

# 黑河中游水资源空间分布对绿洲核心景观类型变化的驱动分析

王祺 蒙吉军<sup>†</sup>

北京大学城市与环境学院, 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871;

<sup>†</sup> 通信作者, E-mail: jijunm@pku.edu.cn

**摘要** 以西北内陆黑河中游绿洲为研究区, 基于土地利用数据、基础地理信息数据及 DEM、土壤、气候和 DMSP/OLS 灯光数据, 采用多时序 Logistic 逐步回归方法, 分析 1986—1995, 1995—2000 和 2000—2010 年景观类型变化的驱动力, 揭示水资源空间分布对耕地和建设用地变化的约束范围。结果表明: 1) 各时段耕地增加不存在共性驱动因子, 但耕地减少有共性驱动因子(海拔和人类活动); 建设用地增加的共性驱动因子是海拔、距离和人类活动, 但不同时段驱动效应不同; 2) 机井和河渠对耕地和建设用地变化的影响机理类似, 影响范围为 1000~1500 m, 但河渠比机井更具约束力; 3) 海拔对耕地和建设用地的影响范围在 3500 m 以下, 其主要限制来自地形起伏的约束。研究结果对优化绿洲水土资源空间配置、提高绿洲水资源利用率具有重要的指导意义。

**关键词** 景观变化; 多时序; 水资源; 驱动力; Logistic 回归模型; 黑河中游

**中图分类号** F301; P942

## Driving Analysis of Oasis Key Landscape Types Changes Based on Water Resource Spatial Distribution in Middle Reaches of Heihe Basin

WANG Qi, MENG Jijun<sup>†</sup>

Laboratory for Earth Surface Processes (MOE), School of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871;

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: jijunm@pku.edu.cn

**Abstract** This research takes oasis in the middle reaches of Heihe Basin in northwestern inland as study area, based on land use data, basic geographic information database, DEM, soil database, climatic data and DMSP/OLS night light database, applies multiple time-series Logistic stepwise regression model to analyze driving factors for landscape types changes during 1986–1995, 1995–2000, 2000–2010, and reveals to what extent that water resource spatial distribution constrains to cropland and construction land. Conclusions are obtained as follows. 1) No general driving factors affect cropland increasing during each time period, while elevation and human activities present general driving factors for cropland decreasing. General driving factors for construction land increasing are elevation, distance and human activities, which have different driving directions based on different time periods. 2) Pumped wells and waterways share similar influential pattern on cropland and construction land changes with influential scope from 1 km to 1.5 km. Waterways constrain more than pumped wells. 3) The elevation influential scope on cropland and construction land is beneath 3500 m, with main constraint from topographic relief effect. The research results reveal the key instructional meanings for optimizing water and land resources spatial distribution, and improving utilization of water resource in oasis area.

**Key words** landscape types changes; multiple time-series; water resource; driving forces; Logistic regression model; middle reaches of Heihe Basin

土地利用变化研究是理解全球变化的重要窗口。土地利用/覆被变化(land use and cover change, LUCC)是全球环境变化和全球可持续发展的重要内容<sup>[1]</sup>,也是自然要素和人文要素最为密切的交叉过程<sup>[2]</sup>。自 1995 年 IGBP (国际地圈生物圈计划)和 IHDP (全球环境变化中的人文因素计划)联合提出 LUCC 研究计划,LUCC 驱动力的研究在解释土地利用/覆被变化中一直起着关键作用<sup>[3-4]</sup>。2005 年,IGBP 和 IHDP 联合推出全球土地计划(Global Land Project, GLP),强调“生态系统结构和功能变化的多驱动力(生物物理和社会-经济方面)的影响需要在不同时空尺度进行评估”,“从定性和定量角度,理解土地覆盖的转移和土地利用强度的变化如何从定性和定量角度改变生态系统服务的传递”<sup>[5]</sup>。干旱区是我国西北地区典型的气候区,因其成因复杂、变化过程快、恢复能力弱、环境敏感性强<sup>[6]</sup>、水资源系统脆弱<sup>[7]</sup>等特点而成为土地利用/覆被变化研究的热点区域。水是干旱区一切生态过程的驱动力,水资源分布的特殊性亦使其景观类型表现出与湿润区截然不同的分布特点<sup>[8]</sup>。揭示景观变化的驱动力、提高水资源利用效率成为干旱区生态系统管理的关键。

近年来,许多学者对干旱/半干旱区景观变化的驱动力从多方法、多角度展开研究。张凤荣<sup>[9]</sup>从定性的角度,梳理政策对伊金霍洛旗景观变化的驱动影响,认为人类活动是造成荒漠化的主要原因。蒙古军等<sup>[10]</sup>从地理环境和土地利用主体角度分析内蒙古乌审旗景观变化的驱动力,表明耕地受地形、水源和人口等宏观因素影响,建设用地主要分布在水源充足的地区。毛彦成等<sup>[11]</sup>和陈忠升等<sup>[12]</sup>采用相关分析、主成分分析和回归分析等方法,分别对张掖市甘州区和新疆和田河流域景观变化的驱动力进行研究,表明由于干旱区人口大量集中于绿洲,农田水利建设对耕地和建设用地发展有显著的影响;冯异星等<sup>[13]</sup>基于景观格局,对玛纳斯河流域的土地利用变化进行评估,发现过度开垦耕地和建设用地,会增加景观异质性,对绿洲稳定性具有负面影响;戴声佩等<sup>[14]</sup>基于 AutoLogistic 回归和 CLUE-S 模型,对张掖市甘州区的景观变化驱动力和变化趋势进行研究,亦发现水资源对景观变化的制约非常明显。

