掘现有土地覆被数据信息,同时兼顾绿洲生态系统特点,形成一套流域尺度的既能与现有的土地利用/覆被产品配套使用,充分利用现有的土地利用/土地覆被数据产品,同时又能体现出绿洲研究独特性的绿洲专题数据成为亟待解决的关键基础性问题。目前已有部分学者将土地覆被数据集与绿洲生态系统相结合进行一些探索性的工作。武磊等<sup>[15]</sup>结合欧洲航天局(ESA)发布的全球陆地覆盖数据和MODIS-NDVI数据,利用逐类型阈值分割法,获取干旱区典型绿洲的荒漠-绿洲数据。然而,由于欧空局本身产品精度的局限,导致该产品只能包含绿洲和荒漠两种类型,无法深入揭示绿洲演变。

因此,本文以河西内陆河流域绿洲为研究区,

基于已有的ChinaCover数据集,充分考虑土地覆被特点及绿洲独特性构建的绿洲生态系统分类体系,结合Landsat NDVI数据,利用面向对象随机森林分类和叠加分析方法,完成1975—2020年河西内陆河流域绿洲土地结构数据的制图,并对比其分类精度,分析其绿洲结构变化,以期为干旱区绿洲制图提供一种简单精准的方法。

1 土地覆被数据集介绍

土地覆被是地球系统过程研究中关键变量。土地覆被制图一直被认为是在环境变化和可持续性研究中最重要研究<sup>[16-19]</sup>。目前,基于遥感影像数据获取的全球土地覆被数据产品主要有10个(表1)。经过全球精度验证,目前几种300~1 000 m的数据精度基本为64.9%~77.9%<sup>[20]</sup>,因此这些土地覆被数据集常被进行全球、洲际或国家等大尺度区域应用,但是在流域尺度,由于其精度达不到应用要求而无法使用。而30 m数据产品精度最高的数据是GlobeLand30,精度为85.72%<sup>[21-22]</sup>,其数据精度基本达到流域尺度的应用要求,但是由于其数据只有3期(2000、2010、2020年)数据,无法识别2000年以前的土地覆被变化状况。

表1 10个全球土地覆被数据集的基本参数  
Table 1 Basic parameters of ten global land cover datasets

数据集名称	发布单位	时间	分辨率	卫星数据源	参考文献
IGBP DISCover	国际地圈生物圈计划数据和信息系统	1992—1993年	1 km	NOAA AVHRR	[23-24]
UMD	马里兰大学	1992—1993年	1 km	NOAA AVHRR	[25]
GLC 2000	欧洲委员会联合研究中心(JRC)	2000年	1 km	SPOT VGT	[26]
MOD12Q1 and MCD12Q1	美国波士顿大学	2001年至今	500/1 000 m	Terra and Aqua	[27-28]
GlobCover	欧洲航天局	2005—2006/2009年	300 m	ENVISAT MERIS	[29-30]
CCI-LC	欧洲航天局	2000/2005/2010年	300 m	ENVISAT MERIS	[31]
GLCNMO	全球制图国际指导委员会	2003/2008年	500 m	Terra and Aqua	[32]
FROM-GLC	清华大学	1984—2011年	30 m/10 m	Landsat/Sentinel-2	[18,33]
Esri 10-Meter Land Cover	Esri	2017—2021年	10 m	Sentinel-2	[34]
Globeland30	国家测绘中心	2000/2010/2020年	30 m	Landsat、环境星、高分一号	[35]

依托2011年中国科学院实施的战略性先导科技专项“应对气候变化的碳收支认证及相关问题”及环境保护部和中国科学院联合实施的全国生态环境十年变化(2000—2010年)遥感调查与评估项目,中国科学院空天信息创新研究院吴炳方团队采用面向对象分类技术以及变化检测方法生产的中

国1990、2000、2005、2010、2015年的30 m分辨率土地覆盖数据集(China Cover),通过分类后人工修正将总体精度提高到86%<sup>[36]</sup>。ChinaCover采用的是“面向全国生态系统碳收支”分类系统(表2),数据源主要是国产HJ-1影像,实际工作中结合应用了Landsat卫星系列影像,以保障全国土地覆被信息源

表 2 “面向全国生态系统碳收支”分类系统  
Table 2 Classification system of "carbon budget for the national ecosystem"

序号	I级分类	代码	II级分类	指 标
1	林地	101	常绿阔叶林	$H=3\sim 30\text{ m}$ , $C\geq 0.2$ , 常绿, 阔叶
		102	落叶阔叶林	$H=3\sim 30\text{ m}$ , $C\geq 0.2$ , 落叶, 阔叶
		103	常绿针叶林	$H=3\sim 30\text{ m}$ , $C\geq 0.2$ , 常绿, 针叶
		104	落叶针叶林	$H=3\sim 30\text{ m}$ , $C\geq 0.2$ , 落叶, 针叶
		105	针阔混交林	$H=3\sim 30\text{ m}$ , $C\geq 0.2$ , $25\%<F<75\%$
		106	常绿阔叶灌丛	$H=0.3\sim 5\text{ m}$ , $C\geq 0.2$ , 常绿, 阔叶
		107	落叶阔叶灌丛	$H=0.3\sim 5\text{ m}$ , $C\geq 0.2$ , 落叶, 阔叶
		108	常绿针叶灌丛	$H=0.3\sim 5\text{ m}$ , $C\geq 0.2$ , 常绿, 针叶
		109	稀疏林	$H=3\sim 30\text{ m}$ , $C=0.04\sim 0.2$
		110	稀疏灌丛	$H=0.3\sim 5\text{ m}$ , $C=0.04\sim 0.2$
		111	乔木园地	人工植被, $H=3\sim 30\text{ m}$ , $C\geq 0.2$
		112	灌木园地	人工植被, $H=0.3\sim 5\text{ m}$ , $C\geq 0.2$
		113	乔木绿地	人工植被, 人工表面周围, $H=3\sim 30\text{ m}$ , $C\geq 0.2$
		114	灌木绿地	人工植被, 人工表面周围, $H=0.3\sim 5\text{ m}$ , $C\geq 0.2$
2	草地	201	温性草原	$K<1$ , $H=0.03\sim 3\text{ m}$ , $C\geq 0.2$
		202	高寒草原	$K<1$ , $H=0.03\sim 3\text{ m}$ , $C\geq 0.2$ , $T<1\ 300$ , 海拔 $>3\ 200\text{ m}$
		203	温性草甸	$K\geq 1$ , 土壤湿润, $H=0.03\sim 3\text{ m}$ , $C\geq 0.2$
		204	高寒草甸	$K\geq 1$ , 土壤湿润, $H=0.03\sim 3\text{ m}$ , $C\geq 0.2$ , $T<2\ 300$ , 海拔 $>3\ 200\text{ m}$
		205	草丛	$K\geq 1$ , $H=0.03\sim 3\text{ m}$ , $C\geq 0.2$
		206	稀疏草地	$H=0.03\sim 3\text{ m}$ , $C=0.04\sim 0.2$
		207	草本绿地	人工植被, 人工表面周围, $H=0.03\sim 3\text{ m}$ , $C\geq 0.2$
3	耕地	301	水田	人工植被, 土地扰动, 水生作物, 收割过程
		302	旱地	人工植被, 土地扰动, 旱生作物, 收割过程
4	湿地	401	乔木湿地	$W>2$ 或湿土, $H=3\sim 30\text{ m}$ , $C\geq 0.2$
		402	灌木湿地	$W>2$ 或湿土, $H=0.3\sim 5\text{ m}$ , $C\geq 0.2$
		403	草本湿地	$W>2$ 或湿土, $H=0.03\sim 3\text{ m}$ , $C\geq 0.2$
		404	湖泊	自然水面, 静止
		405	水库/坑塘	人工水面, 静止 沿海晒盐场地
		406	河流	自然水面, 流动
		407	运河/水渠	人工水面, 流动
5	人工表面	501	建设用地	人工硬表面, 包括居住地和工业用地
		502	交通用地	人工硬表面, 线状特征
		503	采矿场	人工挖掘表面
6	其他	601	苔藓/地衣	自然, 苔藓或地衣覆盖
		602	裸岩	自然, 坚硬表面, 石质, $C<0.04$
		603	戈壁	自然, 砾石表面, 砾漠, $C<0.04$
		604	裸土	自然, 松散表面, 壤质, $C<0.04$
		605	沙漠	自然, 松散表面, 沙质, $C<0.04$
		606	盐碱地	自然, 松散表面, 高盐分
		607	冰川/永久积雪	自然, 水的固态

