

新疆渭干河—库车河三角洲绿洲耕地时空变化特征分析

麦尔耶姆·亚森^{1,2}, 买买提·沙吾提^{1,2}, 吐尔逊·艾山^{1,3}, 如则麦提·米吉提^{1,2},
依克丽曼·阿布都米提^{1,2}, 马依拉·热合曼^{1,2}

(¹新疆大学资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; ²新疆大学绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046;

³新疆维吾尔自治区农业资源区划办公室, 乌鲁木齐 830004)

摘要:【目的】耕地资源的变化特征是土地利用与土地覆被变化研究的重要内容,也是关系到耕地安全与粮食安全的重大问题。新疆作为中国农业用地较多和后备耕地资源较大的省区,在中国耕地资源保护和持续利用中具有突出地位。渭库绿洲是新疆最典型的荒漠绿洲区,是阿克苏地区最大的灌溉区及新疆重要的产棉区之一,深入了解该绿洲耕地分布及其变化过程,对指导该绿洲农业发展,保障生态安全至关重要。【方法】本研究以遥感资料为数据源,选取动态度、区位指数和板块密度等地理计量模型揭示渭库绿洲近 21 a 来耕地的时空变化特征,分析其变化的主要原因。【结果】(1)近 21a 年渭库绿洲耕地发生了显著的时空变化。耕地面积从 1994 年的 2 488 km² 增加到 2015 年的 3 931 km²,研究期间增加了 1 443 km²,耕地面积的比例从 17% 上升到 26%,年均变化量 68.71 km²,年均变化率 2.7%;耕地扩展中心逐渐由绿洲中上游转移到下游,并延伸到绿洲外围,主要表现以耕地为主的农业用地和建设用地为主的非农业用地增加,以及盐渍地和水域大面积减少;(2)从区位指数来看,各县的区位指数存在一定的差异,其中新和县的耕地区位指数均排在第一位,耕地聚集程度远高于全区平均和其他地区,沙雅县的耕地区位指数位于第二,聚集程度也高于全区平均值,库车县的耕地区位指数最小。【结论】经过近 21 a 的耕地扩展,耕地景观由已杂乱破碎斑块逐渐连接成片,耕地景观的优势进一步增加。降水和径流的增加为渭库绿洲耕地扩展提供了相对有利的气候条件,水利建设与人口增长是影响该绿洲耕地面积变化的主要原因。本研究提出的分析方法能快速、客观反映区域耕地格局的动态变化过程和差异特征,为耕地时空变化研究提供了一种新思路。

关键词: 渭干河—库车河三角洲绿洲; 土地利用/土地覆被; 耕地; 时空变化; 驱动因子

Spatial-Temporal Characteristics of Cropland in the Ugan-Kuqa River Delta Oasis

Maieryemu Yasen^{1,2}, Maimaiti Shawuti^{1,2}, Tuerxun Aishan^{1,3}, Ruzemaimaiti Mijiti^{1,2},
Yikeliman Abudumiti^{1,2}, Mayila Reheman^{1,2}

(¹College of Resources and Environmental Sciences, Xinjiang University, Urumqi 830046; ²Key Laboratory of Oasis Ecology of Ministry of Education, Xinjiang University, Urumqi 830046; ³Xinjiang Agricultural Resources and Regional Planning Office, Urumqi 830004)

Abstract: 【Objective】Spatial and temporal characteristics of cropland are a main part of the LUCC research and it is becoming more important for food security, land protection and environmental change. Xinjiang plays a significant role for the protection and sustainable development of the land resource which is ranked the richest province in China, with the agricultural land. The Ugan-Kuqa river delta oasis is considered the most important “food and cotton resource area” which is the largest

收稿日期: 2016-12-20; 接受日期: 2017-07-10

基金项目: 国家自然科学基金 (41361016, 40901163, 41130531, 41561089)、新疆大学博士启动基金 (BS120116)、新疆维吾尔自治区科技厅基金 (2014KL005, 2013711014)

联系方式: 麦尔耶姆·亚森, E-mail: 1263705431@qq.com. 通信作者买买提·沙吾提, E-mail: korxat@xju.edu.cn

irrigated region in the Aksu district in XinJiang. The main objective of this study is to analyze the causes of spatial and temporal change of the cropland in the research area, from 1994 to 2015 over 21 years period. 【Method】 The cropland data were obtained from the Landsat images after processing based on the remote sensing platform. The changing rate, location index and plate density were selected for the analysis of the spatial and temporal changing dynamics of the cropland in recent 21 years for the research area. 【Result】 (1) The results showed that significant changes in the distribution and extent of cropland were occurred that it covered a surface area of 2 488 km² (17% of the total area) in 1994, 3 931 km² (26%) in 2015 with an annual increasing rate of 2.7% (68.71 km²·a⁻¹). The increased cropland mostly distributed in the margins of oasis and expanded to desert regions from the middle and upper reaches of the oasis. It could be attributed to agricultural activities and urban construction for increasing cropland and residential land, while the saline land and water land largely decreased; (2) Location index presented that there was a significant regional variation in 21 years period. The rank of location index was in the following order: Xinhe>Shaya>Kuqa, location index of the Xinhe and Shaya' counties was larger than mean value of the total area, becoming more concentration in distribution. 【Conclusion】 Cultivated landscape is becoming continuous from messy pieces over a 21-year period. These changes are due to the increased precipitation and runoff with supplying more water resource. Hence, population growth and its pressure on the land cultivation, improved drainage system are the main reasons for the growing of cropland. The methodology put forward in this study enables us to apply easily and quickly remote sensing and GIS techniques for detecting spatial and temporal change of cropland.

Key words: Ugan-Kuqa river delta oasis; land use and land cover; cropland; spatial and temporal change; causes analysis

0 引言

【研究意义】耕地是粮食生产最重要的物质基础,是农民最基本的生产资料和最基本的生活保障。由于社会经济发展、人口不断增长和非农业建设等原因,中国耕地保有量持续下降,人口与粮食、人口与耕地资源之间的矛盾越来越尖锐^[1-3]。【前人研究进展】众多学者利用传统的社会经济统计资料,土地调查、遥感监测资料对全国,省级,市和地区级城市等不同尺度的耕地时空变化及原因进行了深入研究,如洪舒蔓等^[4]采用耕地变化强度模型、分异指数模型、粮食生产空间转移模型等方法,分析黄淮海平原 2000—2008 年间耕地资源数量、质量时空变化及其对粮食生产格局变化的影响以期对黄淮海平原粮食安全政策制定和土地利用规划提供参考;史娟等^[5]利用 1998—2006 年全国土地利用变更和全国耕地变化情况数据,揭示了中国耕地资源的时空变化特征;许丽丽等^[6]基于中分辨率卫星遥感数据,分析 2000—2010 年间中国耕地变化及其空间差异,并对中国耕地占补平衡政策的实施效果进行了评估,得到研究期间中国耕地面积有所减少;耕地变化在空间上呈现出西增东减,北增南减趋势;全国耕地总体占补平衡背后存在较为严重的生态风险,耕地增加过于依赖土地开发,对现有耕地的保护亟待加强等结论;石淑芹等^[7]以东北地区为例,在 3S 技术支持下获取具有时空变化的耕地资源数据,并结合农业统计数据,构建不同层次的耕地质量评价指