基于多时间序列的驱动力分析,通过纵向对比,揭示研究区景观变化的共性驱动因子,在此基础上

剔除随机因素,关注核心驱动因子,是实现绿洲土地资源持续利用的关键。从现有研究可以看出,基于多时序对干旱区核心景观类型变化驱动力的研究相对较少,尤其是关于水资源对集约度较高的耕地和建设用地的约束和影响强度的研究还较少见。

黑河是西北内陆干旱区的内陆河,中游集中了全流域 80% 的绿洲、91% 的人口、95% 的耕地和 80% 的 GDP<sup>[15]</sup>。多年来,黑河中游绿洲扩张<sup>[16]</sup>、水资源分配与管理<sup>[17]</sup>、城市化<sup>[18]</sup>、荒漠化<sup>[19]</sup>等问题一直较为突出。本文基于多时序驱动力分析,借助多元 Logistic 回归模型拟合的高效性和简明性<sup>[20]</sup>,对黑河中游的核心景观类型,即土地利用集约度较高的耕地和建设用地变化驱动因素进行定量研究,并以此为基础,确定水资源空间分布对景观变化的约束范围,以期为提高研究区用水效率和生态系统管理提供科学依据。

## 1 研究区概况和数据处理

黑河中游位于河西走廊中段,地理坐标为 97°20'—102°12'E, 37°28'—39°57'N。行政区包括张掖市甘州区、高台县、临泽县、民乐县、山丹县和肃南县明花区,总面积约 1.96 万 km<sup>2</sup> (图 1)。研究区南北依山,中部平坦,地貌以高山、中山、低山丘陵和走廊平原等为主,平均海拔为 1234~4886 m。走廊平原和北部山地为温带大陆性干旱气候,祁连山为高寒半干旱气候,年降水仅 104~328 mm,但区域分布不均。由于独特的地貌条件,黑河中游水资源丰富,河渠密布,农业发达<sup>[21]</sup>。长期以来,水资源问题一直是困扰黑河中游土地利用的瓶颈,出现诸如水资源供需矛盾突出<sup>[22-23]</sup>、农业用水过大<sup>[24]</sup>、用水效率不高<sup>[25]</sup>等问题。

本文所用土地利用数据包括 1986, 1995, 2000 和 2010 年的 4 期(图 2)。其中,前三期矢量数据来自中国科学院“八五”项目<sup>[26]</sup>,2010 年数据以 Landsat TM 影像为基础,利用 ENVI 4.7,通过人机交互目视解译获得,提取出耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 类,精度均在 90% 以上。基础地理信息数据(包括行政区划、道路、居民点、水系、灌渠等)来自中国科学院寒区旱区环境与工程研究所科学数据中心的“数字黑河”项目<sup>[27-30]</sup>;降水数据亦由该数据中心提供的 14 个气象站 48 年间的监测数据统计并插值得到;土壤数据来自联合国粮食及农业组织 (FAO) 基于世界土壤数据库(HWSD)

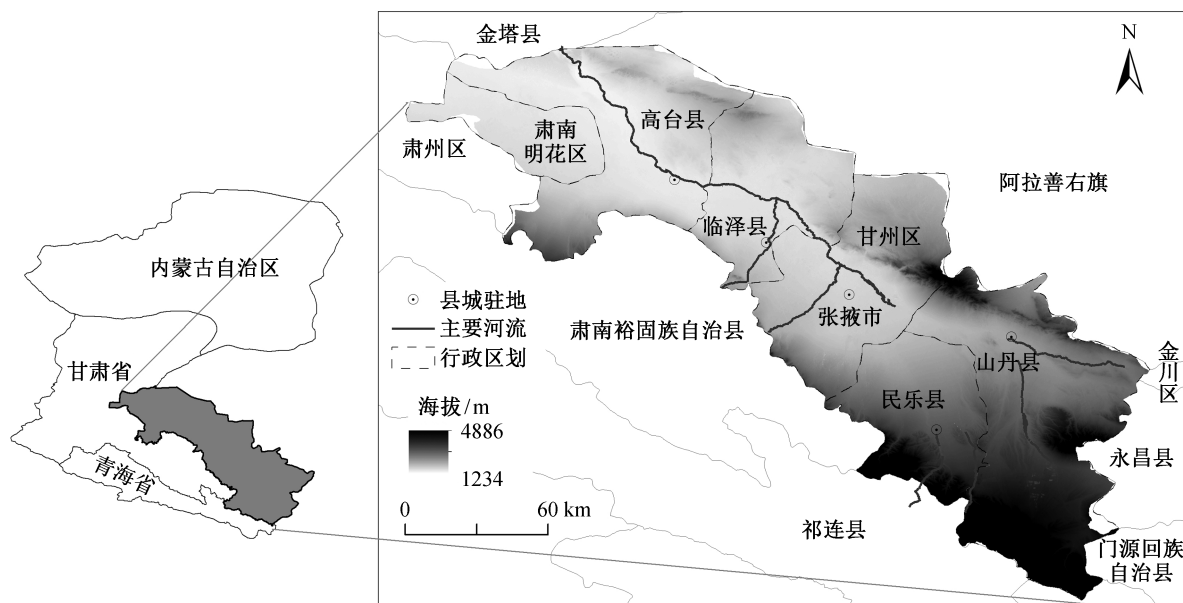


图1 研究区地理位置

Fig. 1 Geographical location of research area

的中国土壤数据集<sup>[31]</sup>; DEM (数字高程模型)数据由美国马里兰大学全球土地覆被数据提供,分辨率为  $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ ; 1995, 2000 和 2010 年 DMSP/OLS 夜间灯光数据来源于美国国家地球物理数据中心 (National Geophysical Data Center)。