C: 覆盖度\郁闭度(%); F: 针阔比率(%); H: 植被高度(m); T: 水一年覆盖时间(月); K: 湿润指数。

的完整和丰富。ChinaCover 共分6个一级类,40个二级类<sup>[37]</sup>。由于该数据的精度高及长时间尺度的优点,本文以ChinaCover的土地覆被数据为绿洲生态系统底图数据,完成1975—2020年河西内陆河流域绿洲土地结构数据的制图。

## 2 研究区概况与数据处理

### 2.1 研究区概况

河西内陆河流域位于甘肃省和内蒙古自治区的

西部,长约1 000 km,宽30~530 km,海拔1 000~3 200 m,面积33.53万km<sup>2</sup>(面积不包括青海流域部分,图1)。河西内陆河流域是石羊河、黑河和疏勒河等水系的总称,流域上游为祁连山脉,中游为走廊平原区,下游则是腾格里沙漠、巴丹吉林沙漠和库姆塔格沙漠<sup>[38]</sup>,在行政区划上包括了甘肃的武威、张掖、酒泉和金昌、嘉峪关等五地市和内蒙古的额济纳旗。河西内陆河流域地处欧亚大陆腹地,远离海洋,是典型的大陆性季风气候,呈现出温带、暖温带干旱气候特征,年降水量50~600 mm,年平均气温4~9℃<sup>[38]</sup>。

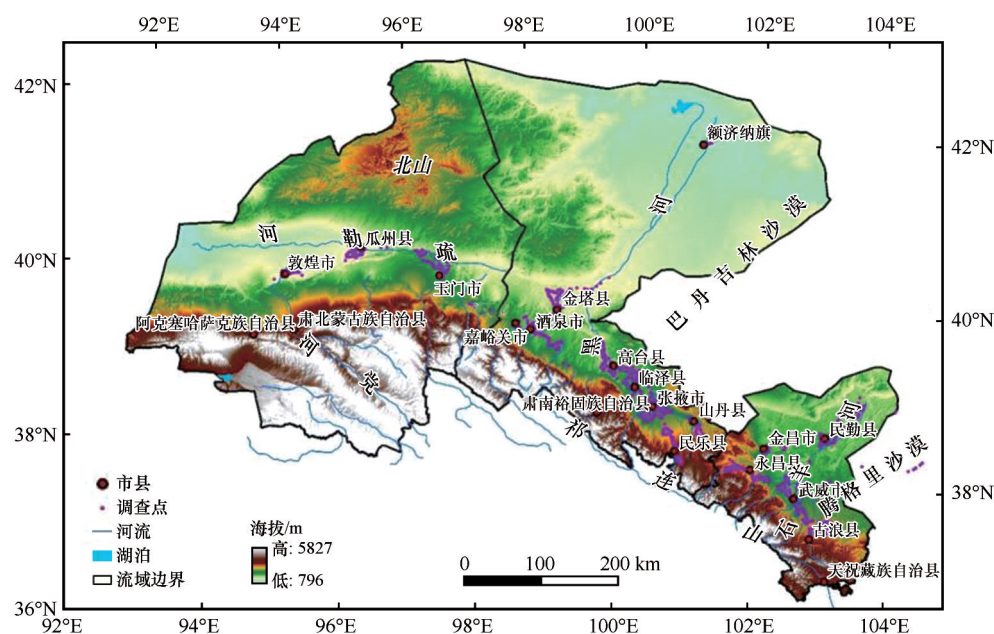


图1 研究区位置

Fig. 1 The location of the study area

### 2.2 遥感影像

遥感影像主要采用的是Landsat系列数据,其中土地覆被解译所需遥感影像来自美国地质调查局(<http://glovis.usgs.gov/>),每期数据需要24景覆盖影像(图2)。影像选择的原则是,成像时间集中在生长季(5—9月),且云量<10%,当个别时段影像数据缺失或质量不佳时,则以标准年的上下年份代替,其中1970年代的MSS影像由于影像非常少,因此选择时只要是1970年代的绿洲区无云或少云的影像数据均可使用。获取影像后,对原始数据进行相应的处理,如波段合成、投影转换等,本文中所有影像数据存储格式全部采用IMG格式,投影坐标统一为WGS\_1984\_Albers等积投影,分辨率为30 m。

### 2.3 土地覆被数据

土地覆被数据来自ChinaCover数据集,利用河西走廊的边界进行裁切得到1975—2015年河西走廊土地覆被数据,然后利用2015年的数据为底图数据,采用目视解译方法在ArcGIS软件平台下更新获取2020年研究区土地覆被数据,而1975年数据采用同一方法由1990年数据为底图数据动态更新而来。由此即可获得河西走廊内陆河流域1975、1990、2000、2005、2010、2015、2020年30 m分辨率土地覆被数据。