标体系,探讨区域性耕地数量与质量变化对粮食生产能力的影响;杨春艳等^[8]以遥感数据为基础,选取耕地动态度、区位指数和区域差异模型分析了西藏近 30 年耕地资源的数量、分布及其时空变化趋势,探讨了耕地变化的驱动因素;刘彦随等^[9]利用 1996、2000 和 2005 年中国县域耕地与农业劳动力数据,基于 GIS 技术和模型方法,分析了县域耕地面积与农业劳动力变化态势及其时空耦合特征;张军岩等^[10]基于遥感和 GIS 方法,揭示了石家庄市 1995—2000 年在城市化进程中土地利用时空变化特征,明确耕地变动的主要方向,同时分析确定了耕地变动的主要影响因素,判定城市化率与耕地面积的变化关系;彭文甫等^[11]利用四川省及省域范围内的 21 个市、地、州 1952—2000 年的耕地变化数据和经济社会发展数据,应用因子分析方法全面分析了影响耕地变化的经济、社会等主要因素,并建立耕地面积变化的多元线性回归模型,并据此预测四川省未来耕地数量的变化。这些研究为充分了解耕地时空变化趋势、保护耕地提供了参考。新疆是中国重要的资源接替区,后备耕地资源非常丰富^[12],从 20 世纪 50 年代开始,由于大规模开垦,耕地资源在面积、空间分布和质量上都发生了巨大变化^[13]。总体上看,新疆的耕地面积经历了一个大幅度增加的过程^[14-15]。但由于气候干旱、土地过度利用和水资源匮乏等原因,导致了土地退化,耕地质量下降,对全疆农业经济的可持续发展造成了严重影响^[16]。渭干河—库车河三角洲绿洲是新疆典

型的荒漠绿洲区,是阿克苏地区土地开发利用较早的灌溉区及新疆重要的产棉区之一,也是塔里木石油天然气开发的主要地区。近 20 多年来,在人口增长的压力和经济发展的驱使下,打井开荒天然植被为耕地,使得绿洲耕地面积及灌溉用量大幅增加,绿洲景观格局不断发生变化。然而,当地生态环境脆弱,土地盐渍化较重,加上耕地重用轻养、耕地土壤肥力水平低,引起耕地弃耕,耕地利用和保护面临着严峻的挑战^[17-18]。【本研究切入点】前人对于该绿洲的研究多集中于绿洲演变过程^[19]、绿洲适宜规模^[20]、土地盐渍化^[21]、流域水资源特点^[22]、气候变化特征^[23]、人口动态变化^[24,27]和农业开发及所引发的生态问题等方面^[17],而对绿洲耕地格局研究并不多见。现有的耕地变化研究资料主要来源于各类统计数据,从研究尺度和内容上来看,耕地变化分析缺乏时空视角。另外,以往耕地时空格局研究侧重从国家或分省区等大中尺度探讨耕地资源时空格局,而缺乏县域尺度耕地资源时空变化研究。县级区域是中国基本行政区域单元,处于行政管理和政策落实的前沿,在粮食生产发展中具有重要枢纽地位,对县域耕地资源动态变化的深入分析可为政府政策制定和完善提供一定的参考^[9]。【拟解决的关键问题】本研究以遥感资料为主要数据源,结合实地考察和实测资料,采用土地利用动态度、土地利用区位指数和板块密度等方法,分析了近 21 年来该绿洲耕地动态变化

及空间特征,为揭示绿洲整体耕地的变化趋势和区域差异提供了依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

渭干河—库车河三角洲绿洲(以下简称渭库绿洲,图 1)位于塔里木盆地北部的冲洪积平原,地理坐标介于 81°25'—83°16'E、41°05'—41°39'N 之间,南临塔里木河北岸,北抵秋里塔格山,西与温宿县相接,东与轮台县相邻,行政区划上隶属于库车、沙雅、新和三县,土地总面积约 523.75 万 hm^2 , 占全省土地面积的 3.16%,其中绿洲土地总面积约为 56.09 万 hm^2 , 占全疆绿洲面积的 3.8%。该绿洲属于大陆性温暖带干旱气候,年均气温 10.5—11.4℃,年平均降水量 51.6 mm,年平均蒸发量达 2 123.7 mm,干旱指数为 17.3—21.8。渭库绿洲地势北高南低,地形坡降 1%—4%,东西宽约 194 km,南北长约 322 km,平原区海拔在 940—980 m。种植业是渭库绿洲经济的主导产业,农业主要依赖中高山地区流下的渭干河、库车河和塔里木河进行灌溉。土地利用类型主要包括农田、林地、草地、荒地、盐渍地等;作物主要包括小麦、玉米、棉花、油菜等。由于降水稀少,蒸发量强,耕地经过蒸发后,大量的水分被吸走,而含在水中的盐分滞留了下来。这种独特的气候造成该绿洲大面积耕地被盐渍化,土壤有机质含量低,中低产田面积广。土壤以轻壤和沙

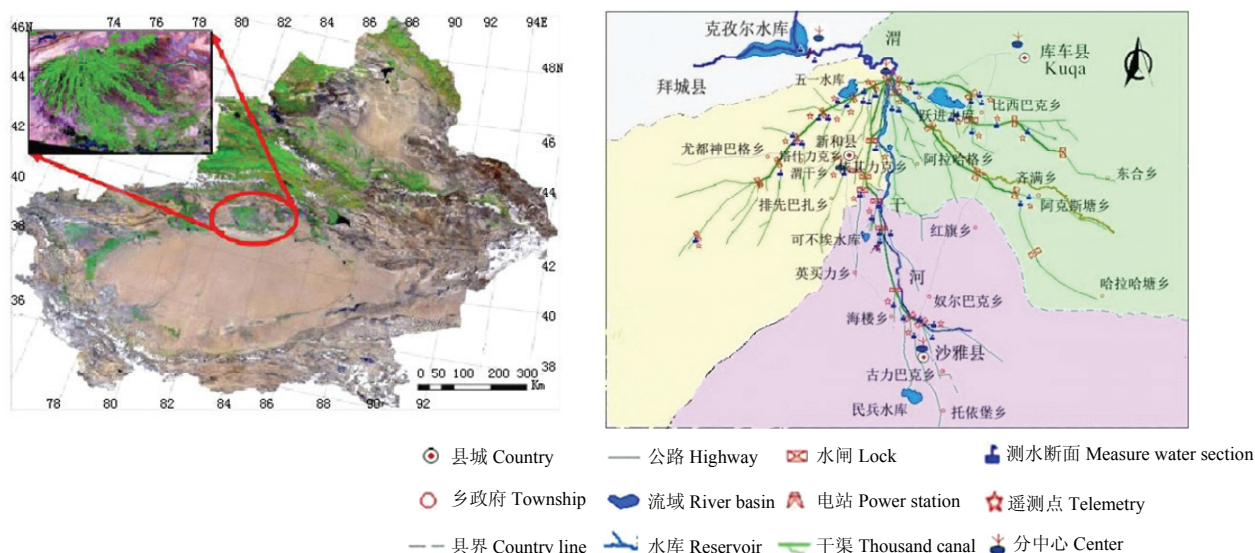


图 1 渭干河—库车绿洲示意图

Fig. 1 Location map of the Ugan-Kuqa river delta oasis

壤为主，土壤盐分多以氯化物、硫酸盐为主。

1.2 数据来源与处理

研究数据源采用渭库绿洲 1994 年 6 月和 2015 年 7 月的美国陆地卫星 Landsat TM 和 OLI 影像数据，其空间分辨率均为 30 m；根据渭库绿洲各地类的影像特征差异，分别在 2016 年 4 月 4—10 日和 2016 年 7 月 5—19 日进行分类地面样本点采集，用于影像分类和验证。另外，还收集了与影像解译相关的辅助数据，如 DEM、1：5 万比例尺地形图、土壤和地貌类型图等。

本研究首先将两期遥感影像进行辐射校正、几何校正，增强和裁剪等预处理。根据研究区的特点和分析精度要求，参照《土地利用现状调查技术规程》^[25]和有关学者在干旱区绿洲研究中的土地利用