## 2 研究方法

### 2.1 多时序景观类型变化的驱动力研究

Logistic 逐步回归是景观类型变化研究中的一种常用方法,可以筛选对景观格局影响较为显著的因素,同时剔除不显著的因素。假设一个栅格某一景观类型变化的条件概率为  $P_i = P(y_i = 1|x_i)$ , Logistic 回归模型假定这个概率能表达为如下的 Logistic 函数形式:

$$P_i = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \dots + \beta_n X_{n,i})}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \dots + \beta_n X_{n,i})}, \quad (1)$$

式中,  $P_i$  表示景观类型  $i$  变化的概率,  $X$  表示各备选驱动因素。Logistic 函数是协变的非线性函数,并且能转换成线性函数形式:

$$\text{Log}\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \beta_2 X_{2,i} + \dots + \beta_n X_{n,i}, \quad (2)$$

式中,  $\beta$  是各影响因子的回归系数。

在黑河中游,耕地和建设用地是集约度最高的景观类型,也是绿洲景观的核心组分。本文分别选

择 1986—1995, 1995—2000 和 2000—2010 年 3 个时段的耕地增加、耕地减少、建设用地增加为二元因变量,并根据数据的代表性和可得性,选择地理要素(包括海拔、坡度、土壤质地和降水)、距离要素(包括距河渠、距机井、距道路、距居民点)和人类活动强度(1995, 2000 和 2010 年灯光数据)共 9 个驱动因素(图 3)。在各种景观类型栅格上分别选取 1000 个采样点,变动设为 1,未变动设为 0,使用 SPSS 19.0 进行多元 Logistic 逐步回归,定量揭示耕地和建设用地的驱动因素。通过对比 3 个时段的驱动因素,识别驱动耕地和建设用地变化的共性因子,并据此提出土地利用管理措施。

### 2.2 水资源对景观类型空间约束的研究

在黑河中游,水资源主要由地表水和地下水组成,且地表水和地下水不断转换和循环。其中,地表水利用主要通过自然径流和人工灌渠引水,地下水则主要是机井抽取利用<sup>[32]</sup>。在干旱区山地,一方面,随着海拔的升高,水分有增加趋势,能够在一定程度上满足草地、林地、耕地等景观对水分不足的需求;另一方面,随着海拔的增加,地形起伏度较大,对耕地、建设用地的利用则产生较大的限制作用。因此,海拔对耕地和建设用地的影响,体现在水分条件和地形限制博弈的结果。基于此,本文选取河渠和机井以及海拔要素,采用缓冲区分析方法,揭示河渠和机井对景观变化的辐射影响、海拔