### 2.4 植被覆盖度

植被覆盖度采用植被像元二分模型进行估算<sup>[39]</sup>。Landsat NDVI主要采用的是监测年份前后

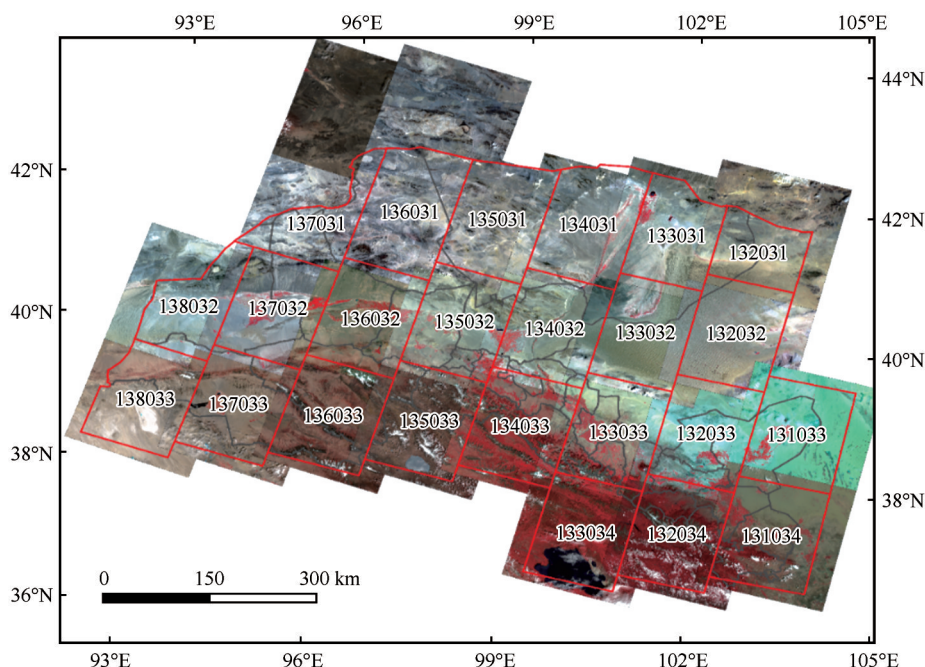


图2 河西内陆河流域Landsat轨道号及2020年OLI影像

Fig. 2 The Landsat track number and 2020 OLI image in Hexi inland river basin

一年的生长季(5—9月) $NDVI$ 的平均值,以2015年监测年份为例就是利用2014—2016年5—9月的Landsat影像计算3年生长季平均 $NDVI$ ,其中1975年的 $NDVI$ 采用的是1982—1985年的影像计算替代。具体的操作方法是在GEE(Google Earth Engine)平台上利用Landsat的大气顶部反射率(TOA)数据,以研究区边界和监测时段为筛选条件,采用 $NDVI$ 平均值合成方法获取监测年份的3年平均 $NDVI$ 。然后在python3.6中计算完成 $FVC$ 。具体可表示为:

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \quad (1)$$

式中: $FVC$ 表示植被覆盖度; $NDVI_{veg}$ 和 $NDVI_{soil}$ 分别表示纯植被像元和纯土像元的 $NDVI$ 。理想状况下, $NDVI_{soil}$ 值接近于0,而 $NDVI_{veg}$ 值接近于1。但在实际工作中因缺少大面积地表实测数据作参考,所以通常对 $NDVI$ 统计直方图给定置信区间,分别选取积累百分数为0.5%和99.5%作为 $NDVI_{soil}$ 和 $NDVI_{veg}$ 。

由此得到河西内陆河流域植被覆盖度数据。

## 2.5 DEM数据

数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)数据下载自地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)ASTER GDEM 30M分辨率数字高程数据,利

用研究区边界对DEM进行裁切(图1)。

## 2.6 野外调查数据

由于地物复杂性和遥感数据时空分辨率的限制,仅靠自动分类的精度很难满足实际应用需求,需要大量地面调查点的支持。采样点采集主要通过野外考察获取,当一些采样点无法在野外调查获取时,使用高分辨率的图像(VHR)和谷歌地球(GE)解译获取。野外考察数据分为训练样本数据和验证数据,数量分别为3 463个和1 174个(图1)。

## 3 绿洲生态系统制图方法

### 3.1 基于ChinaCover数据集的绿洲生态系统分类体系

绿洲演变分为绿洲演化和绿洲变迁<sup>[40]</sup>,因此绿洲分类系统应该既要体现绿洲的扩张/退缩又要体现绿洲内部土地类型的变化。绿洲扩张/退缩主要体现在荒漠、人工绿洲、自然绿洲和过渡带的相互转化中,而绿洲内部结构的变化则主要表现在土地覆被类型的转变,比如建设用地侵占耕地、草地开垦为耕地、耕地的撂荒等。

绿洲时空分布格局研究中,根据研究目的的不同,绿洲分类系统主要有两类。一类是基于绿洲土地利用/覆被特征,参考土地利用/覆被土地分类系

统,将绿洲分为耕地、防护林、防护草地、建设用地、人工湿地等,这种分类一般专门针对人工绿洲进行分类,用于绿洲演化研究;另一类是根据绿洲的人类改造强度,将绿洲分为人工绿洲、自然绿洲和过渡带,这种分类一般用于绿洲变迁研究。然而在内陆河流域尺度,一个完整的绿洲生态系统包括人工绿洲、荒漠-绿洲过渡带和自然绿洲<sup>[14]</sup>。同时,由于上下游水资源的分配以及人类改造强度的因素,不仅绿洲外围持续存在着扩张或退缩,同时绿洲内部也不断发生土地类型的转换。因此,基于前人的研究成果及流域尺度绿洲生态系统特点<sup>[6,9,11,41]</sup>,同时

考虑 ChinaCover 的“面向全国生态系统碳收支”分类系统,将绿洲生态系统分类体系分为三级分类,其中一级类型包括人工绿洲、自然绿洲、过渡带和山地荒漠;二级类型在一级类型的基础上继承 ChinaCover 数据的一级类型即林地、草地、耕地、湿地、人工表面和其他;三级类型则是继承 ChinaCover 数据的一级类型时同时继承的二级类型(表 2)。在本文中为便于把握绿洲演变规律,仅对绿洲生态系统分类体系的一级和二级分类进行阐述研究。因此,本文的绿洲生态系统分类体系及特征描述如表 3 所示。

表 3 基于 ChinaCover 数据集的绿洲生态系统分类体系  
Table 3 Oasis ecosystem classification system based on ChinaCover data set