分类系统^[26-27]，制定了分类方案，具体参考指标和遥感影像特征见表 1。然后采用最大似然分类方法对 1994 年与 2015 年遥感影像进行分类，在分类结果评价中选择 800 个样点，且保证每类有 100 个以上样点。利用历届野外采集的样点数据作为真实数据，结合渭库绿洲土地利用图，用基于误差矩阵的精度评价方法，分别对分类图进行评估（表 2—3）。由结果可知 2 年份各类别分类总体精度超过 80.0%，Kappa 系数均在 80.0%以上，这说明最终分类结果精度较高，误差较小，分类后处理结果具有科学性、与事实相吻合。最后利用 Arc GIS 软件对两期分类结果数据进行空间叠着分析，获得渭库绿洲土地利用变化和转移矩阵，在此基础上进行耕地时空变化研究。

表 1 遥感影像分类方案及遥感判读标志表（彩色合成方式：R_{TM7}、G_{TM4}、B_{TM1}）

Table 1 Image classification scheme and description of the land use and land cover type (Band combination R_{TM7}, G_{TM4}, B_{TM1})

类型 Type	含义 Meaning	影像特征 Image feature	图标 Icon
耕地 Crop land	主要是水浇地、旱地农田等，以种植农作物为主，间有零星果树 Mainly irrigated land, dry farmland, etc., mainly planting crops and interplanting fruit trees	几何特征明显，形状规则，呈现绿色 The geometric features are obvious, the shape is regular, and the appearance is green	
轻度盐渍 Slight salinization	郁闭度≥20%的天然的河岸平原林地，如胡杨林；植被盖度为 30%—70%灌木、高覆盖草地等，含盐量约为(1—3 g·kg ⁻¹) Canopy coverage of more than 20% of the natural riparian plains forest land, such as Populus Euphratica; vegetation coverage of 30% -70% shrub, high covered grass and so on. Salt content is about (1-3 g · kg ⁻¹)	影像色调深浅稍有不均匀表现，夹杂少量浅色碎斑 The color of the image is slightly uneven, mixed with a small amount of light colored spots	
中度盐渍地 Moderate salinization	植被盖度为 10%—30%的林地和灌木的过渡带和仅生长有耐盐植物的中覆盖度平原草地；含盐量约为 3—5 g·kg ⁻¹ Vegetation coverage of 10% to 30% of the forest and shrub transition zone and only the growth of salt-tolerant plants in the coverage of plain grassland; Salt content is about 3-5 g·kg ⁻¹	影像上呈现紫色或白色不均匀图斑，各浅色调图斑混杂 The image shows uneven purple or white spots, and each light spot is mixed	
重度盐渍地 Heavy salinization	表层有明显的盐结皮，地表盐壳厚度达 5 cm 以上，植被盖度极小的光板地；含盐量约为 5 g·kg ⁻¹ The surface layer has obvious salt crust, surface salt shell thickness of more than 5 cm, the vegetation coverage is extremely small light plate; salt content is about more 5 g·kg ⁻¹	色调为浅紫色与白色，有土地龟裂特征 The hues are pale purple and white, have cracked land	
水域 Water land	河流、渠道、湖泊、滩地、沼泽等 River, channel, lakes, reservoirs and ponds etc	色调多为蓝色 The tone is mostly blue	
沙地 Sand land	地表覆盖沙漠，沙丘等，基本无植被的土地 Desert, sand dune, etc., vegetation cover is less than 5% of the land	没有明显的集合特征，色调多为浅紫色 No obvious collection characteristics, mostly pale purple	
戈壁 Gobi	地表覆盖砾石，基本无植被的土地 Rocks, gravel, and vegetation cover is less than 5% of the land	流动感的灰色土地 A dynamic gray land	
建设用地 Residential land	城乡居民点及其以外的工矿企业用地、共用设施用地及交通用地等 Urban and rural residential areas, rural construction land and so on	色调多为紫色，较亮。 The hues are mostly purple and brighter	

表 2 1994 年遥感影像分类混淆矩阵

Table 2 Confusion matrix of image classification in 1994

分类类别 Class type	实际类别 Actual type							
	耕地 Crop land	轻度盐渍地 Slight salinization	中度盐渍地 Moderate salinization	重度盐渍地 Heavy salinization	水域 Water land	建设用地 Residential land	沙地 Sand land	戈壁 Gobi
耕地 Crop land	89	10	0	0	1	2	0	0
轻度盐渍地 Slight salinization	2	60	1	4	1	0	0	0
中度盐渍地 Moderate salinization	0	13	73	0	2	1	0	2
重度盐渍地 Heavy salinization	0	5	25	86	2	0	1	0
水域 Water land	1	3	0	2	85	1	0	0
建设用地 Residential land	5	1	0	0	0	94	1	2
沙地 Sand land	0	0	1	2	2	1	97	11
戈壁 Gobi	3	8	0	6	7	1	1	85
总和 Total	100	100	100	100	100	100	100	100
分类总精度 Total accuracy of classification=84.5%								Kappa=82.3%

表 3 2015 年遥感影像分类混淆矩阵

Table 3 Confusion matrix of image classification in 2015

分类类别 Class type	实际类别 Actual type							
	耕地 Crop land	轻度盐渍地 Slight salinization	中度盐渍地 Moderate salinization	重度盐渍地 Heavy salinization	水域 Water land	建设用地 Residential land	沙地 Sand land	戈壁 Gobi
耕地 Crop land	91	0	0	0	1	3	0	0
轻度盐渍地 Slight salinization	0	92	1	0	1	0	0	0
中度盐渍地 Moderate salinization	0	5	90	0	2	0	0	3
重度盐渍地 Heavy salinization	0	1	7	96	2	0	0	0
水域 Water land	1	1	0	0	87	1	0	0
建设用地 Residential land	5	0	1	0	0	96	0	1
沙地 Sand land	0	0	1	0	1	0	99	12
戈壁 Gobi	3	1	0	4	6	0	1	84
总和 Total	100	100	100	100	100	100	100	100
分类总精度 Total accuracy of classification=92.0%								Kappa=90.8%

1.3 研究方法

为了更全面揭示研究区耕地在时间、空间上的变化过程和趋势,参考相关研究^[9,28-30],引入土地资源数量变化衡量指标,如土地利用动态度、相对变化率、区位指数等,主要指数选取和计算方法及含义如表 4 所示。

2 结果

2.1 土地利用类型的时空变化

从表 5 可以看出 3 个特点,首先,研究区域主要的土地利用类型为耕地、轻度盐渍地、中度盐渍地、重度盐渍地,分别占研究区土地面积的 16.66%—26.32%,

表 4 研究区域耕地变化分析方法和计算公式

Table 4 The analysis method and the equation for the cropland in research area

方法	含义	公式	参数含义
Method	Meaning	Equation	Parameter meaning
土地利用动态度 Land use dynamic degree (K)	反映一定时间内某种土地利用类型的数量变化情况; K 的绝对值越大反映土地变化速度越快; K>0, 总体增加; K<0, 总体减少 It reflects the change of a certain land use type in a certain time; The greater the absolute value of K, the faster it reflects land change. K>0, overall increase; K<0, overall decrease	$k = \frac{(Ub - Ua)}{Ua} \times \frac{1}{T} \times 100\%$	Ua、Ub 分别为研究初期及研究末期该土地利用类型的面积, km ² ; T 为研究时长 Ua and Ub were the area of land use types at the beginning of the study and the end of the study period, km ² ; T is the study duration
耕地区位指数 Location index (Q)	反应耕地的分布状况; Q>1, 说明该子区域耕地的聚集程度高于整个研究区; Q<1, 说明该子区域耕地的聚集程度低于整个研究区 Distribution of cultivated land in response ; Q>1 showed that the degree of arable land accumulation in this sub region was higher than that in the whole study area; Q<1 shows that the degree of arable land aggregation in this sub region is lower than that of the whole study area	$Q = \frac{Ui / Si}{\sum_{i=1}^n Ui / \sum_{i=1}^n Si}$	Ui 为第 i 个子区域耕地的面积, km ² ; n 为子区域数, Si 为第 i 个子区域土地总面积 Ui area of cultivated land for the first i sub region, km ² ; n is the number of sub regions, and Si is the total land area of the i sub region