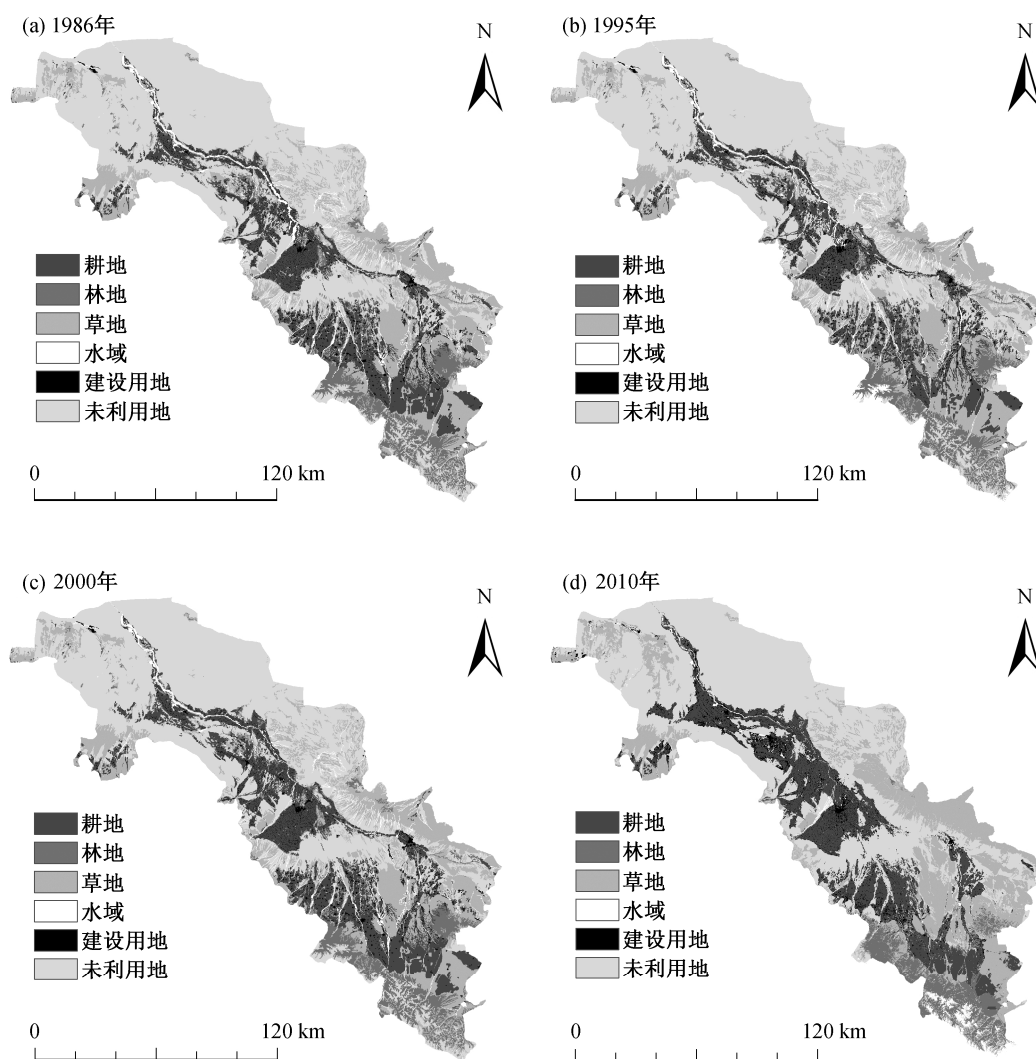


图 2 黑河中游 1986、1995、2000 和 2010 年景观类型

Fig. 2 Landscape types maps of middle reaches of Heihe Basin in 1986, 1995, 2000 and 2010

高度对景观类型的制约作用, 确定水资源对景观变化的约束能力。

为揭示水资源对景观类型空间约束的趋势, 应用 ArcGIS 10.0 中的缓冲区分析工具和脚本语言工具, 分别以 200, 300, 400 和 500 m 为间距, 生成连续缓冲区进行统计分析。经比较发现, 500 m 缓冲区能够有效降低数据冗余, 消除变化率的波动, 能更直观地表现景观类型的变化趋势, 且当最大缓冲距离大于 5000 m 后, 景观类型变化趋于稳定。因此, 以研究区机井和河渠为对象, 以 500 m 为缓冲距离, 分别对所有机井和河渠以半径(或宽度)依次增加 500 m 生成 10 个缓冲区, 统计耕地增加、耕地减少和建设用地增加的情况, 并计算相邻两个缓

冲区之间景观类型变化率的大小, 确定水源对景观变化的影响辐射范围。为确定海拔对核心景观的影响范围, 以 500 m 为间隔, 将研究区海拔分为 8 个海拔区间, 分别统计每个区间耕地和建设用地的数量和变化趋势。为避免地类绝对数量差异造成的假象, 用海拔区间景观类型变化与未变化的比值  $R_{ij}$  来表征相对变化的程度, 公式如下:

$$R_{ij} = \frac{|C_{ij}|}{U_{ij}}, \quad (3)$$

$R_{ij}$  表示第  $i$  个区间景观类型  $j$  的相对变化率,  $C_{ij}$  表示第  $i$  个区间景观类型  $j$  的变化量,  $U_{ij}$  表示第  $i$  个海拔区间景观类型  $j$  的不变量。

