

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.05.033

新疆迪那河流域轮台人工绿洲耕地时空变化特征分析

张谱¹ 管文轲² 刘洪霞³ 张和钰² 李志鹏¹ 冯益明¹

(1. 中国林业科学研究院荒漠化研究所, 北京 100091; 2. 新疆林业科学院造林治沙研究所, 乌鲁木齐 830000;
3. 中国农业科学院农业信息研究所, 北京 100081)

摘要: 对新疆迪那河流域轮台人工绿洲耕地进行动态监测, 量化和描述 26 年来绿洲耕地的时空变化规律。在 RS 与 GIS 支持下, 通过解译 1992 年 8 月、1998 年 8 月、2007 年 9 月和 2018 年 8 月 4 期卫星遥感影像和野外调查获取的无人机影像数据, 提取迪那河流域轮台人工绿洲耕地信息, 采用数理统计、动态度、转移矩阵和重心模型分析绿洲耕地 26 年内时空变化特征。结果表明: 26 年来, 迪那河流域轮台人工绿洲耕地面积从 1992 年的 8 381 hm² 增长到 2018 年的 46 284 hm², 耕地面积在人工绿洲总面积中所占的比例从 1992 年的 40.18% 增长到 2018 年的 71.28%, 耕地面积在迪那河流域总面积中所占比例从 1992 年的 1.61% 增长到 2018 年的 8.91%。迪那河流域轮台人工绿洲耕地面积呈现“缓慢增加—急剧增加—缓慢增加”的变化过程。1992—1998 年, 绿洲耕地增加主要由政府推动的开垦政策驱动, 耕地面积年均增长速率 2.28%; 1998—2007 年, 绿洲耕地增加受开垦政策和棉花产业发展状况两种因素共同影响, 耕地面积急剧增加, 年均增长速度达 16.85%; 2007—2018 年, 绿洲耕地增加主要受棉花产业发展状况影响, 耕地面积年均增长速率为 8.46%。迪那河流域轮台人工绿洲耕地动态变化主要表现在: 耕地开垦扩张面积(41 545 hm²) 远大于耕地转出面积(3 441 hm²), 绿洲外围土地的开发是轮台人工绿洲耕地扩张的最主要途径, 耕地转为果园是轮台人工绿洲耕地减少的最主要途径。迪那河流域轮台人工绿洲耕地呈现向沙漠区扩张明显、向戈壁区扩张较弱的趋势。

关键词: 新疆迪那河流域; 人工绿洲; 耕地; 卫星遥感; 时空特征; 重心模型

中图分类号: S289 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2019)05-0291-09

Characteristics Analysis on Spatial-temporal Changes of Farmland in Luntai Artificial Oasis in Dina River Watershed of Xinjiang

ZHANG Pu¹ GUAN Wenke² LIU Hongxia³ ZHANG Heyu² LI Zhipeng¹ FENG Yiming¹

(1. Institute of Desertification Studies, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

2. Institute of Afforestation and Desertification Control, Xinjiang Academy of Forestry Sciences, Urumqi 830000, China

3. Agricultural Information Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: The main purpose was to explore the spatial-temporal changes of farmland in Luntai Artificial Oasis in Dina River Watershed, aiming to provide basic data and theoretical basis for the spatial planning and management of artificial oasis in small watershed. The land use information of farmland was extracted from the remote sensing images (obtained in August 1992, August 1998, September 2007 and August 2018) and unmanned aerial vehicle data (obtained in July and August 2018 in the field survey) by means of visual interpretation supported by RS and GIS, and analyzed via mathematical statistic, dynamic degree, transfer matrix and gravity center model. Results showed that the area of farmland in Luntai Artificial Oasis was increased from 8 381 hm² in 1992 to 46 284 hm² in 2018. In 1992, totally 40.18% of artificial oasis was occupied by farmland, which was decreased to 37.04% in 1998, and then followed by a long time increase to 71.28% in 2018. In 1992, totally 1.61% of watershed area was occupied by farmland, which was increased to 8.91% in 2018. The area of farmland in Luntai Artificial Oasis was developed rapidly and experienced three stages: the stage of moderate increase (1992—1998) which was

收稿日期: 2018-11-07 修回日期: 2018-11-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(31770764)

作者简介: 张谱(1986—), 女, 博士生, 主要从事荒漠化监测研究, E-mail: zhangpucaf@163.com

通信作者: 冯益明(1971—), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事荒漠化监测与防治研究, E-mail: fengym@caf.ac.cn

driven by reclamation policy launched by local government with annual average growth rate of 2.28%; the stage of rapid increase (1998—2007) which was influenced by both the cotton industry and reclamation policy with annual average growth rate of 16.85%; and the stage of moderate increase (2007—2018) which was only influenced by cotton industry with annual average growth rate of 8.46%. In the past 26 years, the land that was transferred into farmland (41 545 hm²) was far more than the land that was transferred out (3 441 hm²). The land outside artificial oasis (35 179 hm²) was the main source supporting the extension of farmland. The land that transferred out of farmland was mainly into the forestry and fruit industry (2 671 hm²). The gravity centers of farmland was gradually moved in the direction of sandy desert because the exploration and maintenance cost of sandy desert was lower than that of Gobi desert, and the cotton which was the most popular crop in Luntai Artificial Oasis had adapted to the atmosphere of the oasis-sandy desert transition zone in Dina River Watershed.

