中国生态农业学报 2018 年 9 月 第 26 卷 第 9 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Sep. 2018, 26(9): 1415−1422

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.180088

陈睿, 赵超, 刘兴冉, 郭英, 沈彦俊. 基于多源卫星数据的黑河中游绿洲区土地利用分类与作物类型提取及其时空变化分析[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(9): 1415−1422

CHEN R, ZHAO C, LIU X R, GUO Y, SHEN Y J. Land classification and spatio-temporal changes of wheat and corn in the middle reaches oasis of Heihe using multi-satellite data[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2018, 26(9): 1415−1422

基于多源卫星数据的黑河中游绿洲区土地利用分类与作物类型提取及其时空变化分析*

陈 睿[1,3], 赵 超[2**], 刘兴冉[3,4], 郭 英[3], 沈彦俊[3]

(1. 河北师范大学资源环境学院 石家庄 050000; 2. 河北省气象科学研究所 石家庄 050022; 3. 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心 石家庄 050022; 4. 河北地质大学土地资源与城乡规划学院 石家庄 050022)

摘 要: 研究土地利用与作物种植结构变化是分析农业生产活动和生态环境变化的重要手段。黑河中游绿洲是我国西北地区最重要的绿洲之一, 也是甘肃省主要的商品粮基地。为准确研究黑河中游绿洲的时空变化情况, 本文利用 2001—2015 年 MODIS 卫星数据, 提取分析了近 15 年黑河中游绿洲范围的时空变化特征; 基于 2001—2016 年的 Landsat/TM, 利用支持向量机分类法获得该绿洲区土地利用分类; 基于 2011—2016 年的 HJ1A/CCD 数据, 利用 HANTS 滤波后的 NDVI 时间序列曲线, 获得作物种植面积的精细分类。经验证, 该土地利用分类精度高于 88.46%, kappa 系数为 0.81; 小麦和玉米与实地验证点对比的分类精度高于 90.8%。结果表明: 1)黑河中游绿洲面积总体为增加趋势, 仅 2014 年、2015 年略有减少, 绿洲面积从 2001 年的 2 701 km^2 增加到 2015 年的 2 936 km^2。2)2001—2016 年间, 裸地面积减少 436.7 km^2, 耕地面积增加 91.3 km^2, 草地、林地面积增加 289.6 km^2。3)2011—2016 年, 小麦、玉米种植面积均有减少, 小麦共计减少 195.77 km^2, 玉米减少 144.37 km^2。研究结果可为当地农业种植结构的调整和作物估产及绿洲生态保护提供一定依据和参考。

关键词: 遥感; 绿洲面积; 土地利用; NDVI 时间序列; 作物分类

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2018)09-1415-08

Land classification and spatio-temporal changes of wheat and corn in the middle reaches oasis of Heihe using multi-satellite data*

CHEN Rui[1,3], ZHAO Chao[2**], LIU Xingran[3,4], GUO Ying[3], SHEN Yanjun[3]

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050000, China; 2. Meteorological Institute of Hebei Province, Shijiazhuang 050022, China; 3. Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050022, China; 4. College of Land Resources and Rural-urban Planning, Hebei GEO University, Shijiazhuang 050022, China)

Abstract: Study on land use/cover and crop planting structure in agricultural regions is critical for analyzing changes in agricultural production activities and the ecological environment. The middle reaches oasis of Heihe is one of the most important oases in Northwest China and it is also the main commodity grain production base in Gansu Province. The use of surface water in Heihe is huge and has resulted in excessive utilization of surface water in the middle reaches of Heihe. The shortage of water resources has led

* 国家自然科学基金项目(91425302)资助

** 通信作者: 赵超, 主要研究方向为农业遥感与数字国土。E-mail: zhaochao-1980@163.com
陈睿, 主要研究方向为遥感。E-mail: zxa1031@163.com

收稿日期: 2018-01-17 接受日期: 2018-05-30

* This study was supported by the National Natural Science Foundation of China (91425302).

** Corresponding author, E-mail: zhaochao-1980@163.com

Received Jan. 17, 2018; accepted May 30, 2018

to the deterioration of ecological environment in the oasis area in the middle reaches of Heihe, which has in turn caused significant damage to the development of Heihe oasis and agriculture. In order to accurately study the temporal and spatial changes of the oases in the middle reaches of Heihe, this study used MODIS satellite data to analyze the time-space variation characteristics of oases in the middle reaches of Heihe for the period from 2001 to 2015. Based on the Landsat/TM of 2001–2016, land use classification for the oasis area was obtained using the support vector machine classification. Then based on the HJ1A/CCD data for 2011–2016, a fine classification of crop planting structure was obtained from the HANTS filtered NDVI time series curve. The reason for the difference in satellite data selection was due to the failure in data quality and the late launch of the satellites. The land use classification method had high accuracy, with classification result accuracy higher than 88.46% and kappa coefficient of 0.81. The classification accuracy of wheat and maize compared with field verification points was higher than 90.8%. The results showed that 1) the area of the oasis in the middle reaches of Heihe generally increased. With the exception of 2014 and 2015 when the area of oasis slightly reduced, it increased from 2 701 km^2 in 2001 to 2 936 km^2 in 2015. 2) For 2001–2016, the area of bare land reduced by 436.7 km^2, that of cultivated land increased by 91.3 km^2, then of grassland and woodland increased by 289.6 km^2 and water body remained unchanged. 3) For 2011–2016, the planted area of wheat and corn decreased. Wheat total area decreased by 195.77 km^2 and that of corn decreased by 144.37 km^2. The results provided the basis and reference for adjustment of the local agricultural structure and crop yield estimation, and water resources and oasis ecology protection. The innovation point of the paper was that the area of oasis calculated based on area calculation formula for vegetation coverage. This correctly reflected the trend of change in the middle reaches of Heihe in the over 15-year period. It provided a new method for the calculation of oasis area, which greatly improved the accuracy of calculation when using low resolution (over 250 m) satellite data.