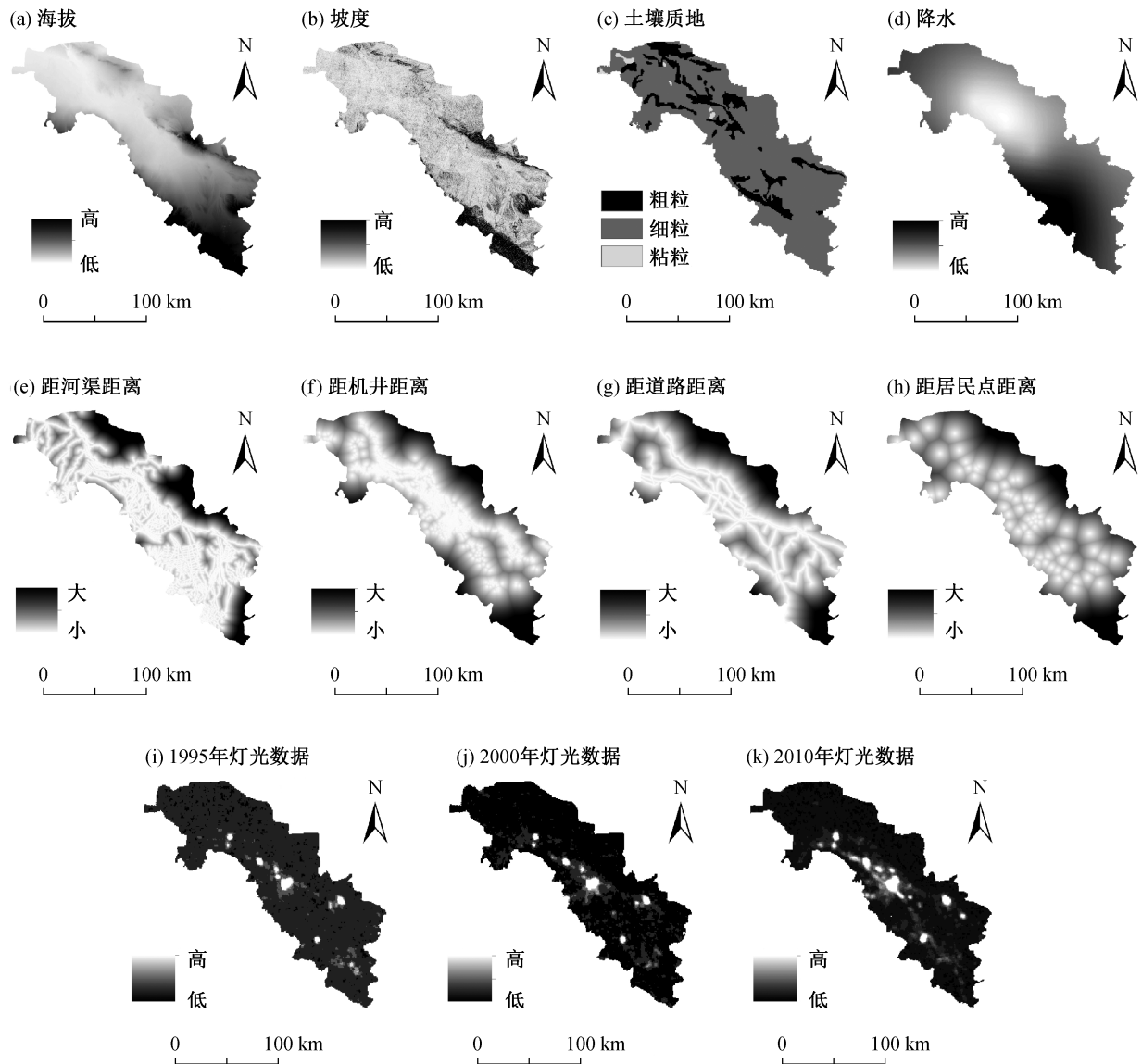


图3 黑河中游景观类型变化驱动因子

Fig. 3 Landscape types changes driving factors of middle reaches of Heihe Basin

### 3 结果分析

#### 3.1 耕地和建设用地动态变化

从表1可看出,首先,未利用地和草地是研究区最大宗的景观类型,二者之和占总面积的70%以上,其中,未利用地在4个年份中占总面积的比例均接近50%,草地基本上维持在23.19%~24.86%。其次,耕地和建设用地是研究区变化最为剧烈的景观类型,耕地面积比例在16.53%~19.15%之间变动,1986年以来,经历了先减、后增、再减少的波动性变化;建设用地面积虽然最小,但增加较快,特别是2000年后,从1.64%增加到2010年的4.11%,

共增长2.5倍。第三,林地面积比例相对较稳定,在6.23%~6.64%间小幅波动。第四,水域面积比例也较小,在1.72%~3.06%间变化,经历了先增后减的变化趋势。

1986—1995年期间,耕地面积略微减少,建设用地几乎不变。林地、草地、水域和未利用地面积变化较小。其中,耕地主要转化为草地和未利用地,其增加主要来自水域的转换,体现了耕地一方面被荒弃,另一方面向着水源地开垦的、较为原始的发展模式。

1995—2000年期间,耕地和建设用地都略有增

表 1 黑河中游 1986, 1995, 2000 和 2010 年景观类型  
 Table 1 Landscape types table of middle reaches of Heihe Basin in 1986, 1995, 2000 and 2010

景观类型	1986 年		1995 年		2000 年		2010 年	
	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%
耕地	3528.00	18.02	3235.07	16.53	3748.04	19.15	3441.45	17.58
林地	1237.41	6.32	1298.75	6.64	1219.37	6.23	1223.57	6.25
草地	4731.65	24.17	4865.76	24.86	4560.93	23.30	4538.33	23.19
水域	546.96	2.79	598.72	3.06	510.80	2.61	335.72	1.72
建设用地	305.97	1.56	300.21	1.53	321.35	1.64	804.48	4.11
未利用地	9223.12	47.12	9274.61	47.38	9212.64	47.07	9229.55	47.15

加, 分别为 2.38%和 0.11%。耕地增加主要来自林地、草地和水域的转化, 部分耕地转化为建设用地; 而建设用地的增加来自其他各景观类型。总体上看, 该时段内景观类型变化程度较为缓和。

2000—2010 年期间, 耕地有所减少, 建设用地成倍增加。林地、草地和未利用地面积变动不大。其中, 耕地的增加来自水域和草地的减少, 而耕地减少主要转变为建设用地和未利用地, 反映出城市化过程中耕地不断被占用, 继而耕地不断向外围草地和荒漠扩张的态势。建设用地数量剧增主要来自

耕地、林地、草地、水域的转化。

### 3.2 景观类型变化的驱动力

#### 3.2.1 耕地增加的驱动力

从表 2 可以看出, 耕地增加的驱动因素主要是地形和距离因素。1986—1995 年期间, 耕地增加的概率随坡度的增加而增大, 但随机井距离的增加而减小, 说明耕地的开垦, 一是向着水源较为充沛的坡地扩张, 二是主要集聚在机井周围, 反映出该时段耕地增加主要依赖于稳定的水源。1995—2000 年期间, 影响耕地增加的驱动因子强度依次为河渠距

表 2 黑河中游耕地增加回归结果  
 Table 2 Regression results of cropland increasing in middle reaches of Heihe Basin