Key words: Dina River Watershed of Xinjiang; artificial oasis; farmland; remote sensing; spatial-temporal characteristics; gravity center model

0 引言

绿洲是维系干旱区经济发展和人民生活的命脉^[1],也是干旱区人民赖以生存的基础。新疆南部地区(南疆)独特的山盆相间地貌格局,形成了众多以流域为单元的绿洲农业景观^[2],绿洲农业是南疆绿洲经济的重要组成部分。南疆独特的气候环境,为绿洲粮食和棉花提供了优越的生长条件。目前,南疆环塔里木盆地已经成为全球最大棉花(*Gossypium hirsutum* Linn.)产区,约占全国棉花总产量的一半、全球棉花总产量的十分之一。绿洲耕地的时空变化是新疆南部绿洲土地利用时空变化的重要组成部分。

国内外学者对耕地时空变化进行了大量研究,研究尺度从全球范围^[3-4]、全国范围^[5-6]、省域范围^[7]到县域为研究单元^[8],多数研究尺度较大,不易揭示微观层面的差异。我国土地面积广大,不同区域的自然环境、生态条件、社会经济发展状况各不相同,尤其是不同地形地貌下的耕地时空变化特征差异明显^[9]。绿洲耕地的扩张是干旱区土地利用与覆被变化最典型的人为过程之一,它将引起水资源的空间分布变化^[10-11]、沙漠化^[12-13]等全球环境变化问题。与全国耕地面积不断减少的趋势不同^[6,14-15],干旱区部分地区绿洲耕地面积不断扩张^[16-18],甚至高速增长^[19]。然而目前涉及干旱区小流域绿洲耕地时空变化特征的研究较少。

鉴于此,本文以新疆迪那河流域为研究区,以区域内耕地为主要研究对象,利用RS和GIS手段,通过解译1992年8月、1998年8月、2007年9月和2018年8月4期Landsat系列卫星遥感影像和无人机影像数据,对新疆迪那河流域轮台人工绿洲耕地进行动态监测,量化和描述26年来绿洲耕地的时空变化规律,以为未来小流域人工绿洲空间规划和管理提供基础数据和理论支持,为解决干旱区绿洲

可持续发展问题提供借鉴。

1 材料与方方法

1.1 研究区概况

以新疆迪那河流域轮台人工绿洲为主要研究对象。迪那河发源于天山南脉的哈尔克山南麓及霍拉山南麓,以冰雪融水和山区降水为主要水源,并在山前倾斜平原蕴藏丰富的地下水。轮台人工绿洲依靠迪那河和地下水等水资源形成。迪那河在进入沙漠前的绿洲-沙漠过渡带消散。整个流域地跨新疆巴音郭楞蒙古自治州的轮台县与阿克苏地区库车县,地理坐标介于东经83°38′~84°41′、北纬41°26′~42°32′之间,面积51.93万hm²(图1),是塔里木盆

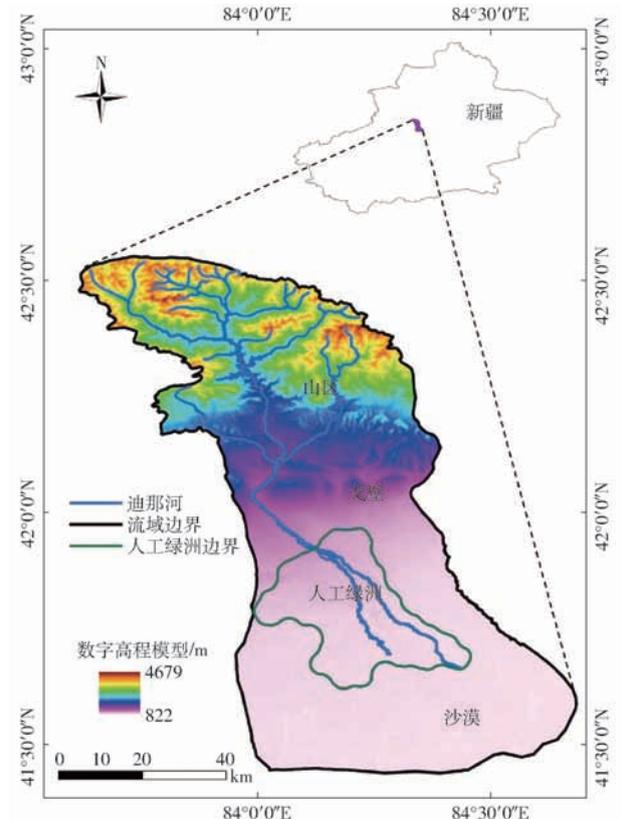


图1 迪那河流域示意图

Fig. 1 Location of Dina River Watershed

地南北缘典型的山区-戈壁-绿洲-沙漠生态系统。

迪那河流域地处中纬度地带,属于温带大陆性干旱气候,地形北高南低。北部山区气候寒冷,南部戈壁-绿洲-沙漠地带气候干燥,年平均气温9.7~10.8℃,1月平均气温-10.5~-8.7℃,7月平均气温24.8℃,降水稀少、蒸发强烈,冬夏较长、春秋较短,昼夜温差大,一年四季气候相对比较温和。流域山区以南,绿洲以北的戈壁区以麻黄、裸果木、盐穗木为主要植被;中部和南部绿洲-沙漠过渡带以红柳、盐穗木、芦苇为主要植被。轮台绿洲物产丰富,是全国商品粮基地和重要产棉区之一,同时绿洲内

种植有杏子、核桃、香梨等16种果树种类。

1.2 数据源及预处理

1.2.1 遥感数据源选择

选取覆盖轮台人工绿洲的4期(1992年8月、1998年8月、2007年9月和2018年9月)Landsat系列卫星遥感影像作为绿洲耕地时空变化制图的遥感数据源(表1)。影像云覆盖度均小于10%,影像时段选择均在8—9月生长季。对选择的遥感数据进行预处理,主要包括辐射校正、几何校正、投影转换等。遥感数据来自美国USGS网站(<http://glovis.usgs.gov/>)。

表1 遥感数据基本参数

Tab.1 Basic parameters of remote sensing data

期数	影像编号	成像日期	行列号	传感器名称	传感器平台	云覆盖度/%	空间分辨率/m
1	ETP144R315T19920926	1992-08-28	144/31	TM	Landsat 5	5	30
2	LT51440311998238BIK00	1998-08-26	144/31	TM	Landsat 5	2	30
3	LT51440312007247IKR00	2007-09-04	144/31	TM	Landsat 5	10	30
4	LC81440312018229LGN00	2018-08-17	144/31	OLI_TRIS	Landsat 8	8	30

1.2.2 野外调查

野外调查在人工绿洲内部和人工绿洲外围进行,共设置样地36个,样地尺寸设置为100m×100m。

调查采用四旋翼大疆无人机(悟1pro型,DJIINC.,中国),机载传感器为禅思X5(1600万像素),获取样地无人机影像。飞行方案利用无人机航线飞行控制软件Litchi for DJI Drone(Ver.3.10.5,VC Technology Ltd.,美国)实现^[20-21],飞行高度设置为60m,获得影像地面分辨率为1.5cm,观测日期在2018年7月21日—8月9日。