一级类型	特征描述及分布	二级类型	特征描述及分布
人工绿洲	位于荒漠基质背景下,植被生产力明显高于周围,耕地和建设用地是其主要土地覆被类型,绿洲外围和耕地周围有明显的条带状防护林草带	林地	以人工防护林为主,主要是防护人工绿洲遭到风沙侵害,与耕地或建设用地这样的典型类型相邻
		草地	分布在绿洲内部,斑块较小,一般属于未开垦地或者撂荒地
		耕地	人工绿洲的主体,呈规则的块状
		湿地	人工绿洲内的坑塘、人工湿地、河渠等
		建设用地	人工绿洲内的农村居民点、城镇用地及道路设施
荒漠-绿洲过渡带	由于自然绿洲与荒漠没有明显的植被覆盖度降低的梯度,本研究中过渡带指的是人工绿洲和荒漠的中间地带。因此主要分布在荒漠和人工绿洲之间,以天然或半人工灌草为主,植被生产力明显低于人工绿洲,高于荒漠,通常植被覆盖度高于 14%	未利用地	人工绿洲内斑块较小的未利用地,一般多为裸土、盐碱地等
		林地	分布在人工绿洲的外围,以天然或半人工林灌为主,有少量的人类活动痕迹
		草地	分布在人工绿洲的外围,以天然或半人工草地为主,有少量的人类活动痕迹
		湿地	分布在人工绿洲的外围,以天然湿地为主,遭受少量的人类活动影响
		未利用地	过渡带内斑块较小的未利用地,一般不与山地-荒漠系统连接,多为裸土、盐碱地等
自然绿洲	主要分布在下游尾间附近,主要是无人工干扰的林草灌等类型,有的具有一定面积的天然湿地。小部分位于河流两边,属于河岸林	林地	分布在流域下游或河流两侧,与人工绿洲的位置关系是在人工绿洲的下方向,一般是天然林灌,极少受到人类干扰
		草地	分布在流域下游或河流两侧,与人工绿洲的位置关系是在人工绿洲的下方向,一般是天然旱生草地,极少受到人类干扰
		湿地	分布在流域下游河流和尾间湖泊及周围湿地
		未利用地	自然绿洲内斑块较小的未利用地,一般不与山地-荒漠系统连接,多为裸土、盐碱地等

3.2 绿洲生态系统制图方法

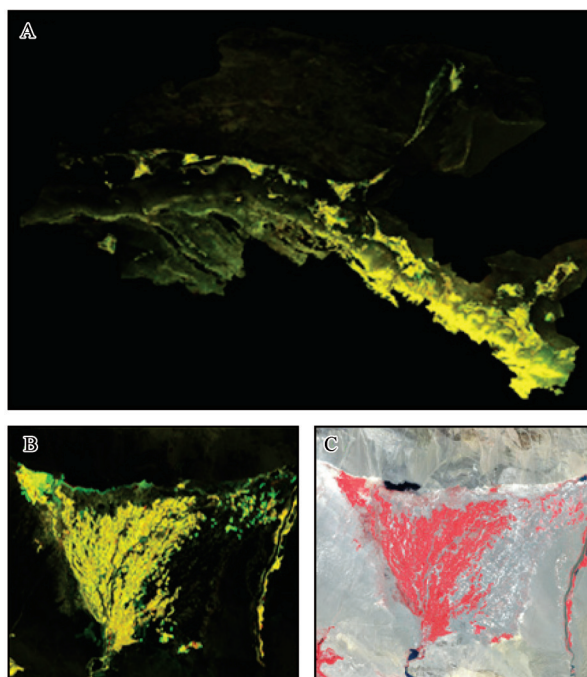
绿洲生态系统制图思路是在 ChinaCover 数据集的基础上区分出绿洲生态系统一级类型,然后分别继承 ChinaCover 数据的土地覆被属性。在进行绿洲生态系统一级类型生产时涉及到分类方法如

何选择,而大量的研究表明,相较于其他机器学习方法,随机森林方法在干旱区绿洲分类上具有精度高、稳定性强和速度快等优点<sup>[42-44]</sup>。因此,绿洲生态系统制图主要分为两部分:基于面向对象的随机森林分类绿洲一级类型制图;基于叠加分析绿洲生态系统二级类型制图。

基于面向对象的随机森林分类绿洲一级类型生产。在对研究区绿洲生态系统一级分类解译前首先是明确对研究区绿洲空间分布的经验认识,即:研究区自然绿洲主要分布在河流的下游,且石羊河流域自然绿洲稀少;过渡带分布在人工绿洲外围。接着,将野外和高分辨率影像上采集的样本点重新分类为人工绿洲植被、人工绿洲建设用地、自然绿洲、过渡带、荒漠、山地、水体等7类,然后将2020年研究区 Landsat OLI 影像(红绿蓝三波段)、植被覆盖度、DEM及衍生数据(海拔和坡度)影像以及训练样本数据导入易康工程。接着,采用多尺度分割方法,通过试错法,确定分割尺度为40,紧致度为0.5,形状指数为0.1,波段权重均为1,由此将研究区分割为3 149 227个对象。选择波段平均值(3个特征)、均方差(3个特征)、亮度值、归一化植被指数、归一化水体指数、海拔、坡度、植被覆盖度等12个特征指数,以随机森林作为分类器,参数设置最大深度为8,最小样本数为6,其他参数采用系统默认值,对训练样本进行训练。将分割对象利用训练规则进行训练分类,得到了基于随机森林的初步分类数据,再利用人工目视解译方法,根据先验知识以及各类型的位置关系,对错误分类进行校正,最后对不同类型对象进行合并,得到2020年绿洲生态系统一级分类数据。

而对于其他年份的数据的生产,则是以相邻年份的数据作为底图数据输入工程作为参数数据,对其进行动态变化监测。以2015年的数据反推更新为例,将2015年的 Landsat OLI 影像(红绿蓝三波段)数据以及2015年和2020年的植被覆盖度输入易康工程,采用上述参数进行分割,通过指定2015年植被覆盖度为红波段显示,2020年为绿波段显示发现(图3):两期影像植被覆盖度低值区显示为黑灰色,植被覆盖度高值区显示为黄色,绿洲发生扩展的区域显示为绿色,绿洲发生退缩的区域显示为红色。由此根据光谱差异,再分为变化区域和无变化区域选择变化监测训练样本,同样运用随机森林分类器进行变化监测的分类,最后通过人工目视修正得到2015年河西内陆河流域绿洲生态系统一级类型数据。以此类推,分别获得1975、1990、2000、2005、2010年的研究区绿洲生态系统一级类型数据。

基于叠加分析绿洲生态系统二级类型制图。利用 ArcGIS 软件的 Identity 功能将对应年份的绿洲生态系统一级类型数据与 ChinaCover 数据进行叠



A: 研究区图层叠加显示图; B: 金塔绿洲 2015—2020 年变化细节图, 由于近几年该区域大力发展戈壁农业, 因此图中显示绿洲扩展区域为绿色; C: 金塔绿洲 2015 年假彩色影像显示图

图3 2015—2020年研究区植被覆盖度变化监测显示

Fig. 3 Monitoring display of vegetation coverage changes in the study area during 2015-2020