表 5 1994—2015 年渭库绿洲土地利用数量变化

Table 5 Result comparison of the classified images in the period of 1994-2015

类型	1994 (Ua)	2015 (Ub)	变化量 (Ub-Ua)	动态度	标志
Type	(km ²)	(km ²)	Change amount (Ub-Ua) (km ²)	Land use dynamic degree (%)	Sign
耕地 Crop land	2488(16.65)	3931(26.31)	1443(40.93)	2.76	▲
轻度盐渍地 Slight salinization	3677(24.61)	2986(19.98)	-691(-19.6)	-0.89	▽
中度盐渍地 Moderate salinization	2400(16.06)	2663(17.83)	263(7.46)	0.52	▲
重度盐渍地 Heavy salinization	2746(18.38)	2174(14.55)	-512(-14.52)	-0.88	▽
水域 Water	691(4.63)	225(1.51)	-466(-13.21)	-3.21	▽
建设用地 Residential land	9(0.06)	85(0.57)	76(2.15)	40.21	▲
沙地 Sand land	92(0.61)	101(0.68)	9(0.25)	0.47	▲
戈壁 Gobi	2837(18.99)	2772(18.56)	-65(-1.84)	-0.11	▽

表中括号数据为该土地利用类型所占比例 (%) The data in the table represent the proportion of the land use type (%)

24.61%—19.98%, 16.06%-17.83%和 18.38%—14.55%, 四者的面积之和约占整个研究区域面积的 57.5%—78.6%, 表明这 4 种土地利用类型所占比重较大, 具有主体地位。

其次, 1994—2015 年渭库绿洲土地利用类型的面积均发生了不同程度的变化, 呈现四增四减趋势 (图 2)。建设用地、耕地、中度盐渍地和沙地均有所增加, 其动态度 (K) 均为正, 说明该土地利用类型正向变化, 总体增加。面积增加速度依次为建设用地>耕地>中度盐渍地>沙地, 其中建设用地和耕地面积增加速度最为明显, 沙地增加速度并不明显。说明在这期间, 研究区域城镇化速度较快, 土地沙漠化得到一定控制。另外, 轻度盐渍地, 重度盐渍地, 水域和戈壁有所减少,

其动态度 (K) 为负, 说明负向变化, 总体减少。面积减少速度依次为水域>轻度盐渍地>重度盐渍地>戈壁, 其中水域和轻度盐渍地减少面积最为明显。

最后, 在 8 类土地利用类型中, 耕地由 2 488 km², 增加到 3 931 km², 变化量为 1 443 km², 是区域面积变化最大的土地利用类型, 说明在这期间农业用地变化趋势较为剧烈。

为了进一步说明耕地与其他土地类型的相互转化关系, 通过对 1994 年和 2015 年 2 期分类结果的叠加分析, 求得研究区不同类型面积变化的转移矩阵 (表 6), 并制作面积百分比柱状图 (图 3)。

从表 6 和图 3 可以看出, 绿洲耕地转入与转出类型较为单一, 主要以轻、中度盐渍地为主, 其转入大

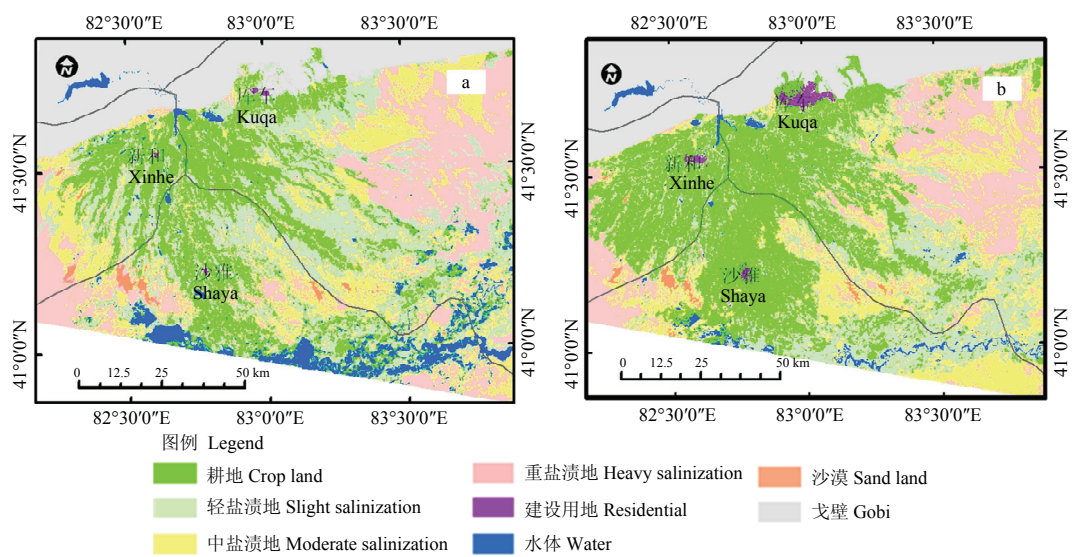


图 2 渭库绿洲土地利用/土地覆盖图 (a: 1994 年; b: 2015 年)
Fig. 2 The land use and land cover map obtained from classification (a: 1994; b: 2015)

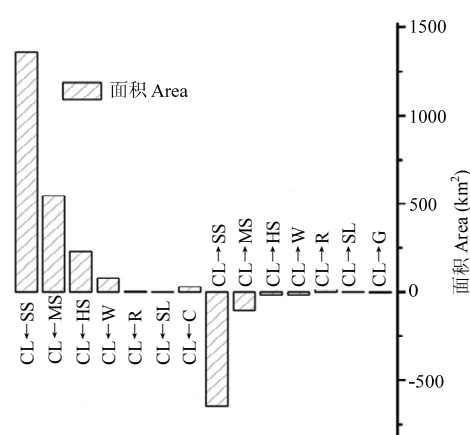
于转出，耕地增加主要由轻度盐渍地转变而来，且数量较多（9.089%），其次为中度盐渍地（3.658%）。水域也转换耕地，但所占比例微小。而建设用地、戈壁和沙地向耕地的转化趋势并不明显。因此，轻度盐渍地成为研究区域耕地面积增加的主导因素。

另外，轻、中、重度盐渍地之间的转变较为频繁，其轻度盐渍地的转出类型主要为中度盐渍地（4.68%），中度盐渍地的转出类型主要为轻、重度盐渍地，分别为 3.189%，3.562%，而重度盐渍地转出类型则主要是中度盐渍（5.91%），也有少量重度盐渍地转换轻度盐渍（1.695%），表明该区各盐渍地类型之间存在着频繁的相互转换。因此必须加强盐渍地的管理，切实保护盐渍地周围的耕地。

2.2 各地区耕地时空变化

从表 7 渭库绿洲耕地面积变化来看，研究区耕地面积呈现增长趋势，面积从 1994 年的 2 488 km² 增加到 2015 年的 3 931km²，占研究区域土地总面积的比例从 16.66% 上升到 26.32%，整个绿洲的耕地净增长了 1 443 km²，平均年递增 2.76%（68.71 km²）。

从行政区域上看，库车、新和和沙雅 3 县耕地面积均有所增加，其中库车县的耕地总面积和增加面积最多，耕地由 1 069 km² 增加到 1 576 km²，占研究区域土地总面积的比例从 7.16% 上升到 10.55%，增加了 507 km²，变化率为 35.13%；其次为沙雅县，耕地由 897 km² 增加到 1 576 km²，占研究区域土地总面积的



CL: 耕地 Crop land; SS: 轻度盐渍地 Slight salinization; MS: 中度盐渍地 Moderate salinization; HS: 重度盐渍地 Heavy salinization; W: 水域 Water; R: 建设用地 Residential land; SL: 沙地 Sand land; G: 戈壁 Gobi