Keywords: Remote sensing; Oasis area; Land use; NDVI time series; Crop classification

绿洲是干旱区独特的生态系统，是该区农业生产的主要场所，也是人类活动的主要区域。人类活动对绿洲土地利用和生态系统变化起着关键作用，因此对绿洲土地利用的研究便于直观地揭示绿洲及其土地利用的时空变化规律[1]以及人与自然环境之间相互作用的内在因素。耕地是绿洲区土地利用的主要形式之一，随着人类活动加剧，绿洲区人地矛盾和水资源紧缺等问题日益突出，进而影响到区域粮食、生态系统与水资源的安全[2-3]。对区域农作物种植结构的提取研究是掌握作物种类、分布等信息的重要手段[4]，也是农业结构调整的基础[5]和开展农业减灾的重要依据[6-7]。

遥感技术可准确获取绿洲范围的时空变化，并且可对绿洲及农作物生长情况进行监测[8]。陈亚宁等[9]研究了塔里木河流域绿洲演变与适宜的发展规模；郝丽娜等[10]采用水热平衡原理确定了黑河干流中游地区适宜绿洲及耕地规模；潘学鹏等[11]通过 NDVI 时间序列和 CART 算法提取了华北平原冬小麦面积的时空变化；王红营等[12]开展了华北平原主要农作物遥感分类并进行了驱动力分析；钱大文等[13]研究了近 35 年黑河中游临泽县荒漠化时空分异及景观格局变化和荒漠土地的时空动态变化，发现荒漠土地面积总体上呈现减小的趋势。纵观已有的研究，提取绿洲范围所使用的遥感数据空间分辨率并不统一，且高分辨率土地利用分类时间尺度一般只有 10 年甚至更短。同时缺少对作物类型的精细分类以及黑河中游绿洲区种植格局变化的分析。由于前人研究中的卫星分辨率普遍不高，使得黑河中游绿洲区作物种植情况的时空变化分析差异较大。

为了对黑河中游绿洲及其内部土地利用时空变化情况进行更加精确的分析，本文以黑河中游绿洲区为研究区，基于 Terra/MODIS 数据，计算并分析了 2001—2015 年黑河中游绿洲规模；基于 Landsat/TM 数据对 2001 年、2006 年、2011 年、2016 年黑河中游绿洲区进行监督分类，得到黑河中游绿洲区的土地利用变化情况；基于 HJ1A/CCD 数据，通过 CART 算法对黑河中游绿洲区 2011 年、2016 年小麦、玉米进行提取，分析了该区域玉米、小麦种植的时空变化和影响因素，以期对黑河中游绿洲区可持续发展及农业生产提供理论依据，同时为后续长时间序列的分类奠定基础。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于黑河中游(图 1)，在张掖、临泽、高台 3 区县内，位于 38.65°~39.98°N, 98.95°~100.87°E，总面积约 8 700 km^2。研究区属于温带大陆性气候，年均降水量不足 200 mm 且降水时间集中，年蒸发量大，年蒸发能力约为 2 500 mm[14]。研究区光照强烈，昼夜温差大。主要以耕地和未利用地为主，兼有草地、林地、城镇建筑用地和水体。该区域是甘肃省重要的商品粮基地，主要作物为玉米、小麦、蔬菜和林果等，其中玉米占主导地位，由于作物种植面积的不断扩张，导致水资源需求量逐年上升，部

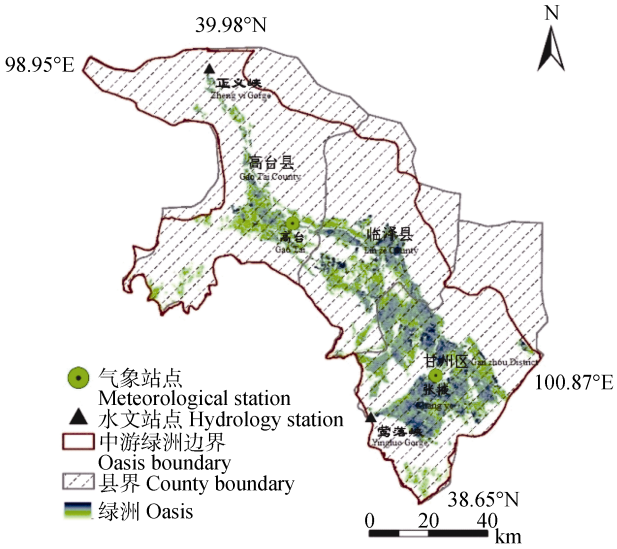

图 1　黑河中游区位图

Fig. 1　Map of the middle reaches of Heihe

分地区土地盐碱化现象严重。

1.2　数据及处理

本研究采用 2001—2015 年 MODIS(Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)Mod13Q1 植被指数 16 d 合成产品, 分辨率为 250 m(下载地址: https://search.earthdata.nasa.gov), 用于绿洲范围的提取与面积计算; 2001 年、2006 年、2011 年、2016 年 Landsat5 卫星遥感数据 2 级产品(下载地址: http://glovis.usgs.gov/), 空间分辨率为 30 m, 用于黑河中游土地利用分类; 以及 2011 年、2016 年 HJ1A 卫星 2 级产品(下载地址: http://218.247.138.119:7777/DSSPlatform/index.html), 空间分辨率为 30 m, 用于主要粮食作物分类提取。Landsat/TM 数据需进行大气校正, 而 HJ1A 数据需进行辐射定标、几何校正和大气校正。