加,获得同时具有绿洲生态系统一级类型和 China-Cover 土地覆被类型的数据,然后利用目视解译的方法进行修正,利用计算器将两种类型的数据结合形成四位码,比如1501为人工绿洲建设用地,其中千位码为绿洲一级类属性,百位码为绿洲二级类属性。赋值完成之后,将三级类合并,最终完成1975—2020年7期河西内陆河流域绿洲生态系统类型数据。

### 3.3 精度验证方法

绿洲类型数据生产时的质量控制是其产品可靠性的保证,而客观可靠的精度验证是对数据质量检验和精度特征的分析。混淆矩阵是常用的遥感影像分类结果精度验证方法<sup>[45]</sup>,其中常用的分类精度评价指标主要有用户精度、制图精度、总体精度和 Kappa 系数,具体计算方法见参考文献[45]。

## 4 结果与分析

### 4.1 精度验证

在本文中绿洲生态系统二级类数据由于直接

使用的是ChinaCover数据。ChinaCover产品的精度评估采用分层随机抽样的野外验证方法,通过野外实地调查进行验证,保证了精度评估的可靠性<sup>[46]</sup>,经验证,西北地区土地覆被一级类型精度为88.6%~99.7%(图4),明显高于GlobeLand30 2020数据。在本文中该数据作为绿洲生态系统的二级类型,其本身的精度已经达到后续分析使用的精度。因此本文仅对绿洲生态系统的一级类型进行精度验证。

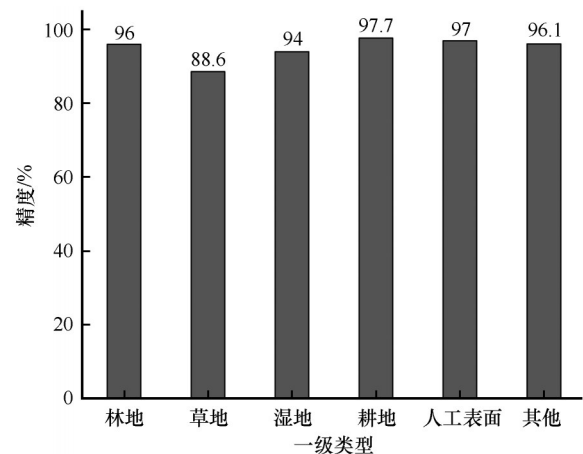


图4 ChinaCover产品中北方温带干旱区土地覆被一级类型精度<sup>[46]</sup>

Fig. 4 Accuracy of the first-level type of land cover in the northern temperate arid area of ChinaCover product<sup>[46]</sup>

在绿洲生态系统一级类验证过程中,由于所有时期数据的参考数据均为2020年的绿洲生态系统数据,其他时期的数据均是在此基础上进行动态变化监测,同时数据在生产过程中加入了人工目视解译过程,因此在精度验证中仅对2020年的数据进行验证即可保证所有时期数据的精度。通过验证点进行重分类,计算得到一级类型验证精度结果(表4)。结果表明,绿洲一级类型分类总体精度达到96.17%;Kappa系数为0.936。

综合ChinaCover产品的精度及绿洲一级类型分类精度,绿洲生态系统二级类型的精度为82.64%~92.99%。

4.2 河西内陆河流域绿洲变化

4.2.1 绿洲分布现状

2020年河西内陆河流域绿洲面积30 071.71 km<sup>2</sup>,占研究区比例为8.97%,略高于中国干旱区平均水平(8.17%,2015年)<sup>[47]</sup>。其中人工绿洲面积为17 622.57 km<sup>2</sup>,占绿洲生态系统面积比例为58.60%,主要分布

表4 2020年绿洲生态系统一级类型分类结果混淆矩阵  
Table 4 Confusion matrix for the classification results of the first-level types of oasis ecosystems in 2020

	人工绿洲	自然绿洲	过渡带	山地荒漠	合计
人工绿洲	669	3	5	1	678
自然绿洲	5	127	2	2	136
过渡带	8	7	83	5	103
山地荒漠	0	3	4	250	257
合计	682	140	94	258	1 174
用户精度	98.09%	90.71%	88.30%	96.90%	
制图精度	98.67%	93.38%	80.58%	97.28%	
总体精度	96.17%				
Kappa 系数	0.936				

于走廊中部区域;过渡带面积为5 170.76 km<sup>2</sup>,占绿洲生态系统面积比例为17.19%,主要分布在走廊中部区域人工绿洲外围,以黑河流域和石羊河流域分布居多。自然绿洲面积为7 278.38 km<sup>2</sup>,占绿洲生态系统面积比例为24.20%,主要分布在各个流域下游河段周边及尾间附近,以黑河下游和疏勒河下游分布居多(图5)。

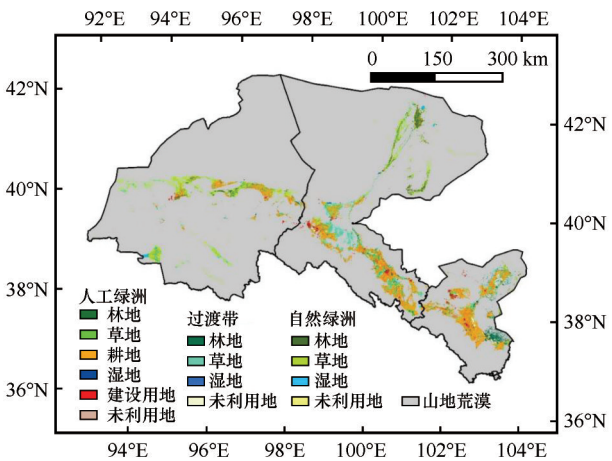


图5 河西内陆河流域绿洲空间分布现状(2020年)  
Fig 5 Spatial distribution of oasis in the Hexi inland river basin in 2020

从绿洲生态系统的土地覆被结构分析(表5),河西内陆河流域人工绿洲主要土地覆被类型为耕地,面积为13 333.13 km<sup>2</sup>,占人工绿洲面积的75.66%;其次是建设用地,面积为1 712.99 km<sup>2</sup>,占9.72%。过渡带和自然绿洲内主要的土地覆被类型均为草地,面积分别为2 974.67 km<sup>2</sup>和4 593.83 km<sup>2</sup>,占过渡带和自然绿洲面积比例分别为57.53%和

表 5 1975—2020 年绿洲土地覆被类型面积 (km<sup>2</sup>)  
Table 5 Area of Oasis land cover types from 1975 to 2020 (km<sup>2</sup>)