图 3 1994—2015 年渭干河-库车河耕地转换方式
Fig. 3 Expression of the changing area of cultivated land in the period of 1994-2015

比例从 6.0% 上升到 9.34%，增加了 507 km²，变化率为 34.51%；新和县耕地总面积和增加耕地面积最小，耕地由 523 km² 增加到 960 km²，占研究区域土地总面积的比例从 3.5% 上升到 16.43%，增加了 437 km²，变化率为 30.28%。与各县耕地变化量相反的是，新河县的耕地年变化率最大，为 3.97%；库车县的耕地变化

表 6 1994—2015 年渭库绿洲土地利用/覆盖类型转移矩阵

Table 6 The land use and land cove transfer matrix in research area in the period of 1994-2015 (%)

1994	2015							
	耕地 Crop land	轻度盐渍地 Slight salinization	中度盐渍地 Moderate salinization	重度盐渍地 Heavy salinization	建设用地 Residential land	水域 Water	沙地 Sand land	戈壁 Gobi
耕地 Crop land	—	0.46	0.70	0.086	0.095	0.12	0.001	0.009
轻度盐渍地 Slight salinization	9.089	—	4.68	1.721	0.186	0.129	0.026	0.07
中度盐渍地 Moderate Salinization	3.658	3.189	—	3.562	0.06	0.024	0.066	0.015
重度盐渍地 Heavy Salinization	1.546	1.695	5.91	—	0.059	0.014	0.075	0.036
水域 Water	0.052	1.998	0.892	0.097	—	0.002	0.004	0.001
建设用地 Residential land	0.01	0.002	0	0	0	—	0	0.003
沙地 Sand land	0.004	0.019	0.079	0.004	0	0	—	0
戈壁 Gobi	0.179	0.073	0.038	0.042	0.0002	0.023	0	—

表 7 1994—2015 年渭干河-库车河绿洲各行政区耕地变化表

Table 7 Descriptive statistics of the cultivated area in different regions in the period of 1994-2015

行政区 administrative division	1994 (km ²)	2015 (km ²)	变化量 Change quantity (km ²)	年变化率 Change rate (%)	占研究区域土地总面积的比例 Proportion (%)	
					1994	2015
库车 Kuqa	1069/(42.96)	1576/(40.09)	507/(35.13)	2.25	7.16	10.55
沙雅 Shaya	897/(36.05)	1395/(35.48)	498/(34.51)	2.64	6.00	9.34
新和 Xinhe	523/(21.02)	960/(24.42)	437/(30.28)	3.97	3.50	6.43
合计 Total	2488	3931	1443	2.76	16.66	26.32

表中括号数据为该行政区所占比例（%） The data in the table is the percentage of the administrative area (%)

率最小，为 2.25%；沙雅县的耕地变化率介于两者之间，为 2.64%。说明在此期间，新河县的耕地变化速度最快，库车耕地变化速度较慢。

耕地区位指数计算结果显示（图 4），新和县的耕地区位指数均排在第一位，区位指数从 1.23 上升到 2.58，均高于 1，表明耕地聚集程度远高于全区平均及其他地区；沙雅县的耕地区位指数位于第二，区位指数从 1.23 上升到 1.91，也高于 1，表明聚集程度高于全区平均值；库车县的耕地区位指数最低，区位指数从 0.77 上升到 1.14，但是 1994 年的区位指数小于 1，表明 1994 年库车县的耕地聚集程度低于全区平均值。从以上耕地区位指数变化的分析结果看，渭库绿洲耕地区位指数存在一定的区域差异，但总体聚集程度有所提高。

从耕地空间分布和变化情况来看（图 5），耕地主要分布在渭干河平原灌区、库车灌区、沙雅灌区、库车河河道和塔里木河北岸等有完善灌排系统的土地上。耕地扩张主要表现为开垦现有耕地间条形或零星分布的中、轻度盐渍地，或在绿洲外围成片的重

度盐渍地扩张。由此可知，接近灌区的草场、水土条件好的河道周边灌木林地和处于绿洲外围的天然草地等容易成为开垦种粮的对象。21 年来库车县的耕地面积增加最多，其主要分布在库车县的东北和东南部，即乌尊镇、亚哈真、东阔坦镇、塔里木乡等地区。新

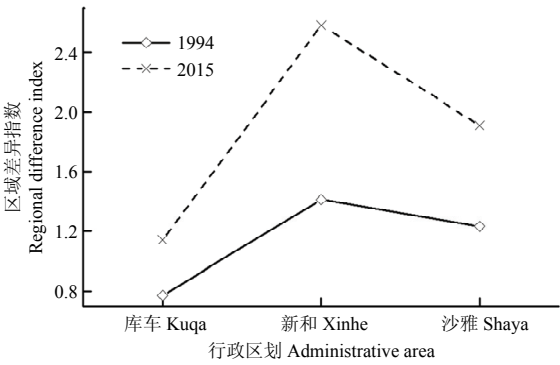


图 4 渭库绿洲耕地资源区位指数

Fig. 4 Location index of cultivated land in research area in the period of 1994-2015

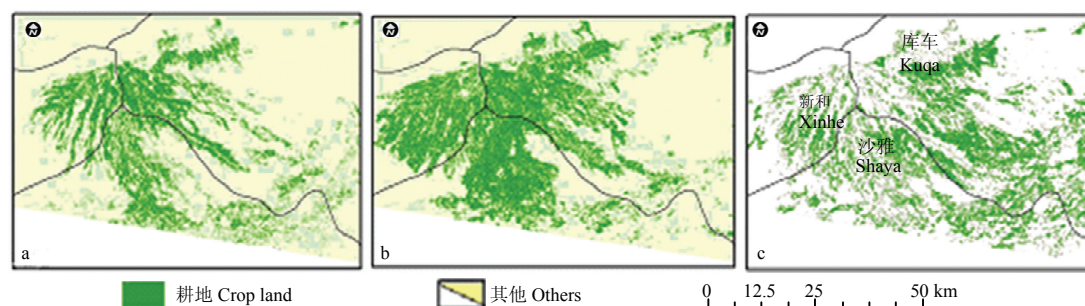


图5 1994—2015年渭干河-库车河耕地时空变化分布图(a: 1994年; b: 2015年; c: 耕地增加区域)

Fig. 5 Transition area of the cultivated land (a: 1994; b: 2015; c: Changes of the increased land area)

和县的耕地面积增加速度最快,其分布在新和县东南和西南部,即塔什艾日克乡、桑塔纳木农场、玉器哈提乡等地区。沙雅县的增加耕地面积速度在新和之后,其主要分布在沙雅县南部和东南部等地区,即塔里木乡、新垦农场、盖孜库木乡等地区。

2.3 耕地变化驱动力分析

由于研究区域自然条件有一定的区域差异,经济发展与人口增长的速度不同,加上历史的原因,影响耕地时空变化的因子错综复杂,既受到自然因素(气候、水文、土壤等)的制约,又受到人文因素(水利建设、经济发展和人口增长)的强烈影响^[31]。本文对研究区域的耕地变化驱动力进行以下分析。

2.3.1 气候条件 该绿洲属大陆性暖温带干旱气候,加之北有天山屏障,南受塔克拉玛干沙漠影响,生态环境非常脆弱。在很大的程度上,干旱地区垦荒是由水资源来决定的。渭库绿洲是典型的绿洲农业,农作物生长全靠渭干河、库车河和塔里木河水来灌溉,水资源是影响绿洲耕地变化的关键因子,今后绿洲耕地资源变化趋势仍将随水资源的时空变化而改变。有研究表明,从20世纪60年代以来,渭库绿洲日照变化较稳定,降水量增加明显,该绿洲向暖湿方向发展^[36]。根据渭干河流域库车气象站1961—2014年实测资料计算,多年平均降水量为57.78 mm,降水量总体上呈明显上升趋势,增长的倾向率约为 $10.21 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,气候正在发生由暖干向暖湿转型的趋势。受气候变化影响,渭库绿洲径流量总体上呈上升趋势,尤其是20世纪80年代以来地表水资源多年均值较20世纪80年代以前上升趋势更加明显^[32-33]。这说明降水和径流的增加为渭库绿洲的耕地开垦提供了相对有利的气候条件,使得耕地扩展,渭库绿洲耕地也表现出了较快的增长速度。