图2为野外调查36个样地的分布和3个典型样地对应的Landsat OIL遥感影像(成像时间为2018年8月17日)和无人机影像。Landsat8 OIL影像在ENVI软件中R:G:B相应波段为6:5:4(可以比较好地突出植被信息),果园呈深绿色,耕地呈浅绿色,人工绿洲外土地(红柳灌木林地)呈褐色。人工绿洲边界明显,果园和耕地区分度较高。

1.2.3 遥感影像解译

采用光谱直接分类法^[22-23]对4期Landsat遥感影像进行解译,即采用2018年7月下旬—8月中旬野外调查获取的大量带地理坐标的无人机、数码相

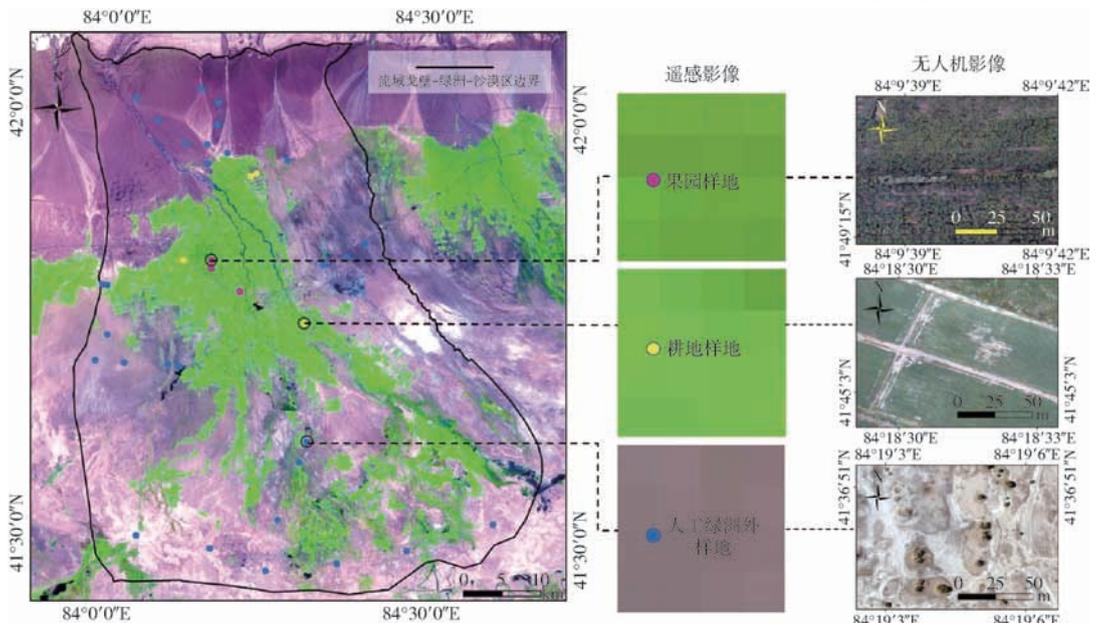


图2 人工绿洲调查样地分布

Fig.2 Sample plot distribution of artificial oasis investigation

机影像和图像,与1992年8月、1998年8月、2007年9月 Landsat5 TM 影像(采用波段组合5:4:3)和2018年8月 Landsat 8 OIL_TRIS 影像(采用波段组合6:5:4)叠加,通过目视解译、手工勾绘对不同土地利用类型进行识别。解译分两个阶段进行:第1阶段确定人工绿洲边界,将流域的戈壁-绿洲-沙漠区划分为人工绿洲内和人工绿洲外土地;第2阶段在已划定的人工绿洲内部确定耕地分布。根据研究目的和我国土地利用分类体系,将人工绿洲内部划分为果园、耕地、水体、城镇居民用地和人工绿洲内未利用地等5种土地利用/覆被类型。对提取的结果再次进行了实地校核、修改,获得4期轮台人工绿洲土地利用图。

1.3 研究方法

1.3.1 用地面积变化分析

为了详细地对比迪那河流域轮台人工绿洲耕地时空变化特征,本文采用动态度模型^[24-25]进行分析。动态度是指一定时间范围内研究区某种土地类型的数量变化,其意义在于反映某种土地类型变化的剧烈程度,表达式为

$$D = \frac{U_b - U_a}{U_a T} \times 100\% \quad (1)$$

式中 D ——研究时期内某一类型土地动态度
 U_a ——研究期初某一类型土地面积
 U_b ——研究期末某一类型土地面积
 T ——研究时间

1.3.2 土地利用转移矩阵

为了对绿洲耕地转入和转出情况进行监测,采用土地利用转移矩阵^[26-28]对4期数据进行分析处理。土地利用转移矩阵能够反映绿洲耕地在某期期初和期末与各土地类型面积之间相互转变的动态过程,不仅包含某期绿洲耕地面积信息,还有各土地类型在期初和期末向绿洲耕地转出和转入的面积信

息。采用 Circos 可视化软件^[29]表达绿洲耕地变化。

1.3.3 重心模型

重心模型是研究区域发展过程中要素空间变动的重要分析工具^[30-33]。本文依据重心模型理论构建了迪那河流域轮台人工绿洲耕地重心模型,基本模型为

$$x_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij} s_{ij}}{\sum_{i=1}^n s_{ij}} \quad (2)$$

$$y_j = \frac{\sum_{i=1}^n y_{ij} s_{ij}}{\sum_{i=1}^n s_{ij}} \quad (3)$$

式中 i ——耕地编号 j ——年份

n ——耕地总块数

(x_j, y_j) ——第 j 年人工绿洲耕地重心坐标

(x_{ij}, y_{ij}) ——第 j 年第 i 块耕地重心坐标

s_{ij} ——第 j 年第 i 块耕地斑块的面积

2 结果与分析

2.1 遥感影像解译

通过遥感影像解译,获得1992年8月、1998年8月、2007年9月和2018年8月迪那河流域轮台人工绿洲土地利用图(图3)。从解译结果可以看出,26年来轮台人工绿洲耕地面积和分布变化较大。