一级类型	二级类型	1975 年	1990 年	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年
人工绿洲	林地	526.45	544.69	645.09	700.98	754.30	848.70	902.43
	草地	884.14	857.88	993.51	1 012.52	1 148.02	1 231.31	1 186.39
	耕地	11 016.00	11 315.92	12 083.39	12 760.85	12 858.57	13 032.21	13 333.13
	湿地	138.11	150.33	152.84	165.48	188.77	207.11	207.24
	建设用地	1 128.45	1 167.65	1 172.63	1 257.22	1 324.50	1 617.21	1 712.99
	未利用地	293.08	227.54	221.55	210.29	213.01	273.82	280.39
	小计	13 986.21	14 264.00	15 269.01	16 107.35	16 487.16	17 210.35	17 622.57
过渡带	林地	1 273.93	1 260.92	1 218.73	1 186.06	1 125.18	1 101.01	1 103.84
	草地	4 026.42	3 976.08	3 535.31	3 372.20	3 306.82	3 102.80	2 974.67
	湿地	39.70	35.25	33.34	28.10	27.94	28.46	32.71
	未利用地	1 581.86	1 582.40	1 403.74	1 380.55	1 112.49	1 066.98	1 059.53
	小计	6 921.90	6 854.65	6 191.13	5 966.92	5 572.43	5 299.25	5 170.76
自然绿洲	林地	1 613.55	1 615.79	1 600.01	1 586.13	1 582.54	1 548.26	1 573.78
	草地	4 814.36	4 807.38	4 739.16	4 602.05	4 558.62	4 535.54	4 593.83
	湿地	550.13	518.90	517.26	594.06	600.93	727.34	722.43
	未利用地	407.38	386.97	382.58	393.27	337.22	387.80	388.34
	小计	7 385.43	7 329.04	7 239.01	7 175.51	7 079.31	7 198.94	7 278.38
总计		28 293.55	28 447.69	28 699.15	29 249.77	29 138.90	29 708.55	30 071.71

63.12%，其次是林地，面积分别为 1 103.84 km<sup>2</sup> 和 1 573.78 km<sup>2</sup>，分别占 21.35% 和 21.62%。值得关注的是自然绿洲内湿地类型面积较大，为 722.43 km<sup>2</sup>，占自然绿洲比例为 9.93%。

4.2.2 绿洲一级类变化

由图 6 和表 5 可知，1975—2020 年研究区绿洲面积整体上呈增加趋势，由 1975 年的 28 293.55 km<sup>2</sup> 增

加到 2020 年的 30 071.71 km<sup>2</sup>，年均增加 39.51 km<sup>2</sup>，面积增加较快的两个阶段是 2000—2005 年和 2010—2015 年。其中，人工绿洲呈持续扩张趋势，扩张速度略高于总的绿洲，由 1975 年的 13 986.21 km<sup>2</sup> 增加到 2020 年的 17 622.57 km<sup>2</sup>，年均增加 80.81 km<sup>2</sup>，变化较快的阶段与总的绿洲变化阶段保持一致；过渡带呈持续萎缩趋势，由 1975 年的 6 921.90 km<sup>2</sup> 减少到 2020 年的 5 170.76 km<sup>2</sup>，年均减少 39.91 km<sup>2</sup>，其中减少较快的 3 个阶段依次是 2005—2010、2010—2015、1990—2000 年；自然绿洲的变化速度明显低于人工绿洲和过渡带的变化速度。与人工绿洲的持续扩张和过渡带的持续萎缩不同的是自然绿洲的变化以 2010 年为节点分为 2 个阶段，2010 年以前呈萎缩趋势，年均减少 8.75 km<sup>2</sup>，2010 年以后呈恢复趋势，年均增加 19.91 km<sup>2</sup>。

4.2.3 绿洲土地覆被类型变化

1975—2020 年河西内陆河流域人工绿洲的除未利用地外其他各类型均呈现增加趋势，其中增加面积最多的是耕地类型，45 年增加 2 317.13 km<sup>2</sup>，主要是侵占了荒漠、自然绿洲和过渡带的草地；建设

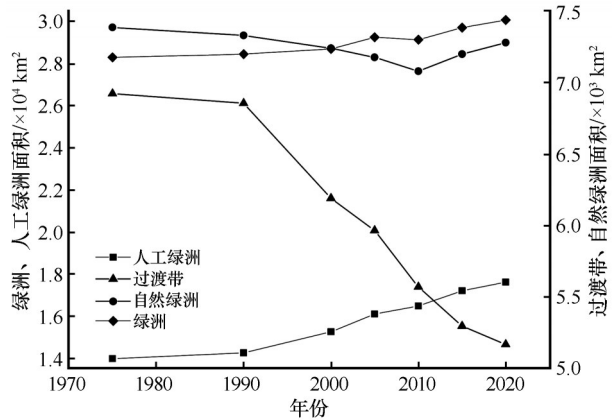


图 6 1975—2020 年河西内陆河流域绿洲面积变化  
Fig. 6 Changes of oasis area in Hexi inland river basin from 1975 to 2020

用地的面积也发生了明显的增加,尤其是近 20 年来,面积增加了 540.36 km<sup>2</sup>,这主要得益于城镇化的发展、基础设施的建设以及光伏用地的增加。过渡带的各土地覆被类型均呈现减少趋势,减少的类型均是以草地为主,45 年间草地面积减少了 1 051.74 km<sup>2</sup>。自然绿洲整体上也呈现萎缩趋势,同样是草地的减少最多,减少面积为 220.53 km<sup>2</sup>,但湿地类型由于政府实施的调水/分水工程的影响,从 2000 年以来增加趋势,增加了 205.18 km<sup>2</sup>。

5 精度对比与分析

5.1 绿洲数据与土地覆被数据精度对比

为验证本数据与同类土地覆被精度差异,利用验证点数据,分别验证了本数据和 FROM-GLC (Finer Resolution Observation and Monitoring of Global Land Cover, 10 m 分辨率)的精度(表 6)。通过验证本数据二级类型(全部二级类型,不考虑人工绿洲、过渡带和自然绿洲的区别)分类总计精度为 89.33%,Kappa 系数为 0.845;而 FROM-GLC 的数据分类总体精度仅为 60.08%,Kappa 系数为 0.439。数据精度也高于 GlobeLand30 2020(该数据产品是目前免费发布的 30 m 分辨率中精度最高的数据产品)。由此,表明基于 ChinaCover 数据集的绿洲结构数据制图精度明显高于同类产品。

表 6 本数据产品与 FROM-GLC 数据精度对比				
Table 6 The comparison of the accuracy on between this data product and FROM-GLC data				
类型	FROM-GLC 数据		本研究绿洲二级类数据	
	制图精度	用户精度	制图精度	用户精度
农田	72.36%	81.65%	92.19%	95.93%
林地	14.29%	57.14%	87.04%	90.38%
草地	47.27%	40.00%	79.17%	63.33%
建设用地	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%
湿地	94.74%	85.71%	94.74%	100.00%
未利用地	88.24%	29.41%	76.47%	68.42%
总体	60.08%		89.33%	
Kappa 系数	0.439		0.845	