2.3.2 水利基础设施建设 随着社会发展,兴建了大量灌溉、防洪、水土保持、节水灌溉、治碱等水利基础设施。库车县已建成各级灌区渠道总长7 490.31 km,其中干渠405.31 km,支渠833 km,斗渠3 790 km,农渠2 462 km。共修建3 069座各种渠系建筑物。新和灌区共修建干、支、斗防渗渠395.2 km,全灌区支渠、分支渠以上渠道已得到防渗。先后建成“五一”水库、塔什艾日克水库和渭干水库,并在灌区内开机井130眼,每年提取地下水 $210 \times 10^4 \text{ m}^3$,为农业增产提供了有力的保证。沙雅县共有排渠1 022.2 km,灌溉渠道3 980 km,已防渗158 km,干渠509.9 km,支渠613.5 km,斗渠1 316.1 km,农渠1 142 km,塔河灌区干、支总长401 km,已防渗48.4 km,全县渠道防渗率为5.2%,各渠系有效利用系数在0.3—0.48之间。随着“五一”水库等水利工程的实施,有效减少了水库的渗漏损失。更好地为农业用水资源利用率提供了技术措施,发展现代农业建设。

根据渭库绿洲布设的38眼观测井地下水位资料分析发现,渭库绿洲1997—2012年期间,地下水位呈现出逐渐下降的趋势,1997年渭库绿洲年均地下水位为2.63 m,2012年达到了4.95 m,下降了2.43 m,年均下降水位为0.22 m,下降幅度为9.1%。其主要原因是绿洲引水和防洪,灌溉与排水、储水等工程起到了一定作用^[33]。渭干河、库车、沙雅、新和灌区临界灌排比分别为10.80、6.55、20.09、21.48,从1994年开始灌排比已逐步趋向合理^[34],有效降低了地下水位,部分地区盐渍化得到了改善,同时保障了耕地的连续灌溉,促进了耕地的进一步扩展。

2.3.3 人口增长 土地资源总是与人的利用相联系,人口因素是引发耕地变动的最基本要素之一,人口增长速度越快,耕地变化越快。据统计,渭库绿洲总人

口从 1949 年的 26.98 万增加到 2010 年的 89.2154 万, 变化率为 231%, 年均约增加 1.02 万人。可见, 随着人口总量增长、农业人口比重上升、农牧生活水平的不断提高, 加大了对粮食和建设用地的需求, 造成耕地总量不断增加。

3 讨论

从评价结果来看, 渭库绿洲耕地面积呈现增长趋势与全疆耕地变化基本一致, 与前人所得结果一致^[18, 35]。从绿洲新增耕地分布和扩展方向看, 盐渍地、水域甚至是沙地、戈壁等被改造成耕地, 这个结果可以反映出该绿洲耕地扩展方式与以往相比发生了变化, 即距水源较近、容易开发的土地向水源保证程度低的绿洲边缘地区扩展。但是, 由于渭干河上游黑孜水库的水质近 11 年 (1994—2005 年) 矿化度以 $10.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ 的速率上升。近 24 年, 硫酸根、氯硫合计浓度以及矿化度都呈明显上升趋势^[36]。上游水流将大量带有含盐量较高的水带入耕地, 经过灌溉、蒸发, 以及灌溉排水系统日益老化, 导致了耕地盐渍化。此外, 由于当地风沙天气较多, 经过开垦的土地原有的植被遭到破坏, 人们所种农作物在没有人工灌溉和保护下无法抵御极端干旱和风沙气候, 这些耕地农作物在春夏两季很容易受到不同程度灾害, 大量开垦的耕地很难持续利用。因此, 今后进一步做好严格控制垦荒规模, 控制水资源开发利用强度, 防治土壤盐渍化和沙化, 最终实现水资源的可持续利用是眼下的当务之急。

本文对区域耕地资源的动态变化过程和差异性等方面进行研究, 从研究结果看, 该方法定量地反映研究区域耕地资源的数量变化趋势、变化速度、变化方向和区域差异, 以反映不同地区的耕地资源开发强度。本研究可为干旱典型绿洲耕地可持续发展和管理, 维护、恢复和改善生态系统服务提供一定参考。

本研究的研究方法也存在一些不足之处。本文的方法只是针对中等分辨率遥感影像进行耕地信息提取, 在遥感数据选择上, 注重考虑利用中等分辨率影像提取耕地信息过程中的提取精度和运行成本的前提下, 采用最大似然法分类完成了研究区耕地信息的提取以及分类方法的精度评价。这种方法适用于耕地大范围分布且多为平原的地区, 监测精度较高, 但是对于地形复杂或耕地破碎度高的地区不太适用^[37-39]。同时, 本研究采用土地利用动态度、区域指数等地理模型来研究耕地变化过程和差异, 在模型的选择上,

重点考虑了全面性和典型性, 然而不同模型耦合应用研究方面上仍需要改进^[40]。另外, 也有学者采用主成分分析、地理加权回归模型、灰色关联度等定量分析方法对耕地变化驱动力进行了讨论, 揭示了耕地变化的原因^[41-42]。本文在此方面有待进一步改进和深入。

4 结论

(1) 近 21 年来渭库绿洲耕地发生了显著的时空变化。耕地面积从 1994 年的 $2\,488 \text{ km}^2$ 增加到 2015 年的 $3\,931 \text{ km}^2$, 研究期间增加了 $1\,443 \text{ km}^2$, 耕地面积的比例从 0.17% 上升到 0.26%, 年均变化量 68.71 km^2 , 年均变化率 2.7%; 耕地扩展中心逐渐由绿洲中上游转移到下游, 并延伸到绿洲外围, 主要表现为以耕地为主的农业用地和建设用地为主的非农业用地增加, 以及盐渍地和水域大面积减少。

(2) 各县的区位指数存在一定的差异, 其中新和县、库车的耕地区位指数均排在第一位, 耕地聚集程度远高于全区平均和其他地区, 沙雅县的耕地区位指数位于第二, 聚集程度也高于全区平均值, 库车县的耕地区位指数最低, 且 1994 年低于全区平均值。经过近 21 年的耕地扩展, 耕地景观由零散分布逐渐连成片, 耕地景观的优势进一步加强, 有利于大规模机械化耕作。

(3) 降水和径流的增加为渭库绿洲耕地扩展提供了相对有利的气候条件, 加上水利建设与人口增长是影响该绿洲耕地变化的主要原因。

References

- [1] 关兴良, 方创琳, 鲁莎莎. 中国耕地变化的空间格局与重心曲线动态分析. 自然资源学报, 2010, 25(12): 1997-2006.
GUAN X L, FANG C L, LU S S. Analysis of spatial distribution and gravity centers dynamic cultivated land changes in China. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(12): 1997-2006. (in Chinese)
- [2] 曹雪, 金晓斌, 王金朔, 缪丽娟, 周寅康. 近 300 年中国耕地数据集重建与耕地变化分析. 地理学报, 2014, 69(7): 896-906.
CAO X, JIN X B, WANG J S, MIAO L J, WANG Y K. Reconstruction and change analysis of cropland data of China in recent 300 years. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(7): 896-906. (in Chinese)
- [3] 赵晓丽, 张增祥, 汪潇, 左丽君, 刘斌. 中国近 30a 耕地变化时空特征及其主要原因分析. 农业工程学报, 2014, 30(3): 1-11.
ZHAO X L, ZHANG Z X, WANG X, ZUO L J, LIU B. Analysis of