影响因子	1986—1995 年		1995—2000 年		2000—2010 年	
	$\beta$	$\exp(\beta)$	$\beta$	$\exp(\beta)$	$\beta$	$\exp(\beta)$
海拔	—	—	0.479	1.615	-0.982	0.375
坡度	0.490	1.633	0.396	1.486	—	—
降水	—	—	—	—	0.274	1.316
距河渠距离	—	—	-0.572	0.564	—	—
距机井距离	-0.438	0.645	—	—	—	—
距道路距离	—	—	—	—	—	—
距居民点距离	—	—	0.293	1.340	0.895	2.448
灯光数据	—	—	—	—	—	—
是否是粗粒	—	—	—	—	-0.501	0.606
是否是细粒	—	—	—	—	—	—
是否是黏粒	—	—	—	—	—	—
常数	-0.186	0.830	-0.071	0.931	0.431	1.539

离、海拔、坡度、距居民点距离。耕地增加量随海拔和坡度的增加而增大,随河渠距离的增加而减小,说明地形和河渠对耕地的分布有重要的影响。耕地增加量还随居民点距离的增加而增大,说明该时期耕地开垦并不趋向于居民点附近,而是表现出向绿洲边缘扩张的趋势。2000—2010 年期间,重要的影响因子是海拔和距居民点距离。耕地增加量随海拔的增加而减小,说明该时期内耕地增加趋于相对平坦的区域,随居民点距离的增加而增加,同样表现出向外扩张的趋势。另外,还表现出降水多的区域耕地增加明显,粗质土壤对耕地增加有抑制作用。

可以看出,3 个时段不存在共性因子对耕地增加起持续影响作用,但总体看来,地形、距水源距离和人类活动强度是影响耕地增加的主要因素。

### 3.2.2 耕地减少的驱动力

从表 3 可以看出,耕地减少的驱动因子是海拔、距离和人类活动。1986—1995 年期间,距河渠距离的影响程度最大,其次是海拔和距居民点距离。耕地减少的概率随海拔、居民点距离、人类活动强度的增加而增大,随河渠距离的增加而减小,说明耕地减少主要发生在河渠周围,靠近人类活动较强的区域。1995—2000 年期间,海拔是耕地减少的最主要影响因素,其次是距机井距离和人类活动强度。耕地减少的概率在高海拔地区相对较大,稳

定性较差。同时,在机井附近及人类活动强的区域耕地减少概率较高,主要由于经济发展建设用地不断占用耕地所致。2000—2010 年期间,最主要的影响因素是距河渠距离和距道路距离,其次是距机井距离、海拔和坡度。与距河渠和机井距离的关系表现为耕地发展对水源的依赖。耕地的减少多发生在人类活动为主的区域以及海拔较高和坡度较陡的区域。

海拔和人类活动强度是 3 个时段耕地减少的共性影响因子,且具有一致的驱动方向:海拔越高耕地减少的概率越大,人类活动强度越大耕地减少的概率也越大,说明退耕还林还草政策的实施及建设用地对耕地的占用是耕地减少的主要原因。

### 3.2.3 建设用地增加的驱动力

从表 4 可以看出,建设用地增加的主要驱动因素是地形、降水、距离和人类活动强度。1986—1995 年期间,最显著的两个影响因子是距河渠距离和距机井距离,其次是海拔和距居民点距离。建设用地增加趋向于在高海拔、近河渠和机井的区域,说明水源对建设用地的增加起关键作用。建设用地增加量随距居民点距离的增加而减小,说明建设用地以集聚增长为主。1995—2000 年期间,建设用地增长最显著的影响因素是距机井距离、距居民点距离和海拔。同上期相似,建设用地的增加量随海拔

表 3 黑河中游耕地减少回归结果  
Table 3 Regression results of cropland decreasing in middle reaches of Heihe Basin

影响因子	1986—1995 年		1995—2000 年		2000—2010 年	
	$\beta$	$\exp(\beta)$	$\beta$	$\exp(\beta)$	$\beta$	$\exp(\beta)$
海拔	0.793	2.210	0.754	2.126	0.236	1.266
坡度	—	—	—	—	0.399	1.490
降水	—	—	—	—	—	—
距河渠距离	-0.924	0.397	—	—	0.923	2.518
距机井距离	—	—	-0.515	0.597	0.368	1.445
距道路距离	—	—	—	—	-0.844	0.430
距居民点距离	0.629	1.877	—	—	—	—
灯光数据	0.117	1.124	0.118	1.126	0.063	1.275
是否是粗粒	—	—	—	—	—	—
是否是细粒	—	—	—	—	—	—
是否是黏粒	—	—	—	—	—	—
常数	-0.322	0.725	-0.395	0.674	0.243	1.275

表 4 黑河中游建设用地增加回归结果  
Table 4 Regression results of construction land increasing in middle reaches of Heihe Basin

影响因子	1986—1995 年		1995—2000 年		2000—2010 年	
	$\beta$	$\exp(\beta)$	$\beta$	$\exp(\beta)$	$\beta$	$\exp(\beta)$
海拔	0.873	2.393	0.404	1.497	-0.563	0.570
坡度	—	—	—	—	0.765	2.149
降水	-0.368	0.692	—	—	-0.245	0.783
距河渠距离	-1.803	0.165	—	—	-0.543	0.581
距机井距离	-1.495	0.224	-1.429	0.240	-0.236	0.790
距道路距离	0.492	1.636	—	—	—	—
距居民点距离	-0.861	0.423	-0.500	0.606	1.280	3.596
灯光数据	-0.074	0.929	-0.090	0.914	-0.229	0.795
是否是粗粒	—	—	—	—	—	—
是否是细粒	0.68	1.973	—	—	—	—
是否是黏粒	—	—	—	—	—	—
常数	-2.744	0.064	-1.119	0.326	1.062	2.893