1992—2018年迪那河流域轮台人工绿洲耕地面积持续增加,从1992年的8381 hm²、1998年的9529 hm²、2007年的23978 hm²增长到2018年的46284 hm²。耕地是轮台人工绿洲的主要用地类型,其面积在人工绿洲总面积中占有较大比重。20世纪90年代有减少趋势,从1992年的40.18%减少到1998年的37.04%,之后持续增长,2007年的63.41%,2018年达到71.28%。绿洲耕地面积在迪

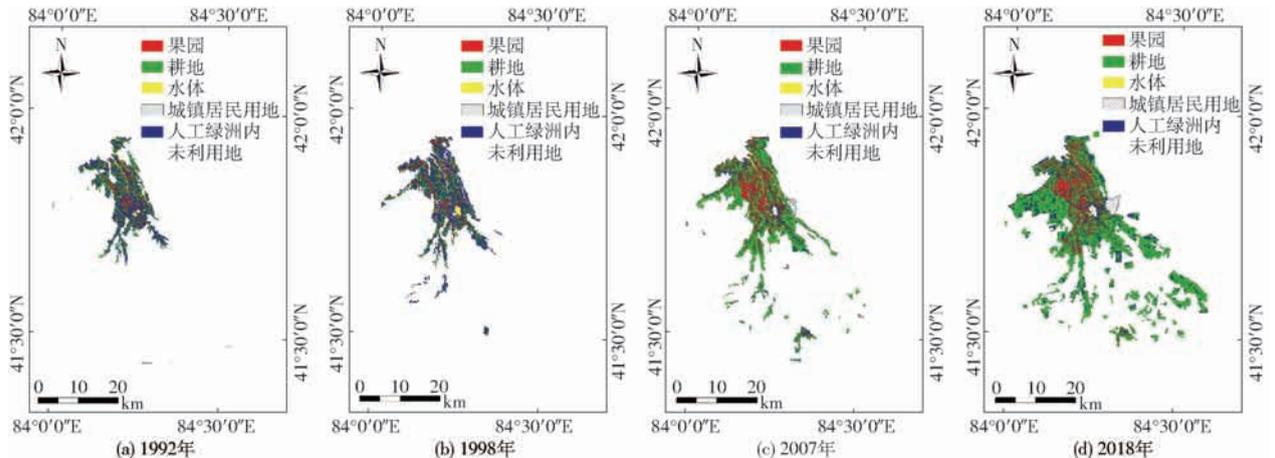


图3 轮台人工绿洲土地利用情况

Fig.3 Land use maps of Luntai Artificial Oasis

那河流域总面积中所占比例持续增加,从1992年的11.61%、1998年的1.84%、2007年的4.62%增长到2018年的8.91%。

2.2 绿洲耕地动态变化

1992—1998年、1998—2007年和2007—2018年迪那河流域轮台人工绿洲耕地动态和人工绿洲动态差别较大,这是绿洲耕地面积在人工绿洲总面积中所占的比例出现波动的主要原因。1992—1998年耕地面积年均增长速度(2.28%)低于人工绿洲面积年均增长速度(3.89%),在此期间,绿洲耕地面积占人工绿洲总面积的比例降低;1998—2007年(16.85%)和2007—2018年(8.46%)绿洲耕地面积年均增长速度均高于人工绿洲面积年均增长速度(5.22%、6.53%),这两个阶段,绿洲耕地面积占人工绿洲总面积的比例持续上升。

2.3 绿洲耕地时空变化特征

为了更确切地了解绿洲解耕地变化情况,采用4期迪那河流域土地利用图在ArcGIS软件下进行空间分析,获取人工绿洲耕地与其他土地利用类型之间面积转移信息(图4)。1992—1998年间有5247 hm²其他土地利用类型土地转为耕地,从图4可以看出,转入较多的为人工绿洲内未利用地

(3151 hm²)和人工绿洲外围土地(1380 hm²),占转入总面积的86.35%;有4104 hm²耕地转为其他用途,其中转为绿洲内未利用地(2523 hm²)和果园(1534 hm²)的面积占转出总面积的98.85%;有4264 hm²耕地未改变土地利用用途。1998—2007年间有17376 hm²其他土地利用类型土地转为耕地,转入较多的为绿洲外围土地(8516 hm²)和人工绿洲内未利用地(6823 hm²),占转入总面积的88.28%;有3038 hm²耕地转为其他用途,其中80.12%转为果园(2434 hm²);有6479 hm²耕地未改变土地利用用途。2007—2018年有28569 hm²其他土地利用类型土地转为耕地,其中79.23%来源于人工绿洲外围土地(22635 hm²),少量来源于果园(3003 hm²)和人工绿洲内未利用地(2458 hm²);6011 hm²耕地转为其他用途,其中60.79%转为果园(3654 hm²)。

对比1992年和2018年耕地情况,可以看出,26年间有41545 hm²其他土地利用类型土地转为耕地,远大于耕地转出面积3441 hm²。耕地扩张的土地主要来源于人工绿洲外围土地(35179 hm²),占转入总面积的84.68%;而转出类型主要是果园(2671 hm²),占转出总面积的77.62%。