所有数据均选用云层覆盖度小于 15%的相同或相邻时间段内遥感数据, 验证数据采用谷歌地图当年同期影像、寒区旱区科学数据中心(http://westdc.westgis.ac.cn/)提供的土地利用数据、通量观测矩阵数据集以及野外实地采样数据。

1.3　研究方法

1.3.1　黑河中游绿洲范围的确定与面积计算

绿洲是在大尺度荒漠背景中, 具有一定规模的生物群落, 能构成相对稳定的, 具有明显小气候效应的异质生态景观, 包括林地、草地、耕地以及水体。本文绿洲范围通过 NDVI 影像数据与当年同期谷歌地球影像的叠加分析获取, 并利用野外采样数据和研究区内典型地物进行对比, 最终利用植被 NDVI 值的最小值来确定绿洲的范围。

NDVI(Normalized Difference Vegetation Index), 也称归一化差分植被指数、植被覆盖指数, 主要反映植被的生长状态、植被覆盖度等, 其计算公式为:

$$\mathrm{NDVI}=(\mathrm{NIR}-R)/(\mathrm{NIR}+R) \tag{1}$$

式中: NIR 为近红外波段反射率值, R 为红外波段反射率值。一般情况下, NDVI 值在−1 到 1 之间, 负数为水体或云、雪等, 正数为植被覆盖区域, 0 为裸土。

在计算 2001—2015 年黑河中游绿洲规模时, 发现传统的绿洲面积计算方法[公式(2)]虽然速度较快, 但由于没有考虑到混合像元的问题, 导致绿洲面积明显大于实际面积, 因而这种方法准确性较差, 无法分析绿洲的时空变化情况, 故本文提出了基于植被覆盖度的改进型绿洲面积计算公式(3)。

$$S=n\times\left(L\times W\right) \tag{2}$$

$$S=\sum_{i=1}^{n}\left[L\times W\times\left(x_i-\mathrm{NDVI}_{\min}\right)/\left(\mathrm{NDVI}_{\max}-\mathrm{NDVI}_{\min}\right)\right] \tag{3}$$

式中: S 为绿洲面积, n 为绿洲像元总数, L 为像元长度, W 为像元宽度, i 为像元, X_i 为单位像元的 NDVI 值, $\mathrm{NDVI}_{\min}$ 为绿洲内 NDVI 最小值, $\mathrm{NDVI}_{\max}$ 为绿洲内 NDVI 最大值。本文先将植物生长季内 NDVI 最大值和最小值分别提取成图, 然后通过分析研究区内的 NDVI 分布频率确定 $\mathrm{NDVI}_{\min}$ 和 $\mathrm{NDVI}_{\max}$, 选取 NDVI 最小值中累积频率 0.5%所对应的最小值为 $\mathrm{NDVI}_{\min}$, 选取 NDVI 最大值累积频率 99.5%所对应的最大值作为 $\mathrm{NDVI}_{\max}$[15], 对于 NDVI 异常值的像元直接剔除。

1.3.2　黑河中游绿洲区土地利用分类

本文基于野外实地调查和 Landsat5/TM 数据的目视解译, 结合黑河中游绿洲区实际情况[16-17], 构建了黑河中游绿洲区植被分类体系(表 1)。

黑河中游绿洲区 2001—2016 年土地利用分类采用支持向量机分类法(support vector machine), 支持向量机分类法是一种二值分类模型, 其模型可将类与类之间的间隔最大化, 具有较好的准确性[18]。通过两周的野外调研及对 Landsat5 遥感影像的目视判读和计算机解译, 每种地类均人工选取 35~55 个样本, 最后通过分类统计及小斑块处理将分类明显错误的像元转化成为正确地类。

1.3.3　主要作物分类

1)时间序列谐波分析法

HANTS 是一种基于时间序列谐波分析的物候分析方法[19-21], 可以去除异常的 NDVI 值并获得作物在生育期内的 NDVI 时序曲线[12,22]。考虑到黑河中游绿洲区作物熟制主要为一年 1 熟, 该方法可提

高不同作物生长曲线的提取精度，进而通过回归树算法对不同作物进行分类。

表 1 黑河中游绿洲区土地覆被分类体系

Table 1 Land cover classification system in the oasis of the middle reaches of Heihe

一级 First level	二级 Second level	分类描述 Classification description
1 农田 Farmland	11 小麦 Wheat	种植小麦的耕地 Cultivated land for wheat
	12 玉米 Corn	种植玉米的耕地 Cultivated land for corn
	13 蔬菜 Vegetables	种植蔬菜的耕地 Cultivated land for vegetables
	14 其他 Others	种植其他作物的耕地 Cultivated land for other crops
2 林地 Woodland		长有木本植物的土地 Land with woody plants
3 草地 Grassland		长有草本植物的土地 Land with herbaceous plants
4 水体 Water		河流、湖泊、沼泽等大量含水区域 A large water bearing area, such as river, lake, marsh, etc.
5 城镇建筑用地 Urban construction land		城镇、乡村等人为建设用地 Construction land for towns, villages and others
6 未利用地(裸地) Unused land (bare land)		几乎无植被覆盖的土地 Almost no vegetation covered land