5.2 河西地区绿洲数据间对比分析

河西内陆河流域作为干旱区典型的绿洲群,众多学者对该区域的绿洲数据进行生产,其中 oa-

sis\_xie<sup>[8-10]</sup>和 oasis\_wang<sup>[7]</sup>数据具有一定的代表性。因此,有必要将本文绿洲数据与二者的数据进行对比分析。

在数据源使用上,本文在充分挖掘 ChinaCover 数据的基础上,结合遥感影像进行数据生产,而 oasis\_xie 则是直接使用遥感影像进行阈值分割, oasis\_wang 则是根据现有的土地利用数据类型进行裁切合并而来。在分类系统上,本文采用二级分类系统,同时兼顾了绿洲景观的普遍性和独特性,不仅可以区分人工绿洲、自然绿洲和过渡带,而且可以区分绿洲的土地覆被结构,而 oasis\_xie 仅区分了绿洲和荒漠,没有对绿洲内的结构变化进行进一步的识别, oasis\_wang 则没有考虑绿洲本身的特点,仅区分绿洲内的土地覆被类型。

在研究区绿洲面积上, oasis\_wang 和 oasis\_xie 实际上仅生产了人工绿洲数据,而且研究区缺失黑河下游绿洲数据,为了便于对比分析,本文仅分析人工绿洲部分,并且在统计时参考谢家丽等<sup>[41]</sup>的研究成果,将二者数据中缺失的黑河下游绿洲数据补充完整。以 2010 年为例,人工绿洲的面积排序是本数据>oasis\_xie>oasis\_wang(表 7),主要原因是 oasis\_xie 数据是根据归一化植被指数(NDVI)阈值提取,2010 年最小值取值为 0.28,因此对于 NDVI<0.28 的绿洲区域发生遗漏,而 oasis\_wang 的数据统计时是根据两期数据均属于绿洲的区域提取,因此面积最小。通过对比本数据和 oasis\_wang 的土地覆被类型,发现耕地和草地的面积差异较大,可能是因为 oasis\_wang 仅统计了两期绿洲的共同区域,导致绿洲的部分土地类型缺失。因此, oasis\_wang 和 oasis\_xie 对河西内陆河流域绿洲的实际规模严重低估。

表 7 本数据人工绿洲与其他数据产品面积比较(2010 年, km <sup>2</sup> )				
Table 7 Comparison of the area of artificial oases in our data with other data products (2010, Unit: km <sup>2</sup> )				
一级类型	二级类型	本数据	oasis_wang	oasis_xie
人工绿洲	林地	754.3	629.61	—
	草地	1 148.02	786.2	—
	耕地	12 858.57	10 262.61	—
	湿地	188.77	301.54	—
	建设用地	1 324.5	1 395.94	—
	未利用地	213.01	208.15	—
	小计	16 487.16	13 584.05	14 410.73

## 6 结论

鉴于以往绿洲生态系统产品有的是从土地覆被延伸过来,简单地把城镇、耕地、道路等类型作为人工绿洲;有的利用植被覆盖度阈值法仅分析绿洲一级类型的变化,无法探究绿洲内部结构变化的数据。针对以上问题,本文充分挖掘现有土地覆被数据信息,同时兼顾绿洲生态系统特点,完成一套流域尺度的既能与现有土地利用/覆被产品配套使用,同时又能体现出绿洲研究的独特性的绿洲生态系统结构专题数据。

通过精度验证,绿洲生态系统一级类型总体精度为96.17%,二级类型的精度为82.64%~92.99%,制图精度明显高于现有的土地覆被产品。

2020年河西内陆河流域绿洲占研究区比例为8.97%,略高于中国干旱区平均水平,一级类型以人工绿洲为主,二级类型以耕地和草地为主。近45年河西内陆河流域绿洲呈持续扩张趋势,变化表现为人工绿洲扩张侵占过渡带、自然绿洲和荒漠类型;而二级类型是以耕地的增加和草地的减少为主要特征。

通过与现有具有代表性的绿洲数据对比分析,现有的绿洲数据对绿洲实际规模严重低估。

由于本文主要侧重于基于ChinaCover数据集的绿洲结构数据的制图,对河西内陆河流域绿洲的时空变化,尤其是子流域间绿洲的变化对比缺乏深入分析,后续应充分挖掘该数据产品的信息,为干旱区绿洲的时空变化提供科学支撑。

基于ChinaCover数据集的绿洲结构数据制图方法可以充分利用现有的土地利用/土地覆被数据产品,同时又能体现出绿洲研究的独特性,是一种干旱区绿洲制图简单精准的数据方法。

## 参考文献:

- [1] 申元村. 拓展中国绿洲研究, 促进干旱区域可持续发展[J]. 干旱区研究, 2007(4): 415.
- [2] 王涛. 干旱区绿洲化、荒漠化研究的进展与趋势[J]. 中国沙漠, 2009, 29(1): 1-9.
- [3] 赵文智, 庄艳丽. 中国干旱区绿洲稳定性研究[J]. 干旱区研究, 2008(2): 155-162.
- [4] 王玉洁, 秦大河. 气候变化及人类活动对西北干旱区水资源影响研究综述[J]. 气候变化研究进展, 2017, 13(5): 483-493.
- [5] Jia B, Zhang Z, Ci L, et al. Oasis land-use dynamics and its influence on the oasis environment in Xinjiang, China[J]. Journal of Arid Environments, 2004, 56(1): 11-26.
- [6] 巩杰, 谢余初, 高彦净, 等. 1963-2009年金塔绿洲变化对绿洲景观格局的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(3): 603-612.
- [7] 王新源, 刘世增, 陈翔舜, 等. 河西走廊绿洲面积动态及其驱动因素[J]. 中国沙漠, 2019, 39(4): 212-219.
- [8] Bie Q, Xie Y. The constraints and driving forces of oasis development in arid region: a case study of the Hexi Corridor in northwest China[J]. Scientific Reports, 2020, 10: 17708.
- [9] Xie Y, Bie Q, Lu H, et al. Spatio-temporal changes of oases in the Hexi Corridor over the past 30 years [J]. Sustainability, 2018, 10: 4489.
- [10] 卫娇娇. 基于遥感的甘肃河西地区绿洲分布提取及时空变化分析[D]. 兰州: 兰州大学, 2016.
- [11] 李森, 颜长珍. 近20年来河西走廊人工绿洲演变及人为因素分析[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(4): 92-98.
- [12] 赵文智, 杨荣, 刘冰, 等. 中国绿洲化及其研究进展[J]. 中国沙漠, 2016, 36(1): 1-5.
- [13] 陈曦, 罗格平. 干旱区绿洲生态研究及其进展[J]. 干旱区地理, 2008(4): 487-495.
- [14] 赵文智, 常学礼. 河西走廊水文过程变化对荒漠绿洲过渡带NDVI的影响[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(7): 1561-1571.
- [15] 武磊, 李常斌, 王刘明, 等. 基于ESA-LUC和MODIS-NDVI的西北干旱荒漠-绿洲体系分类阈值及应用[J]. 中国沙漠, 2020, 40(6): 139-150.
- [16] Foley J A, DeFries R, Asner G P, et al. Global consequences of land use[J]. Science, 2005, 309(5734): 570-574.
- [17] Running S W. Ecosystem disturbance, carbon, and climate [J]. Science, 2008, 321(5889): 652-653.
- [18] 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.
- [19] Zhang Z, Wang X, Zhao X, et al. A 2010 update of National Land Use/Cover Database of China at 1: 100000 scale using medium spatial resolution satellite images [J]. Remote Sensing of Environment, 2014, 149: 142-154.
- [20] Yang Y, Xiao P, Feng X, et al. Accuracy assessment of seven global land cover datasets over China [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2017, 125: 156-173.
- [21] Chen J, Zhu X, Imura H, et al. Consistency of accuracy assessment indices for soft classification: Simulation analysis [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2010, 65: 156-164.
- [22] Fei C, Jun C, Hao W, et al. A landscape shape index-based sampling approach for land cover accuracy assessment [J]. Science China (Earth Sciences), 2016, 59(12): 2263-2274.
- [23] Loveland T R, Belward A S. The IGBP-DIS global 1 km land cover data set, DISCover: first results [J]. International Journal of Remote Sensing, 1997, 18(15): 3289-3295.
- [24] Loveland T R, Reed B C, Brown J F, et al. Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover