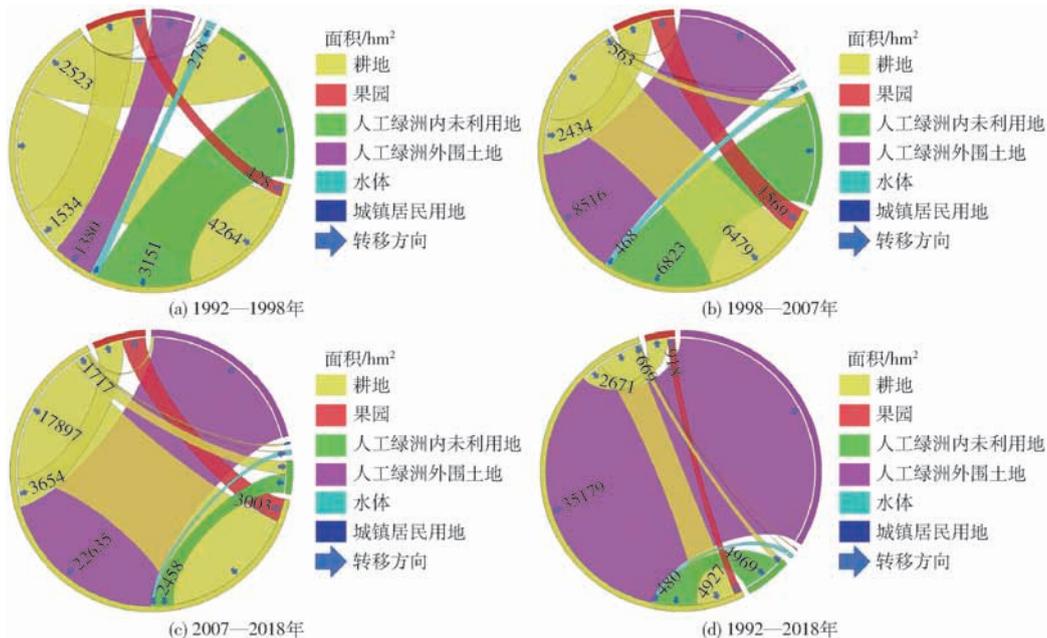


图4 轮台人工绿洲耕地流动情况

Fig. 4 Transformation of farmland in Luntai Artificial Oasis

2.4 绿洲耕地重心迁移

1992、1998、2007、2018年迪那河流域轮台人工绿洲耕地重心以及人工绿洲(主体)扩张边界见图5(人工绿洲扩张边界为绿洲主体部分扩张边界,图中忽略飞地部分)。从图5可以看出,1992—2018年人工绿洲(主体)向西南方

向、正南方向和东南方向扩张明显,轮台人工绿洲耕地重心随着人工绿洲(主体)扩张向东南移动明显。相对于1992年,1998年耕地重心变化较小;随着2007年和2018年人工绿洲(主体)向东南方向扩张,耕地重心向东南方向明显移动。

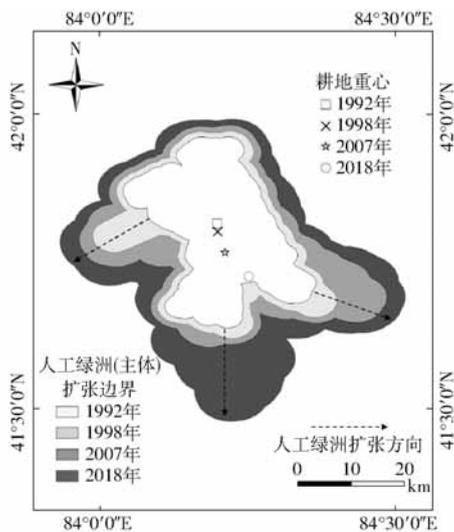


图5 轮台人工绿洲耕地重心迁移图

Fig. 5 Transferring map of gravity center of farmland in artificial oasis

3 讨论

3.1 人工绿洲耕地扩张主要影响因素分析

迪那河流域轮台人工绿洲的产业结构与其所在的新疆地区的产业结构相似,以农业生产为主^[34],且后期棉花产业占有重要地位^[35]。绿洲耕地扩张可以分为3个阶段:①1992—1998年间,绿洲耕地面积增加主要由政府推动的开垦政策驱动。②1998—2007年间,绿洲耕地增加受开垦政策和棉花产业发展状况两种因素共同影响。③2007—2018年间,绿洲耕地增加主要受棉花产业发展状况影响。绿洲耕地面积经历了“缓慢增加—急剧增加—缓慢增加”的变化过程,总体上呈增加趋势。

20世纪90年代,中央及新疆维吾尔自治区(简称新疆)政府推出一些优惠政策(低息、无息贷款,免征土地所得税、农业税等),鼓励集体和个人开垦土地;90年代后期,随着农业生产成本的增大,政府开始对粮食生产进行补贴,并且继续实行农业税减免等政策,推动了耕地的开发^[36]。1992—1998年间,轮台人工绿洲耕地以年均2.28%的速度扩张。

1998年后,棉花产业在新疆逐渐占据重要地位。种植面积方面,据新疆维吾尔自治区统计局统计,新疆棉花种植面积在耕地总面积中所占的比重从1992年的20.97%、1998年的30.48%,增长到2007年的40.57%,2017年有回落,但是仍然占到耕地总面积的34.77%;产量方面,从1993年起,新疆棉花总产量居全国第一,到2017棉花总产量全国占比达到81.86%。目前新疆已经成为我国重要的商品棉生产基地和国家棉花安全战略基地。在这种大环境下,迪那河流域逐渐成为重要产棉区之一。

据轮台县农业局统计,轮台县棉花种植面积占耕地总面积的比例从1992年的13.03%、1998年的45.45%、2007年的57.09%,增长到2017年的81.31%。这一时期,棉花产业政策变化是影响轮台绿洲耕地面积扩张速度的主要因素之一。1998年12月,国务院发布《关于深化棉花流通体制改革的决定》,决定从1999年9月1日起,棉花的收购和销售价格均由市场形成。新疆棉花单产较高,同时棉田广阔,地势平坦,生产规模大,适合大面积机械作业,所以棉花生产的劳动生产率高于其他地区,在市场力量的作用下,棉花生产向新疆集中^[37];2000年获国家西部大开发战略支持,新疆棉花产业进一步扩张。在开垦政策的同时影响下,这一期间轮台人工绿洲耕地面积快速增长,2007绿洲耕地面积是1998年的2.52倍,增长速度达到年均16.85%(图3)。

2007年后,市场、政策和环境因素共同影响棉花产业,进而影响新疆耕地面积。2008年全球金融危机爆发后,大宗商品在2009—2011年出现了不同程度的暴涨暴跌。为应对国际棉花价格的剧烈波动,2011—2013年我国实行棉花临时收储制度,棉花价格维持在偏高水平,造成新疆棉花种植面积大幅扩张,棉花市场过剩。2014年以来国家选择新疆作为棉花目标价格制度改革试点,解决之前市场失灵以及相关的政府失灵问题^[38]。棉花价格回落,植棉成本不断提高,植棉效益下降,棉农放弃种植棉花,或去种植劳动投入及技术要求低的粮食作物,或去种植更具优势的林果作物^[39],或是撂荒,导致棉花种植面积波动,进而引起耕地面积波动。此外,耕地的扩张,加剧水资源的消耗,加速了区域的荒漠化进程,限制耕地后备资源开发^[37]。2016年农业部发布《全国种植业结构调整规划(2016—2020年)》(中发[2016]1号),要求新疆棉花面积要稳定在166.67万 hm^2 左右。在这种大环境下,2007—2018年轮台人工绿洲耕地面积扩张速度(8.46%)明显下降。