本文对黑河中游绿洲区作物的熟制及物候资料进行分析，2008—2013 年作物物候资料表明，研究区内玉米播种均在 4 月中旬，出苗为 4 月底到 5 月初，成熟日期为 9 月下旬；小麦播种时间在 3 月下旬，出苗为 4 月上旬，成熟日期为 7 月中旬。通过 HANTS 滤波后的 NDVI 时间序列数据得到玉米和小麦的 NDVI 时序曲线，并利用物候特征对曲线进行校准。

2)回归树算法

回归树算法(CART)是监督分类方法中的一种[23-24]，CART 只有两个分支，分别为“是”与“否”，其通过目标的纯度确定分支条件，能够自动选择分类特征并确定分类节点的临界值。本文基于研究区主要农作物的 NDVI 时序曲线，选取训练样本生成树规则，再修改其部分规则，最后通过此规则得到 2011 年以及 2016 年小麦、玉米的分类。

1.4 验证

1)本文中黑河中游绿洲范围与同期谷歌地球影像对比验证，当 $NDVI_{min}$ 取值为 0.24 时，确定的绿洲边界较为准确。

2)MODIS 数据，通过改进后的绿洲面积计算公式计算的绿洲面积的准确性有较大幅度提高，本文将研究区 1986 年、1995 年、2000 年和 2011 年估算的绿洲面积与寒区旱区科学数据中心下载的土地利用数据(此数据是寒区旱区科学数据中心公开发布的数据，具有较好的准确性)进行相关性分析(表 2)，相关系数为 0.87(置信水平达 95%)。

表 2 1986 年、1995 年、2000 年和 2011 年黑河中游绿洲区遥感监测绿洲面积与土地利用数据的相对误差

Table 2 Relative errors in the oasis area of the middle reaches of Heihe between remote sensing monitoring date and land use data in 1986, 1995, 2000 and 2011

年份 Year	土地利用数据 Land use data (km^2)	本研究估算 Calculation area of formula (km^2)	误差 Error (%)
1986	2 049	2 386	16
1995	2 191	2 659	21
2000	2 261	2 559	13
2011	2 954	2 995	1

3)土地分类结果验证，2001 年总体分类精度达 90.46%，kappa 系数为 0.83；2006 年总体分类精度为 88.46%，kappa 系数为 0.85；2011 年总体分类精度达 90.65%，kappa 系数为 0.87；2016 年总体分类精度达 89.81%，kappa 系数为 0.84，总体分类结果较好。同时对 2011 年、2016 年黑河中游绿洲区作物分类与 90 个实地验证点进行对比，结果显示基于 CART 算法分类的面积与实地观测数据一致性较好，2011 年总体分类精度为 90%，2016 年总体分类精度为 86.7%。

2 结果与分析

2.1 黑河中游绿洲时空变化

2001—2015 年间，黑河中游绿洲规模不断扩张(图 2)，绿洲总面积增加约 235 km^2。由图 3 可知，绿洲新增面积主要位于张掖市东部和东南部、临泽县北部和高台县南部山前冲击平原地区，面积出现波动的区域为甘州区南部和临泽县的中部地区。其中，绿洲面积增加最多的年份为 2001—2002 年，总面积增长

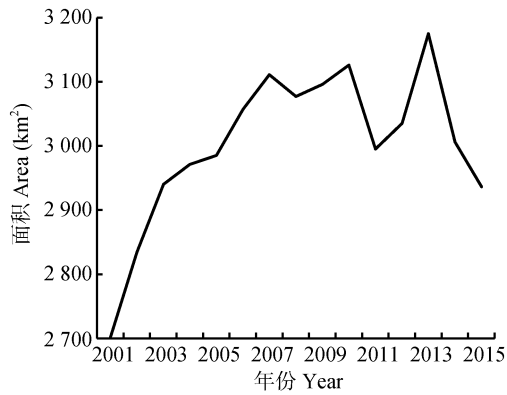

图 2 2001—2015 年黑河中游绿洲面积变化

Fig. 2 Changes of the oasis area in the middle reaches of Heihe from 2001 to 2015