的增加而增加,随距机井和居民点距离的增加而减小,在人类活动强度大的区域表现出不明显的下降趋势。2000—2010 年期间,最显著的影响因子是距居民点距离,其他因子影响程度较为平均。建设用地增长量随距居民点距离的增大而增加,呈现扩散增长而非聚集增长的模式,水源对其增长趋势分布的影响依然显著,仍然趋向于河渠和机井周围。

海拔、距机井距离、距居民点距离和人类活动强度是 3 个时段建设用地增加的共性驱动因子。前两时段建设用地增加是高海拔导向,而第三时段变为低海拔导向;距机井距离和人类活动强度在 3 个时段内对建设用地增长的影响方向一致,其概率在靠近机井和偏离人类活动强度(不显著)的区域较高;距居民点距离在前两期表现出负向作用,而在第三期表现出正向作用,说明前两期建设用地为聚集增长,而第三期主要以扩散增长为主。

### 3.3 水资源空间分布对景观类型变化的影响

综合 3 个时段景观类型变化的驱动力分析可以看出,距水源距离、地形和人类活动是驱动耕地和建设用地变化的主要因素。对于干旱区绿洲而言,人类活动主要集中在水源区附近,由于黑河中游特定的地貌格局与水文过程之间的关系,耕地和建设用地的变化多在地貌限制和水源供给间取得平衡。所以,稳定的水源成为干旱区绿洲景观类型变化的最

主要的影响因素,也表现出与湿润区截然不同的驱动机理。

#### 3.3.1 机井

图 4 为以 500 m 为缓冲区间隔的景观类型数量变化及其变化率。可以看出,耕地和建设用地的变动与距机井距离有明显的关系。其中,机井对耕地增加的影响范围主要在 1500 m 之内,增加量从 316.9 km<sup>2</sup> 迅速减小到 44.2 km<sup>2</sup>,变化率最高达到 56.0%,当超过 1500 m 时,耕地增加的数量变化不大;对耕地减少的影响范围则主要在 1000 m 以内,减少量从 296.6 km<sup>2</sup> 迅速减小到 77.2 km<sup>2</sup>,变化率最高为 56.7%。对于建设用地而言,机井所能影响的范围也主要在 1500 m 之内,建设用地增加量从 269.7 km<sup>2</sup> 迅速减小到 37.5 km<sup>2</sup>,变化率最高至 52.0%,其后随着距离的增加,变化率不断减小。综合看来,机井对耕地和建设用地变化的影响范围在 1000~1500 m 之间。

#### 3.3.2 河渠

与机井类似,距河渠距离也同样影响耕地和建设用地变化(图 5),但变化率的变化趋势不同:对于耕地增加和建设用地增加,距离较近和距离较远的变化率较大,而中等距离的变化率较小,变化率曲线呈“倒 U 形”,说明在远离河渠及高海拔的地区,耕地和建设用地增加量很小,因此变化率表现



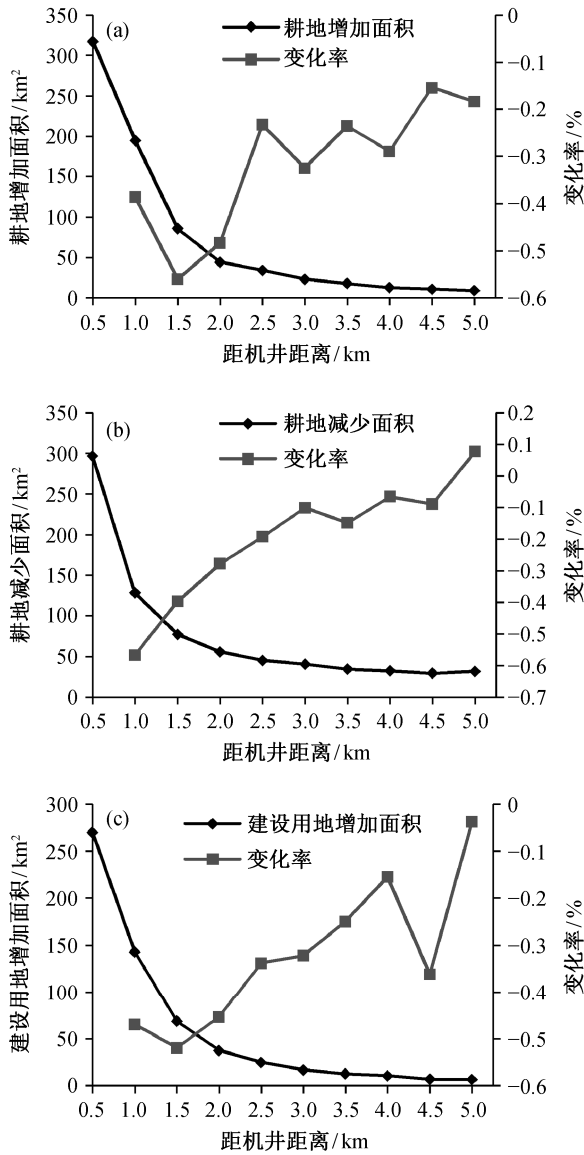


图 4 距机井不同距离的景观类型变化  
Fig. 4 Landscape types changes based on different distances to pumped wells