3.2 人工绿洲耕地流动情况

迪那河流域轮台人工绿洲耕地开垦扩张面积远大于耕地转出面积(图4)。1992—1998年、1998—2007年和2007—2018年间绿洲耕地扩张面积是耕地转出面积的1.50、5.72、4.75倍。

扩张主要通过土地整理(果园转化为耕地)、复垦(绿洲内未利用地转化为耕地)和开发(绿洲外围土地转化为绿洲耕地)的方式新增绿洲耕地面积。绿洲外围土地的开发是轮台人工绿洲耕地扩张的最主要途径,分别占到1998、2007、2018年耕地扩张面积的26.30%、49.01%、79.23%;通过土地整理由

果园转化为耕地的面积在耕地扩张总面积中所占比例较小,分别占到1998、2007、2018年耕地扩张面积的8.35%、9.03%、10.51%;1992—1998年和1998—2007年间,复耕在耕地扩张中发挥重要作用,分别占到1998年和2007年耕地扩张面积的60.05%和39.26%;而2018年仅占8.60%(图6)。



图6 轮台人工绿洲耕地扩张面积及来源

Fig. 6 Extended area of farmland and source of extension in Luntai Artificial Oasis

3.3 人工绿洲耕地减少途径

绿洲耕地转为果园是轮台人工绿洲耕地减少的最主要途径,分别占1992—1998年、1998—2007年和2007—2018年耕地转出面积的37.38%、80.12%、60.79%。不同于棉花产业,林果产业面积的扩张主要依靠绿洲耕地的转化,而非绿洲外围土地的开发(图3)。特色林果产业也是南疆绿洲经济的重要组成部分^[40]。1992—1998年间,新疆把发展林果业作为实施资源转换战略的一项重要内容进行推动,新疆林果业进入增长阶段。在此期间,轮台人工绿洲林果产业用地面积的年均增长速度(11.15%)高于耕地(2.28%),这是这一时期耕地在轮台人工绿洲总面积中所占比例下降的最主要原因。1998年林果产业扩张面积的58.99%来源于耕地,31.43%来源于绿洲内未利用地的整地和复垦,仅7.52%来源于绿洲外围土地的开发。1998年以后,林果产业发展速度低于棉花产业,林果产业用地对耕地依赖性逐渐增强,2007年和2018年林果产业用地扩张面积的48.52%和86.78%来源于耕地

(图4)。

3.4 人工绿洲耕地扩张特征

迪那河流域轮台人工绿洲耕地向沙漠区扩张明显,而向戈壁区扩张很小(图1、5)。由于土壤质地的限制作用,新疆新增耕地的开发显现出“壤质土壤—沙质土壤—砾质土壤”的先后顺序特征,一些地区已经将适合耕种的壤质土壤和沙质土壤开发完,开发重点转移到砾质的戈壁及山前地区^[36]。轮台人工绿洲北部山前戈壁区砾石覆盖度高,海拔升高明显(图1),春季时有暴雨发生,耕地开发和维护成本较高。虽然随着耕地向南部绿洲—沙漠过渡带扩张,开发的边际成本逐渐升高,但目前仍低于戈壁区的开发成本。同时轮台人工绿洲棉花种植面积占比较高,且棉花适应气候干燥、日照强烈的绿洲—沙漠过渡带,因此迪那河流域轮台人工绿洲耕地的扩张处于开发沙质土壤阶段。

4 结论

(1)26年来,新疆迪那河流域轮台人工绿洲耕地面积呈现“缓慢增加—急剧增加—缓慢增加”的变化过程。1992—1998年间,绿洲耕地增加主要由政府推动的开垦政策驱动,耕地面积年均增长速率为2.28%;1998—2007年间,绿洲耕地增加受开垦政策和棉花产业发展状况两种因素共同影响,耕地面积急剧增加,年均增长速率达16.85%;2007—2018年间,绿洲耕地增加主要受棉花产业发展状况影响,耕地面积年均增长速率为8.46%。

(2)迪那河流域轮台人工绿洲耕地动态变化主要表现在:耕地开垦扩张面积远大于耕地转出面积,绿洲外围土地的开发是轮台人工绿洲耕地扩张的最主要途径,耕地转为果园是轮台人工绿洲耕地减少的最主要途径。

(3)迪那河流域轮台人工绿洲北部山前戈壁区耕地开发和维护成本高于南部绿洲—沙漠过渡带,且绿洲耕地种植面积占比较高的棉花适应气候干燥、日照强烈的绿洲—沙漠过渡带的环境,因此绿洲耕地重心向沙漠区移动明显,向戈壁区扩张趋势较弱。

参 考 文 献

- [1] 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.
LI Sen, YAN Changzhen. Oasis evolution and human factors analysis in Hexi Corridor over the recent 20 years[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013, 27(4): 92-98. (in Chinese)
- [2] TANG Fashu, CHEN Xi, LUO Geping, et al. A contrast of two typical LUCC processes and their driving forces in oases of arid areas: a case study of Sangong River Watershed at the northern foot of Tianshan Mountains[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2007, 50(Suppl. 1): 65-75.
- [3] 张丽娟,姚子艳,唐世浩,等. 20世纪80年代以来全球耕地变化的基本特征及空间格局[J]. 地理学报,2017,72(7): 1235-1247.
ZHANG Lijuan, YAO Ziyuan, TANG Shihao, et al. Spatiotemporal characteristics and patterns of the global cultivated land since