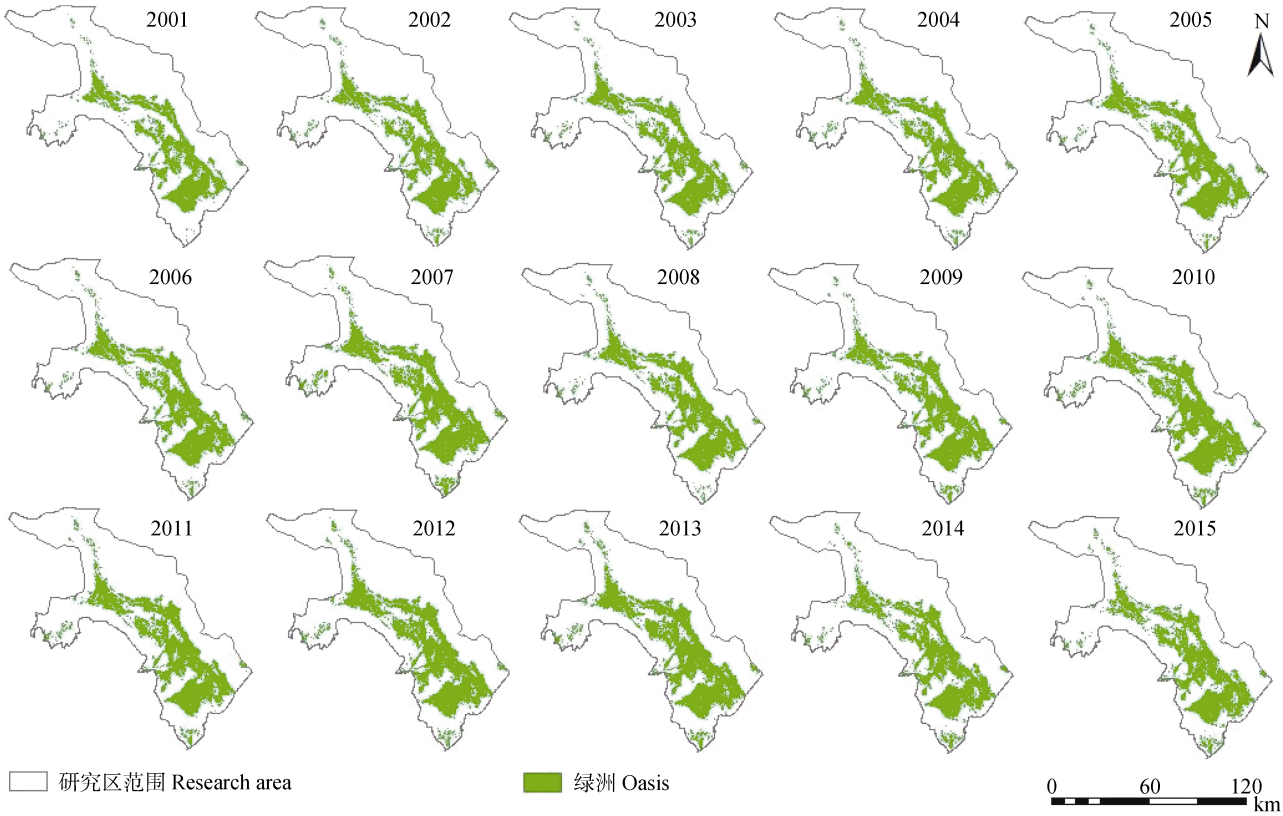

图 3　2001—2015 年黑河中游绿洲范围的时空变化图

Fig. 3　Scales of the oasis in the middle reaches of Heihe from 2001 to 2015

133 km^2, 涨幅达 4.90%。面积减少幅度最大的年份为 2013—2014 年, 总面积减少 169 km^2, 降幅为 5.30%。

2.2　黑河中游绿洲区土地利用时空变化

本文分析了 2001 年、2006 年、2011 年、2016 年黑河中游绿洲土地利用变化特征(图 4)。农田主要集中在黑河中游沿线的绿洲区内和高台县南部、甘州区的中部、南部和东部, 草地和林地主要分布在甘州区南部和北部、高台县西部和临泽县中部地区, 多集中于山区和山前冲积扇以及农田周围。水体主要包括黑河中游河段、水库坑塘以及张掖黑河国家湿地。

2001—2016 年, 耕地面积增加 291.4 km^2, 林地、草地增加 189.5 km^2, 城镇建筑用地面积增加 67.4 km^2, 未利用地(裸地)减少 536.7 km^2(表 3)。

2.3　黑河中游绿洲区主要粮食作物 NDVI 时序曲线

滤波的结果表明, 黑河中游绿洲区主要粮食作物的时序曲线都是单峰型, 不同作物的 NDVI 峰值出现月份有明显差别(图 5), 因此可根据 HANTS 滤波后的 NDVI 时序曲线对玉米、小麦等主要作物进行分类。

2.4　黑河中游绿洲区主要作物的空间分布及其影响因素

黑河中游绿洲是典型的灌溉农业绿洲, 主要作物为小麦和玉米, 约占绿洲内耕地面积的 60%~70%。本文根据黑河中游绿洲区的行政区划, 分别计算了各主要作物在各区的种植比例(作物面积/区域面积)(表 4)。

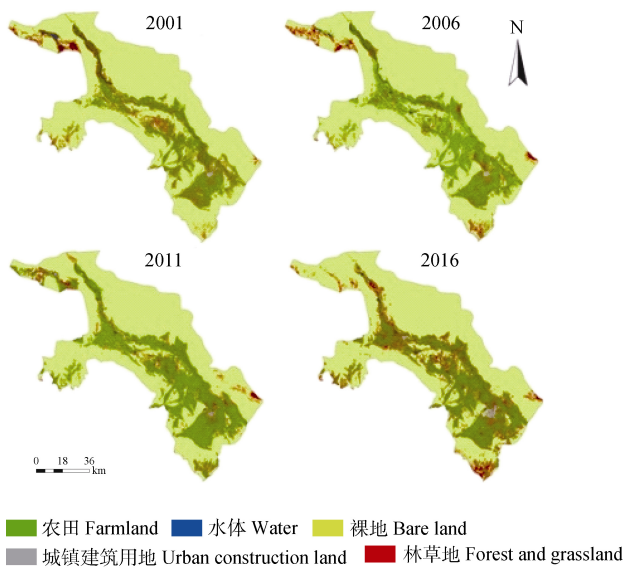

图 4　不同年份黑河中游绿洲区土地利用分类

Fig. 4　Classification of land use types in the oasis of the middle reaches of Heihe in 2001, 2006, 2011 and 2016