- from 1 km AVHRR data [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21(6/7): 1303–1330.
- [25] 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.
- [26] Bartholome 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.
- [27] 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(1/2): 287–302.
- [28] Friedl M A, Sulla-Menashe 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.
- [29] Arino O, Bicheron P, Achard F, et al. GLOBCOVER: the most detailed portrait of Earth [J]. *ESA Bulletin*, 2008, 136: 25–31.
- [30] Bontemps S, Defourny P, Van Bogaert E, et al. GLOBCOVER 2009 products description and validation report [J]. *Foro Mundial De La Salud*, 2011, 136(53): 10013.
- [31] Defourny P, Achard F, Boettcher M, et al. Global and regional land cover mapping and characterization for climate modelling: current achievements of the Land Cover component of the ESA Climate Change Initiative [C] // *Living Planet Symposium 2016*. Prague, Czech, 2016.
- [32] Tateishi R, Hoan N T, Kobayashi T, et al. Production of global land cover data-GLCNMO2008 [J]. *Journal of Geography Geology*, 2014, 6(3): 99.
- [33] Yu L, Wang J, Gong P. Improving 30 m global land-cover map FROM-GLC with time series MODIS and auxiliary data sets: a segmentation-based approach [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2013, 34(16): 5851–5867.
- [34] Karra K, Kontgis C, Statman-Weil Z, et al. Global land use / land cover with Sentinel 2 and deep learning [J]. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS*, 2021: 4704–4707.
- [35] Chen J, Chen J, Liao A, 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.
- [36] 吴炳方, 张森. 从遥感观测数据到数据产品 [J]. *地理学报*, 2017, 72(11): 2093–2111.
- [37] 张磊, 吴炳方, 李晓松, 等. 基于碳收支的中国土地覆被分类系统 [J]. *生态学报*, 2014, 34(24): 7158–7166.
- [38] 张济世. 河西内陆河流域水资源与现代生态环境演变 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2003.
- [39] 王金强, 李俊峰, 王昭阳, 等. 基于像元二分模型的典型绿洲区近 20 年植被覆盖变化及分析 [J]. *节水灌溉*, 2019(1): 96–101.
- [40] 廖杰, 王涛, 薛嫻. 近 55 a 来黑河流域绿洲演变特征的初步研究 [J]. *中国沙漠*, 2012, 32(5): 1426–1441.
- [41] 谢家丽, 颜长珍, 李森, 等. 近 35 a 内蒙古阿拉善盟绿洲化过程遥感分析 [J]. *中国沙漠*, 2012, 32(4): 1142–1147.
- [42] Ge G, Shi Z, Zhu Y, et al. Land use/cover classification in an arid desert-oasis mosaic landscape of China using remote sensed imagery: performance assessment of four machine learning algorithms [J]. *Global Ecology and Conservation*, 2020, 22: e00971.
- [43] 顾峰, 丁建丽, 王敬哲, 等. 基于随机森林的绿洲典型湿地信息提取 [J]. *中国农村水利水电*, 2019(6): 44–50.
- [44] 卡地尔牙·忙苏尔, 依力亚斯江·努尔麦麦提, 张永福, 等. 基于多特征 PolSAR 数据的干旱区土地利用/覆被分类 [J]. *地理空间信息*, 2021, 19(12): 40–44.
- [45] 廖杰. 黑河流域绿洲演变研究 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2011.
- [46] 吴炳方. 中华人民共和国土地覆被地图集 (1:1 000 000) [M]. 北京: 中国地图出版社, 2017.
- [47] Li S, Zhang Z, Wang T, et al. Oasis functional stability evaluation based on multiple indicators, northwest China [J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2020, 94(3): 624–636.

## Mapping oasis structure data based on ChinaCover dataset: a case study of Hexi Inland River Basin

Li Sen, Yan Changzhen

(Key Laboratory of Desert and Desertification, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** The production of oasis thematic data with both oasis uniqueness and structural characteristics is a key basic problem to be solved in oasis research at present. In this paper, a secondary classification system of oasis ecosystem was constructed according to the characteristics of oasis. Then, taking the Hexi inland river basin (HIRB) as the study area, the object-oriented random forest classification and superposition analysis method was used to complete the land structure data mapping of oases in the HIRB from 1975 to 2020 in seven periods, combining with ChinaCover data and Landsat *NDVI* images. The results show that: (1) the oasis structure data mapping method based on ChinaCover data set can produce oasis thematic data quickly and accurately. (2) the overall accuracy of the primary type of the oasis ecosystem is 96.17%, and the accuracy of the secondary type is 82.64%–92.99%, which is significantly higher than that of the existing land cover products. (3) the proportion of oases in HIRB accounted for 8.97% of the study area in 2020, the primary type was mainly artificial oasis, and the secondary type was mainly cultivated land and grassland. (4) the artificial oasis in the HIRB showed a continuous expansion trend, the desert-oasis ecotone showed a shrinking trend, and the natural oasis shrank at first and then expanded in the past 45 years. The expansion of artificial oasis is mainly due to the increase of cultivated land and construction land, while the shrinkage of ecotone and natural oasis is mainly due to the decrease of grassland. This study can provide a simple and accurate data method for oasis mapping in arid areas.

**Key words:** mapping oasis; classification system; oasis change; accuracy evaluation