- the 1980s[J]. *Acta Geographica Sinica*,2017,72(7):1235-1247. (in Chinese)
- [4] YU Qiangyi, XIANG Mingtao, WU Wenbin, et al. Changes in global cropland area and cereal production: an inter-country comparison[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*,2019,269:140-147.
- [5] 周建,张凤荣,王秀丽,等. 中国土地整治新增耕地时空变化及其分析[J]. *农业工程学报*,2014,30(19):282-289.
ZHOU Jian,ZHANG Fengrong,WANG Xiuli,et al. Spatial-temporal change and analysis of land consolidation's newly increased cultivated land in China[J]. *Transactions of the CSAE*,2014,30(19):282-289. (in Chinese)
- [6] 刘纪远,宁佳,匡文慧,等. 2010—2015年中国土地利用变化的时空格局与新特征[J]. *地理学报*,2018,73(5):789-802.
LIU Jiyuan,NING Jia,KUANG Wenhui,et al. Spatio-temporal patterns and characteristics of land-use change in China during 2010—2015[J]. *Acta Geographica Sinica*,2018,73(5):789-802. (in Chinese)
- [7] 杨建宇,张婷婷,陈正,等. 2013—2015年京津冀新增耕地时空特征与来源分析[J/OL]. *农业机械学报*,2018,49(3):205-213.
YANG Jianyu,ZHANG Tingting,CHEN Zheng,et al. Spatial-temporal characteristics and source analysis of newly increased cultivated land in Beijing-Tianjin-Hebei Region from 2013 to 2015 [J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*,2018,49(3):205-213. http://www.jcsam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180325&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2018.03.025. (in Chinese)
- [8] 张志东. 博罗县耕地变化及其影响因素分析[J]. *中国农业资源与区划*,2017,38(5):155-160.
ZHANG Zhidong. Analysis of cultivated land change and its influencing factors in Boluo County[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*,2017,38(5):155-160. (in Chinese)
- [9] 程维明,高晓雨,马廷,等. 基于地貌分区的1990—2015年中国耕地时空特征变化分析[J]. *地理学报*,2018,73(9):1613-1629.
CHENG Weiming,GAO Xiaoyu,MA Ting,et al. Spatial-temporal distribution of cropland in China based on geomorphologic regionalization during 1990—2015[J]. *Acta Geographica Sinica*,2018,73(9):1613-1629. (in Chinese)
- [10] 黄会平,张岑. 基于3S的干旱区土地利用/覆被变化及其对水资源的影响分析——以张掖市甘州区为例[J]. *水土保持研究*,2009,16(4):270-274.
HUANG Huiping,ZHANG Cen. LUCC and analysis of water resources effect in arid area;a case of Ganzhou District,Zhangye,Gansu Province[J]. *Research of Soil and Water Conservation*,2009,16(4):270-274. (in Chinese)
- [11] 郝丽娜,栗晓玲. 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 Lina,LI Xiaoling. 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. (in Chinese)
- [12] 张良侠,吴世新,穆桂金,等. 基于土地利用变化的近18a新疆沙地动态及其驱动力分析[J]. *中国沙漠*,2012,32(1):17-23.
ZHANG Liangxia,WU Shixin,MU Guijin,et al. Analysis on sandy land dynamics and driving forces in the last 18 years in Xinjiang based on land use change data[J]. *Journal of Desert Research*,2012,32(1):17-23. (in Chinese)
- [13] 王涛. 荒漠化治理中生态系统、社会经济系统协调发展问题探析——以中国北方半干旱荒漠区沙漠化防治为例[J]. *生态学报*,2016,36(22):7045-7048.
WANG Tao. Study on the coordinated development of ecosystem and socio-economic system in desertification control;a case study of desertification control in semiarid area in North China[J]. *Acta Ecologica Sinica*,2016,36(22):7045-7048. (in Chinese)
- [14] 赵晓丽,张增祥,汪潇,等. 中国近30a耕地变化时空特征及其主要原因分析[J]. *农业工程学报*,2014,30(3):1-11.
ZHAO Xiaoli,ZHANG Zengxiang,WANG Xiao,et al. Analysis of Chinese cultivated land's spatial-temporal changes and causes in recent 30 years[J]. *Transactions of the CASE*,2014,30(3):1-11. (in Chinese)
- [15] 宋蕾,曹银贵. 中国耕地变化文献分析:数量特征、研究区域与文献来源[J]. *中国农业资源与区划*,2018,39(1):31-40.
SONG Lei,CAO Yingui. Analysis on cultivated land change in China; quantitative characteristics, research region and literature sources[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*,2018,39(1):31-40. (in Chinese)
- [16] 廖杰,王涛,薛娴. 近55a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.
LIAO Jie,WANG Tao,XUE Xian. Oasis evolution in the Hei River Basin during 1956—2010[J]. *Journal of Desert Research*,2012,32(5):1426-1441. (in Chinese)
- [17] 潘光耀,穆桂金,岳健,等. 2001—2010年策勒绿洲-沙漠过渡带的变化及其成因[J]. *干旱区研究*,2014,31(1):169-175.
PAN Guangyao,MU Guijin,YUE Jian,et al. Change of the oasis-desert ecotone and its causes in Qira county during the period of 2001—2010[J]. *Arid Zone Research*,2014,31(1):169-175. (in Chinese)
- [18] 孔君洽,杨荣,苏永中,等. 基于土地利用/覆被变化的荒漠绿洲碳储量动态评估[J]. *生态学报*,2018,38(21):1-12.
KONG Junqia,YANG Rong,SU Yongzhong,et al. Effect of land use and cover change on carbon stock dynamics in a typical desert oasis[J]. *Acta Ecologica Sinica*,2018,38(21):1-12. (in Chinese)
- [19] 龙桃,熊黑钢,左永君,等. 新疆耕地动态变化与可持续发展[J]. *干旱区资源与环境*,2012,26(1):19-24.
LONG Tao,XIONG Heigang,ZUO Yongjun,et al. Dynamic change of cultivated land in Xinjiang and its sustainable development[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*,2012,26(1):19-24. (in Chinese)
- [20] 穆悦,冯益明,高翔,等. 基于无人机图像的戈壁表面砾石特征变化研究[J]. *林业科学研究*,2018,31(2):55-62.
MU Yue,FENG Yiming,GAO Xiang,et al. Spatial distribution of gravel characteristics on gobi desert surface based on image acquired by unmanned aerial vehicle[J]. *Forest Research*,2018,31(2):55-62. (in Chinese)