表 3 黑河中游绿洲区土地利用分类面积

Table 3 Areas of different land use types of the oasis in the middle reaches of Heihe km^2

土地利用类型 Land use type	2001	2006	2011	2016
未利用地(裸地) Unused land (bare land)	6 177.57	6 000.07	5 779.44	5 740.86
林地、草地 Woodland and grassland	612.45	532.15	535.25	902.03
农田 Farmland	1 668.11	1 898.89	2 137.04	1 759.46
城镇建筑用地 Urban construction land	174.83	197.23	210.62	242.23
水体 Water	79.6	84.21	50.22	67.98
总计 Total	8 612.56	8 612.56	8 612.56	8 612.56

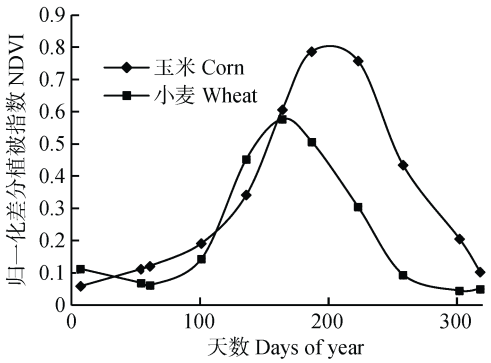

图 5 黑河中游绿洲区主要粮食作物 NDVI 时序曲线

Fig. 5 NDVI time series curves of main crops in the oasis of the middle reaches of Heihe

玉米的种植面积远大于其他作物，是黑河中游绿洲区 3 市县主要作物。除高台县外，甘州区和临泽县玉米种植比例都超过 50%。这主要是因为甘州区紧邻黑河上游，玉米的灌溉水源可以基本通过黑河保障，高台县位于下游，可利用水资源较少，所以玉米种植比例相较于甘州、临泽低。小麦是当地第二大粮食作物，主要分布于高台县，种植比例 15%左右，临泽县和甘州区较少，不到 10%(表 4，图 6)。

研究区内玉米小麦种植比例超过 70%，反映出黑河中游绿洲区农业生产以粮食作物种植为主。2011 年以来，粮食作物比重呈缓慢下降趋势，主要受到以下因素影响：第一，玉米小麦等粮食作物种植成本上升(除临泽县外，甘州区和高台县郊区土地价格均有上涨，2016 年甘州区郊区土地价格同比上涨 8.7%)，效益下降；第二，区域城镇化率不断提升，农村人口流出明显(2000—2016 年间，张掖市流动人口增至 10 万人)，农业劳动力减少且用工成本增加；第三，城市人口增加、饮食习惯改变和消费升级(2016 年城镇人口水果蔬菜日消耗量约为 0.5 kg，比 2000 年增加 0.13 kg)，研究区内以蔬菜和林果为主的经济作物种植量相应增加，粮食作物种植比例下降。

表 4 2011 年和 2016 年黑河中游绿洲区各县玉米、小麦占比情况

Table 4 Proportions of corn and wheat in each county of the oasis of the middle reaches of Heihe in 2011 and 2016 %

年份 Year	数据类型 Data type	作物 Crop	高台县 Gaotai County	临泽县 Linze County	甘州区 Ganzhou District	总计 Total
2011	HJ1A	玉米 Corn	42.0	54.9	62.4	61.3
		小麦 Wheat	15.6	11.8	9.4	11.7
2016		玉米 Corn	30.9	52.5	61.3	61.0
		小麦 Wheat	14.8	9.9	5.0	10.8

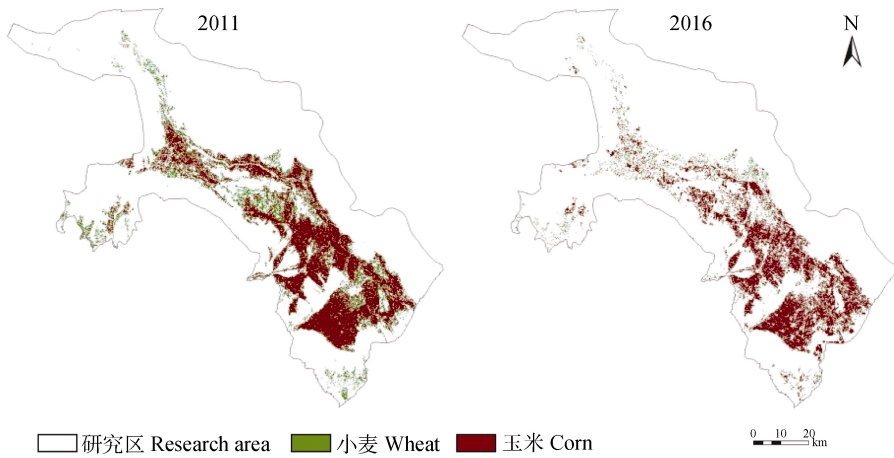

图 6 黑河中游绿洲小麦、玉米分布

Fig. 6 Distribution of wheat and corn in the oasis of the middle reaches of Heihe

2011 年黑河中游绿洲区小麦、玉米种植面积分别为 370.94 km^2 和 1 214.44 km^2，2016 年分别为

175.17 km^2 和 1 070.07 km^2。玉米总体稳定, 面积减少 144.37 km^2(下降 11.9%); 小麦面积降幅较大, 减少 195.77 km^2(下降 52.8%), 其中高台县下降幅度最大。