- Chinese cultivated lands spatial-temporal changes and causes in recent 30 years. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(3): 1-11. (in Chinese)
- [4] 洪舒蔓, 郝晋珉, 周宁, 陈丽, 吕振宇. 黄淮海平原耕地变化及对粮食生产格局变化的影响. *农业工程学报*, 2014, 30(21): 268-277.
- HONG S M, HAO J M, ZHOU N, CHEN L, LÜ Z Y. Change of cultivated land and its impact on grain production pattern in Huang Huai Hai Plain. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(21): 268-277. (in Chinese)
- [5] 史娟, 张凤荣, 赵婷婷. 1998 年-2006 年中国耕地资源的时空变化特征. *资源科学*, 2008, 30(8): 1191-1198.
- SHI J, ZHANG F R, ZHAO T T. Spatiotemporal Changes in cultivated land area in China from 1998 to 2006. *Resources Science*, 2008, 30(8): 1191-1198. (in Chinese)
- [6] 许丽丽, 李宝林, 袁烨城, 高虔, 高锡章, 刘海江. 2000-2010 年中国耕地变化与耕地占补平衡政策效果分析. *资源科学*, 2015, 37(8): 1543-1551.
- XU L L, LI B L, YUAN Y C, GAO Q, GAO X Z, LIU H J. Changes in China's cultivated land and the evaluation of land requisition-compensation balance policy from 2000 to 2010. *Resources Science*, 2015, 37(8): 1543-1551. (in Chinese)
- [7] 石淑芹, 陈佑启, 姚艳敏, 李志斌, 何英彬. 东北地区耕地变化对粮食生产能力的影响评价. *地理学报*, 2008, 63(6): 574-586.
- SHI S Q, CHEN Y Q, YAO Y M, LI Z B, HE Y B. Impact assessment of cultivated land change upon grain productive capacity in Northeast China. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(6): 574-586. (in Chinese)
- [8] 杨春艳, 沈渭寿, 王涛. 近 30 年西藏耕地面积时空变化特征. *农业工程学报*, 2015, 31(1): 264-271.
- YANG C Y, SHEN W S, WANG T. Spatial-temporal characteristics of cultivated land in Tibet in recent 30 years. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(1): 264-271. (in Chinese)
- [9] 刘彦随, 李裕瑞. 中国县域耕地与农业劳动力变化的时空耦合关系. *地理学报*, 2010, 65(12): 1602-1612.
- LIU Y C, LI Y R. Spatio-temporal coupling relationship between farmland and agricultural labor changes at county level in China. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(12): 1602-1612. (in Chinese)
- [10] 张军岩, 贾绍凤, 高婷. 石家庄城市化进程中的耕地变化. *地理学报*, 2003, 58(4): 620-628.
- ZHANG J Y, JIA S F, GAO T. Cultivated land change in urbanization process of Shijiazhuang city. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(4): 620-628. (in Chinese)
- [11] 彭文甫, 周介铭. 近 50 年四川省耕地变化分析. *资源科学*, 2005, 27(3): 79-85.
- PENG W F, ZHOU J M. Change of cultivated land area in Sichuan province. *Resources Sinica*, 2005, 27(3): 79-85. (in Chinese)
- [12] 范兆菊, 张永福, 许萌. 新疆后备耕地资源的开发利用研究. *干旱地区农业研究*, 2005, 23(3): 177-181.
- FAN Z J, ZHANG Y F, XU M. Exploitation and utilization of cropland resources in support in Xinjiang. *Agricultural Research In the Arid Areas*, 2005, 23(3): 177-181. (in Chinese)
- [13] 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. *自然资源学报*, 2010, 25(4): 614-624.
- CHEN H, WU S X, FENG X L. Study on the change of cultivated land and the driving factors in Xinjiang based on RS and DIS. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(4): 614-624. (in Chinese)
- [14] 蔡文春, 杨德刚. 新疆耕地变化及驱动力分析. *干旱区资源与环境*, 2006, 20(2): 144-149.
- CAI W C, YANG D G. Variation of cultivated land and its driving forces in Xinjiang. *Agricultural Research in the Arid Area*, 2006, 20(2): 144-149. (in Chinese)
- [15] 程维明, 柴慧霞, 方月, 周成虎, 田长彦. 基于水资源分区和地貌特征的新疆耕地资源变化分析. *自然资源学报*, 2012, 27(11): 1809-1822.
- CHENG W M, CHAI H X, FANG Y, ZHOU C H, TIAN C Y. Analysis of cultivated land based on water resources regionalization and geomorphologic characteristics in Xinjiang. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(11): 1809-1822. (in Chinese)
- [16] 满苏尔·沙比提, 阿布拉江·苏莱曼. 渭干河—库车河三角洲绿洲农业气象灾害及减灾对策分析. *自然灾害学报*, 2002, 11(4): 90-95.
- MANSUER S, ABULAJIANG S. Analysis on meteorological calamities and disaster reduction countermeasures in the delta oasis of Weigan and Kuqa Rivers. *Journal of Natural Disaster*, 2002, 11(4): 90-95. (in Chinese)
- [17] 满苏尔·沙比提, 海鹰, 帕尔哈提·艾孜木. 渭干河-库车河三角洲绿洲 50a 来农业开发及所引发的生态问题探析. *中国沙漠*, 2004, 24(3): 349-354.
- MANSUER S, HAI Y, PAERHATI A. Agricultural exploitation of the delta oasis of Weigan-Kuqa River during recent 5 decades and analyses of its ecological problem. *Journal of Desert Research*, 2004, 24(3): 349-354. (in Chinese)
- [18] 满苏尔·沙比提, 热合漫·玉苏甫, 阿布拉江·苏莱曼. 新疆库车县草场资源开发利用中存在的问题及其对策. *草业科学*, 2003, 20(8): 5-8.
- MANSUER S, REHEMAN Y, ABULAJIAN S. Some existed