- [21] 韩东,王浩舟,郑邦友,等. 基于无人机和决策树算法的榆树疏林草原植被类型划分和覆盖度生长季动态估计[J]. 生态学报,2018,38(18):6655-6663.
HAN Dong, WANG Haozhou, ZHENG Bangyou, et al. Vegetation type classification and fractional vegetation coverage estimation for an elm(*Ulmus pumila*) sparse forest grassland ecosystem during a growing season based on an unmanned aerial vehicle platform coupled with decision tree algorithms[J]. Acta Ecologica Sinica,2018,38(18):6655-6663. (in Chinese)
- [22] JOHN R J. Remote sensing of the environment an earth resource perspective[M]. Shanghai:Science Press,2011:11-13.
- [23] 刘洪霞,管文轲,扎依达·斯迪克,等. 塔里木胡杨国家自然保护区湿地面积在生态输水工程前后的变化[J]. 林业科学,2018,54(9):1-8.
LIU Hongxia, GUAN Wenke, ZAYIDA Sidike, et al. Changes of wetland area before and after ecological water supplement project in the national nature reserve of *Populus euphratica* in Tarim[J]. Scientia Silvae Sinicae,2018,54(9):1-8. (in Chinese)
- [24] PONTIUS R G, HUANG J L, JIANG W L, et al. Rules to write mathematics to clarify metrics such as the land use dynamic degrees[J]. Landscape Ecology,2017,32(12):2249-2260.
- [25] 孙智斌,高敏华,崔雪锋. 基于遥感与GIS的天山北坡经济带2000—2015年土地利用动态变化研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),2018,54(3):397-404
SUN Zhibin, GAO Minhua, CUI Xuefeng. Land use change in north slope economic zone of Tianshan Mountain based on remote sensing and GIS from 2000—2015[J]. Journal of Beijing Normal University(Nature Science),2018,54(3):397-404. (in Chinese)
- [26] MATSUSHITA B, XU Ming, FUKUSHIMA T. Characterizing the changes in landscape structure in the Lake Kasumigaura Basin, Japan using a high-quality GIS dataset[J]. Landscape & Urban Planning,2006,78(3):241-250.
- [27] FENG Yiming, LU Qi, TOKOLA T, et al. Assessment of grassland degradation in Guinan County, Qinghai Province, China, in the past 30 years[J]. Land Degradation & Development. 2009,20(1):55-68.
- [28] SHOYAMA K, BRAIMOH A K, AVTAR R, et al. Land transition and intensity analysis of cropland expansion in Northern Ghana[J]. Environmental Management,2018,62(5):892-905.
- [29] KRZYWINSKI M, SCHEIN J, BIROL I, et al. Circos: an information aesthetic for comparative genomics[J]. Genome Research,2009,19(9):1639-1645.
- [30] 刘彦随,王介勇,郭丽英. 中国粮食生产与耕地变化的时空动态[J]. 中国农业科学,2009,42(12):4269-4274.
LIU Yansui, WANG Jieyong, GUO Liying. The spatial-temporal changes of grain production and arable land in China[J]. Scientia Agricultura Sinica,2009,42(12):4269-4274. (in Chinese)
- [31] 郭丽英,李刚. 环渤海地区城镇化进程中耕地面积及其重心转移格局分析[J]. 中国农业资源与区划,2013,34(4):32-36.
GUO Liying, LI Gang. Analysis of spatial pattern on farmland area change and the gravity center transfer under urbanization of Bohai Rim[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning,2013,34(4):32-36. (in Chinese)
- [32] GROSS D, EHLERS W, WRIGGERS P, et al. Statics-formulas and problems[M]. Springer, Berlin, Heidelberg, 2017.
- [33] LI Hao, SONG Yan, ZHANG Ming. Study on the gravity center evolution of air pollution in Yangtze River Delta of China[J]. Natural Hazards,2018,90(3):1447-1459.
- [34] 邓铭江. 新疆未来发展的思考——塔里木河流域水问题与水战略研究[J]. 干旱区地理,2016,39(1):1-11.
DENG Mingjiang. Prospecting development of south Xinjiang: water strategy and problem of Tarim River Basin[J]. Arid Land Geography,2016,39(1):1-11. (in Chinese)
- [36] 肖海峰,俞岩秀. 中国棉花生产布局变迁及其比较优势分析[J]. 农业经济与管理,2018,50(4):38-47.
XIAO Haifeng, YU Yanxiu. Layout of cotton production and its comparative advantage in China[J]. Agricultural Economics and Management,2018,50(4):38-47. (in Chinese)
- [37] 陈红,吴世新,冯雪力. 基于遥感和GIS的新疆耕地变化及驱动力分析[J]. 自然资源学报,2010,25(4):614-624.
CHEN Hong, WU Shixin, FENG Xueli. Study on the changes of cultivated land and the driving factors in Xinjiang based on RS and GIS[J]. Journal of Natural Resources,2010,25(4):614-624. (in Chinese)
- [37] 朱会义. 1980年以来中国棉花生产向新疆集中的主要原因[J]. 地理研究,2013,32(4):744-754.
ZHU Huiyi. The underlying cause for the concentration of China's cotton production in Xinjiang[J]. Geographical Research,2013,32(4):744-754. (in Chinese)
- [38] 秦中春. 新疆棉花目标价格制度改革分析研究[J]. 区域经济评论,2016(6):46-57.
QIN Zhongchun. The analysis and research on Xinjiang cotton target price system reform[J]. Regional Economic Review,2016(6):46-57. (in Chinese)
- [39] 包艳丽,王晓伟,戴俊生,等. 新疆植棉规模变动影响因素分析[J]. 山西农业科学,2016,44(12):1877-1881.
BAO Yanli, WANG Xiaowei, DAI Junsheng, et al. Analysis of cotton planting scale change influence factors in Xinjiang[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences,2016,44(12):1877-1881. (in Chinese)
- [40] 穆哈拜提·帕热提,左婷. 新疆林果业产值空间格局分析[J]. 林业经济,2015(7):73-77.
MUHABAITI Pareti, ZUO Ting. An analysis on the current situation, spatial distribution and output value of Xinjiang's forestry and fruits industry[J]. Forestry Economics,2015(7):73-77. (in Chinese)