3　结论与讨论

3.1　结论

本文基于植被覆盖度, 改进了绿洲面积计算公式, 为绿洲及农作物面积的遥感监测提供了新方法, 与传统方法相比, 提高了绿洲面积的计算精度; 基于支持向量机的分类方法较为准确地反映了研究区土地利用的分类情况; 基于 CART 算法的黑河中游绿洲区主要作物分类, 较好地反映了主要农作物种植结构的变化特征。

1)2001—2015 年间, 黑河中游绿洲面积增加 235 km^2, 总体呈上升趋势, 新增加区域主要位于甘州区南部和西部, 临泽县的北部和高台县的南部山前平原地区。2)2001—2016 年间, 耕地面积增加 291.4 km^2, 林地、草地增加 189.5 km^2, 城镇建筑用地面积增加 67.4 km^2, 未利用地(裸地)减少 536.7 km^2, 水体面积大体保持不变。3)2011—2016 年间, 小麦、玉米种植面积均有所下降: 小麦由 2011 年的 370.94 km^2 减少为 2016 年的 175.17 km^2, 减少 195.77 km^2; 玉米由 2011 年的 1 214.44 km^2 减少为 2016 年的 1 070.07 km^2, 减少 144.37 km^2。

3.2　讨论

绿洲边缘未利用地(裸地)开发是黑河中游绿洲面积扩大的主要原因, 2001—2016 年间, 耕地面积增加 291.4 km^2, 表明黑河中游绿洲处于持续开发的过程中, 粮食生产规模扩大; 林地、草地约增加 189.5 km^2; 水体由于降水量和阶段性调水影响, 总体稳定但变化幅度较大; 受人口规模增加和城乡建设的持续推进, 城镇建筑用地面积一直处于上升趋势, 2016 年与 2001 年相比总面积增加 67.4 km^2; 未利用地面积逐年降低, 共计减少 536.7 km^2, 其中 2006 年到 2011 年间降幅最大。林地、草地面积增加的主要原因包括: 1)流域内综合调水, 缓解了当地水资源紧缺及人口需水和农业需水之间的矛盾。2000 年以后, 受调水影响, 黑河中游的来水量显著提高, 由 2000 年的 9 亿 m^3 增加到 10.5 亿 m^3 以上。当地每季度进行的流域内综合调水保障了粮食生产规模稳定。2)当地政府对环境的重视程度不断加强, 意识到固沙造林、保护耕地的重要性。2000—2016 年间, 通过持续营建绿洲边缘固沙林和田间林地, 森林覆盖率由 9.37%上升到 11.00%, 保障了绿洲的稳定。3)节水农业使得农业用水效率不断提高。覆膜、滴灌等节水技术降低了农业耗水强度, 保障了绿洲的生态需水, 林地草地面积扩大。总体上看, 黑河中游绿洲得到巩固, 生态环境得到改善, 农业生产安全得到保障, 同时也表明人与自然之间、农业需水与人口需水之间矛盾的减小。

研究区内玉米小麦种植比例超过 70%, 反映出黑河中游绿洲区农业生产以种植粮食作物为主。2011 年以来, 粮食作物比重呈缓慢下降趋势, 其主要原因是玉米、小麦等粮食作物种植成本上升、效益下降, 区域城镇化率不断提升、农村人口流出明显、农业劳动力减少且用工成本增加, 城市人口增加、饮食习惯改变和消费升级, 研究区内以蔬菜和林果为主的经济作物种植量相应增加, 粮食作物种植比例下降。

参考文献 References

[1] 左玉珊. 基于 MODIS 数据的京津冀地区土地覆被分类方法研究[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2015: 1–3
ZUO Y S. Research on land cover classification method of Beijing-Tianjin-Hebei Region Using MODIS data[D]. Shijiazhuang: Hebei Normal University, 2015: 1–3

[2] JUSTICE C, BECKER-RESHEF I. Report from the Workshop on Developing a Strategy for Global Agricultural Monitoring in the Framework of Group on Earth Observations (GEO)[R]. Rome: FAO, 2007: 1–67

[3] 邹健, 龙花楼. 改革开放以来中国耕地利用与粮食生产安全格局变动研究[J]. 自然资源学报, 2009, 24(8): 1366–1377
ZOU J, LONG H L. The variation of farmland use and the security pattern of grain production in China since 1978[J]. Journal of Natural Resources, 2009, 24(8): 1366–1377

[4] 朱杰, 聂振邦, 马晓河. 21 世纪中国粮食问题[M]. 北京: 中国计划出版社, 1999
ZHU J, NIE Z B, MA X H. China's Grain Toward 21st Century[M]. Beijing: China Planning Press, 1999

[5] 张莉, 吴文斌, 杨鹏, 等. 黑龙江省宾县农作物格局时空变化特征分析[J]. 中国农业科学, 2013, 46(15): 3227–3237
ZHANG L, WU W B, YANG P, et al. Temporal and spatial changes in crop patterns of Binxian County in Heilongjiang Province[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(15): 3227–3237

[6] Allen R, Hanuschak G, Craig M. History of remote sensing for crop acreage in USDA's National Agricultural Statistics Service[J]. Health Systems Review, 2002, 29(2): 559–567

[7] 陈水森, 柳钦火, 陈良富, 等. 粮食作物播种面积遥感监测研究进展[J]. 农业工程学报, 2005, 21(6): 166–171
CHEN S S, LIU Q H, CHEN L F, et al. Review of research advances in remote sensing monitoring of grain crop area[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(6): 166–171