- problems and their countermeasure of exploiting grassland resources in Kuqa county. *Acta Prataculturae Sinica*, 2003, 20(8): 5-8. (in Chinese)
- [19] 满苏尔·沙比提, 陈冬花. 渭干河-库车河三角洲绿洲形成演变和可持续发展研究. *资源科学*, 2005, 27(6): 118-124.
- MANSUER S, CHEN D H. Development and evolvement of Weigan River Kuche River delta oasis and its sustainable development. *Resources Science*, 2005, 27(6): 118-124. (in Chinese)
- [20] 胡顺军, 宋郁东, 田长彦. 渭干河平原绿洲适宜规模. *中国科学: 地球科学*, 2006, 36(s2): 51-57.
- HU S J, SONG Y D, TIAN C Y. Suitable scale of oasis in Weihe River Plain. *Science China: Earth Sciences*, 2006, 36(s2): 51-57. (in Chinese)
- [21] 陈小兵, 杨劲松, 杨朝晖, 胡顺军, 刘广明. 渭干河灌区灌排管理与水盐平衡研究. *农业工程学报*, 2008, 24(4): 59-65.
- CHEN X B, YANG J S, YANG Z H, HU S J, LIU G M. Irrigation-drainage management and hydro-salinity balance in Weigan River irrigation distance. *Transaction of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(4): 59-65. (in Chinese)
- [22] 李聪, 曹占洲, 肖继东, 杨志华, 石玉. 渭干河-库车河三角洲绿洲近 45 年气候变化特征分析. *现代农业科技*, 2008(19): 365-367.
- LI C, CAO Z Z, XIAO J D, YANG Z H, SHI Y. Analysis of the characteristics of climate change in Weigan River-Kuche River delta oasis in recent 45 years. *Modern Agricultural Sciences and Technology*, 2008(19): 365-367. (in Chinese)
- [23] 段建军, 曹晓莉, 沈永平, 高前兆, 王顺德. 天山南坡渭干河流域地表水资源量及其变化趋势. *冰川冻土*, 2010, 32(6): 1211-1219.
- DUAN J J, CAO X L, SHEN Y P, GAO Q Z, WANG S D. Surface water resources and its trends in Weigan River based on the south slope of Tianshan China during 1956-2007. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2010, 32(6): 1211-1219. (in Chinese)
- [24] 满苏尔·沙比提, 阿里木江·卡斯木, 帕尔哈提·艾孜木. 渭干河-库车河三角洲绿洲人口动态变化及其带来的问题. *干旱区资源与环境*, 2005, 19(3): 71-76.
- MANSUER S, ALIMUJIANG K, PAERHATI A. Population dynamic and its problem in Weigan River-Kuche River delta oasis. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2005, 19(3): 71-76. (in Chinese)
- [25] 宋开山, 刘殿伟, 王宗明. 1954 年以来三江平原土地利用变化及驱动力. *地理学报*, 2008, 63(1): 93-104.
- SONG K S, LIU D W, WANG Z M. Land use change in SanJiang plain and its driving forces analysis since 1954. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(1): 93-104. (in Chinese)
- [26] 孙倩, 塔西甫拉提·特依拜, 张飞. 渭干河-库车河三角洲绿洲土地利用/覆被时空变化遥感研究. *生态学报*, 2012, 32(10): 3252-3265.
- SUN Q, TAXIPULATI T, ZHANG F. Dynamics of land use/cover changes in the Weigan and Kuqa rivers delta oasis based on remote sensing. *Acta Ecological Sinica*, 2012, 32(10): 3252-3265. (in Chinese)
- [27] 黄青, 孙洪波, 王让会, 张慧芝. 干旱区典型山地-绿洲-荒漠系统中绿洲土地利用/覆盖变化对生态系统服务价值的影响. *中国沙漠*, 2007, 27(1): 76-81.
- HUANG Q, SUN H B, WANG R H, ZHANG H Z. Effect of oasis land-use and land-cover change on ecosystem service values in typical mountain- oasis-desert system in arid region. *Journal of Desert Research*, 2007, 27(1): 76-81. (in Chinese)
- [28] 肖丽群, 陈伟, 吴群, 马素华. 未来 10a 长江三角洲地区耕地数量变化对区域粮食产能的影响——基于耕地质量等别的视角. *自然资源学报*, 2012, 27(4): 565-576.
- XIAO L Q, CHEN W, WU Q, MA S H. Impact of cultivated land quantity change on grain productive capacity of Yangtze River delta in the next 10 years—From the perspective of cultivated land quality grade. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(4): 565-576. (in Chinese)
- [29] 周晓艳, 宋祯利, 宋亚男, 韩丽媛. 基于地理加权回归模型的长江中游地区人均耕地面积变化影响因素分析. *水土保持通报*, 2016, 36(1): 136-142.
- ZHOU X Y, SONG Z L, SONG Y N, HAN L Y. Analysis on driving forces of cultivated land area change per capita in middle reaches of Yangtze river based on geographically weighted regression model. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2016, 36(1): 136-142. (in Chinese)
- [30] 李景刚, 何春阳, 史培军, 陈晋, 辜智慧. 近 20 年中国北方 13 省的耕地变化与驱动力. *地理学报*, 2004, 59(2): 274-282.
- LI J G, HE C Y, SHI P J, CHEN J, GU Z H. Change process of cultivated land and its driving forces in Northern China during 1983-2001. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(2): 274-282. (in Chinese)
- [31] 刘旭华, 王劲峰, 刘明亮, 孟斌. 中国耕地变化驱动力分区研究. *中国科学: 地球科学*, 2005, 35(11): 1087-1095.
- LIU X H, WANG J F, LIU M L, MENG B. Study on driving forces of cultivated land change in China. *Science China: Earth Sciences*, 2005, 35(11): 1087-1095. (in Chinese)
- [32] 满苏尔·沙比提, 胡江玲, 迪里夏提·司马义. 近 40 年来渭干河-库车河三角洲绿洲气候变化特征分析. *地理科学*, 2008, 28(4): 518-524.

- MANSUER S, HU J L, DILIXIATI S. Climatic change characteristics of Kuqa River Wei-gan River delta oasis during last 40 years. *Geographical Sciences*, 2008, 28(4): 518-524. (in Chinese)
- [33] 王娟, 张飞, 于海洋, 任岩, 张月. 基于 LUCC 的渭干河—库车河三角洲绿洲水文及生态特征. *水土保持研究*, 2016, 23(2): 236-242.
- WANG J, ZHANG F, YU H Y, REN Y, ZHANG Y. Analysis on the hydrological and ecological characteristics based on the LUCC in Kuqa River. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2016, 23(2): 236-242. (in Chinese)
- [34] 胡顺军, 艾尼瓦尔·吾买尔, 田长彦, 周宏飞, 宋郁东. 渭干河平原绿洲灌区合理灌排比探讨. *水土保持学报*, 2001, 15(1): 23-26.
- HU S J, AINIWAER W, TIAN C Y, ZHOU H F, SONG Y D. Rational ratio of irrigation to drainage in Weigan River irrigation district. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, 15(1): 23-26. (in Chinese)
- [35] 满苏尔·沙比提, 海鹰, 阿布拉江·苏来曼. 近 50 年来渭干河—库车河三角洲绿洲耕地变化及其成因. *地理研究*, 2004, 23(4): 487-494.
- MANSUER S, HAI Y, ABULAJIANG S. Analysis on the driving factors of farmland dynamic changes in recent 5 decades in delta oasis Weigan and Kuqa Rivers. *Geographical Research*, 2004, 23(4): 487-494. (in Chinese)
- [36] 李红德, 毛炜峰, 魏顺芝, 谭艳梅, 王书峰. 渭干河流域上游地表水水质变化分析. *干旱区研究*, 2006, 23(3): 393-398.
- LI H D, MAO W Y, WEI S Z, TAN Y M, WANG S F. Analysis on surface water quality in the upper reaches of the Ogan River basin. *Arid Zone Research*, 2006, 23(3): 393-398. (in Chinese)
- [37] 牛鲁燕, 张晓艳, 郑继业, 曹善栋, 阮怀军. 基于 Landsat8 OLI 数据的山东省耕地信息提取研究. *中国农学通报*, 2014, 30(34): 264-269.
- NIU L Y, ZHANG X Y, ZHENG J Y, CAO S D, RUAN H J. Extraction of cultivated land information in Shandong province based on Landsat8 OLI data. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(34): 264-269. (in Chinese)
- [38] MOULIN S, KERGOAT L, VIOVY N. Global scale assessment of vegetation phenology using NOAA/AVHRR satellite measurements. *Journal of Climate*, 1997, 10(6): 1154-1170.
- [39] 吕婷婷, 刘闯. 基于 MODIS 数据的泰国耕地信息提取. *农业工程学报*, 2010, 26(2): 244-250.
- LÜ T T, LIU C. Extraction of information of cultivated land using time-series MODIS data in Thailand. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(2): 244-250. (in Chinese)
- [40] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨. *地理科学进展*, 1999, 18(1): 81-87.
- WANG X L, BAO Y H. Study on the methods of land use dynamic change research. *Progress in Geography*, 1999, 18(1): 81-87. (in Chinese)
- [41] 摆万奇, 赵士洞. 土地利用变化驱动力系统分析. *资源科学*, 2001, 23(3): 39-41.
- BAI W Q, ZHAO S D. An analysis on driving force system of land use changes. *Resources Science*, 2001, 23(3): 39-41. (in Chinese)
- [42] 李平, 李秀彬, 刘学军. 我国现阶段土地利用变化驱动力的宏观分析. *地理研究*, 2001, 20(2): 129-138.
- LI P, LI X B, LIU X J. Macro-analysis on the driving forces of the land-use change in China. *Geographical Research*, 2001, 20(2): 129-138. (in Chinese)

(责任编辑 杨鑫浩)