[8] 张健康, 程彦培, 张发旺, 等. 基于多时相遥感影像的作物种植信息提取[J]. 农业工程学报, 2012, 28(2): 134–141
ZHANG J K, CHENG Y P, ZHANG F W, et al. Crops planting information extraction based on multi-temporal remote sensing images[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(2): 134–141

[9] 陈亚宁, 陈忠升. 干旱区绿洲演变与适宜发展规模研究——以塔里木河流域为例[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(1): 134–140
CHEN Y N, CHEN Z S. Analysis of oasis evolution and suitable development scale for arid regions: A case study of the Tarim River Basin[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(1): 134–140

[10] 郝丽娜, 粟晓玲. 黑河干流中游地区适宜绿洲及耕地规模确定[J]. 农业工程学报, 2015, 31(10): 262–268
HAO L N, SU X L. Determination for suitable scale of oasis and cultivated land in middle reaches of Heihe River Basin[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(10): 262–268

[11] 潘学鹏, 李改欣, 刘峰贵, 等. 华北平原冬小麦面积遥感提取及时空变化研究[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(4): 497–505
PAN X P, LI G X, LIU F G, et al. Using remote sensing to determine spatio-temporal variations in winter wheat growing area in the North China Plain[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23(4): 497–505

[12] 王红营, 潘学鹏, 罗建美, 等. 基于遥感的华北平原农作物时空分布变化特征分析[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(9): 1199–1209
WANG H Y, PAN X P, LUO J M, et al. Using remote sensing to analyze spatiotemporal variations in crop planting in the North China Plain[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23(9): 1199–1209

[13] 钱大文, 巩杰, 高彦净. 近 35 年黑河中游临泽县荒漠化时空分异及景观格局变化[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(4): 85–90
QIAN D W, GONG J, GAO Y J. Spatial-temporal difference and landscape pattern evolution of desertification in the middle reaches of the Heihe River: A case study of Linze County in Gansu[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2015, 29(4): 85–90

[14] 袁春霞. 黑河流域绿洲时空变化过程的驱动机制研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2015
YUAN C X. Study on the driving mechanism of the oasis dynamic changes in Heihe River Basin[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2015

[15] 吴喜芳, 李改欣, 潘学鹏, 等. 黄河源区植被覆盖度对气温和降水的响应研究[J]. 资源科学, 2015, 37(3): 512–521
WU X F, LI G X, PAN X P, et al. Response of vegetation cover to temperature and precipitation in the source region of the Yellow River[J]. Resources Science, 2015, 37(3): 512–521

[16] 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

[17] 刘勇洪, 牛铮, 徐永明, 等. 基于 MODIS 数据设计的中国土地覆盖分类系统与应用研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(5): 99–104
LIU Y H, NIU Z, XU Y M, et al. Design of land cover classification system for China and its application research based on MODIS data[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(5): 99–104

[18] 刘志刚, 史文中, 李德仁, 等. 一种基于支撑向量机的遥感影像不完全监督分类新方法[J]. 遥感学报, 2005, 9(4): 363–373
LIU Z G, SHI W Z, LI D R, et al. Partially supervised classification of remotely sensed imagery using support vector machines[J]. Journal of Remote Sensing, 2005, 9(4): 363–373

[19] JAKUBAUSKAS M E, LEGATES D R, KASTENS J H. Crop identification using harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002, 37(1/3): 127–139

[20] 于信芳, 庄大方. 基于 MODIS NDVI 数据的东北森林物候期监测[J]. 资源科学, 2006, 28(4): 111–117
YU X F, ZHUANG D F. Monitoring forest phenophases of northeast China based on MODIS NDVI data[J]. Resources Science, 2006, 28(4): 111–117

[21] 左丽君, 董婷婷, 汪潇, 等. 基于 MODIS/EVI 的中国北方耕地复种指数提取[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 141–146
ZUO L J, DONG T T, WANG X, et al. Multiple cropping index of Northern China based on MODIS/EVI[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(8): 141–146

[22] 潘学鹏. 华北平原主要作物遥感提取及时空变化研究[D]. 西宁: 青海师范大学, 2015
PAN X P. Spatio-temporal variation of main crops planting area in the North China Plain using remote sensing data[D]. Xining: Qinghai Normal University, 2015

[23] BREIMAN L, FRIEDMAN J H, OLSHEN R A, et al. Classification and Regression Trees[M]. Belmont: Wadsworth International Group, 1984: 1–358

[24] YOHANNES Y, HODDINOTT J. Classification and Regression Trees: An Introduction[M]. Washington: International Food Policy Research Institute, 1999: 1–29

欢迎订阅 2019 年《甘肃农业科技》

《甘肃农业科技》(54-8)为甘肃省农业科学院主办, 国内外公开发行的综合性农业科技期刊(月刊), 是全国优秀农业期刊和全国优秀科技期刊。现被中国核心期刊(遴选)数据库、中国学术期刊综合评价数据库(CAJCED)、中文科技期刊数据库、中国期刊全文数据库(CJFD)、万方数据库、重庆维普中文科技期刊数据库等 11 个数据库收录。

投稿请发 gsbianjibu@163.com。本刊地址: 甘肃省兰州市安宁区农科院新村 1 号《甘肃农业科技》编辑部; 邮政编码: 730070; 联系电话: (0931)7614994。