较为敏感。

河渠对耕地增加的影响范围主要在 1000 m 之内, 增加量从 537.9 km<sup>2</sup> 迅速减小到 73.1 km<sup>2</sup>, 变化率最高达 64.7%; 对耕地减少的影响范围也在 1000 m 以内, 减少量从 654.1 km<sup>2</sup> 迅速减小到 101.9 km<sup>2</sup>, 变化率最高为 61.8%。对于建设用地而言, 河渠影响范围也在 1000 m 之内, 建设用地增加量从 438.9 km<sup>2</sup> 迅速减小到 55.7 km<sup>2</sup>, 变化率最高至 65.0%, 其后随着距离的增加, 变化率呈现先增后减的趋势。综合来看, 河渠对耕地和建设用地的影响与机井相似, 但其影响的范围为 1000 m, 同等距离下景观类

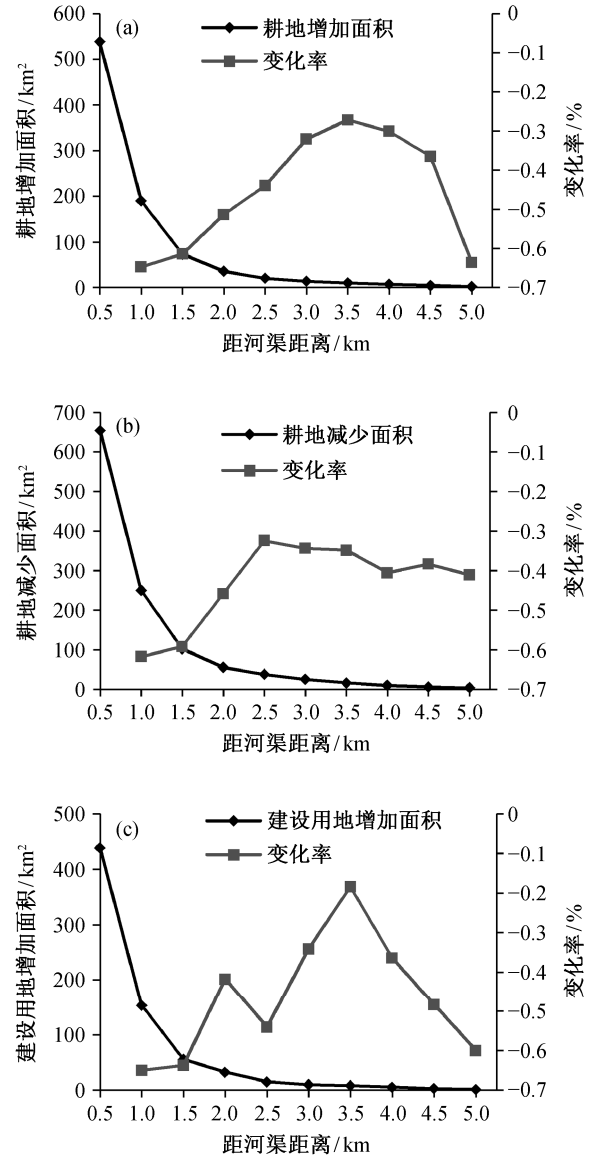


图 5 距河渠不同距离的景观类型变化  
Fig. 5 Landscape types changes based on different distances to waterways

型变化量也较机井更大, 说明河渠作为水源有着更强的约束作用。

### 3.3.3 海拔

图 6 为耕地和建设用地分布的海拔高度统计。可以看出, 耕地和建设用地基本上分布在海拔 3000 m 以下, 尤其在 1240~1750 m 之间分布较为集中, 超过 85% 的景观类型分布在 1300~2500 m 之间。从图 7 可以看出, 耕地在海拔 3500 m 以上不再增加, 海拔超过 3000 m 后, 耕地的相对变化率  $R_{ij}$  大于 1, 表现较为敏感, 间接说明耕地数量较少。耕地减少量随着海拔的增加呈现先增后减的趋势:

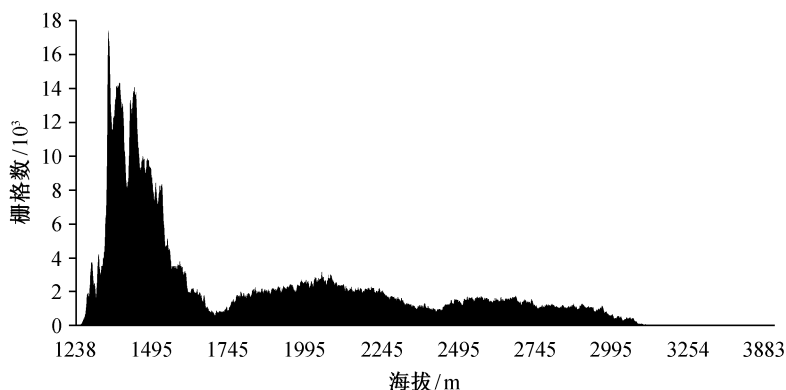


图 6 耕地和建设用海拔分布统计

Fig. 6 Spatial distribution statistics of cropland and construction land in height level

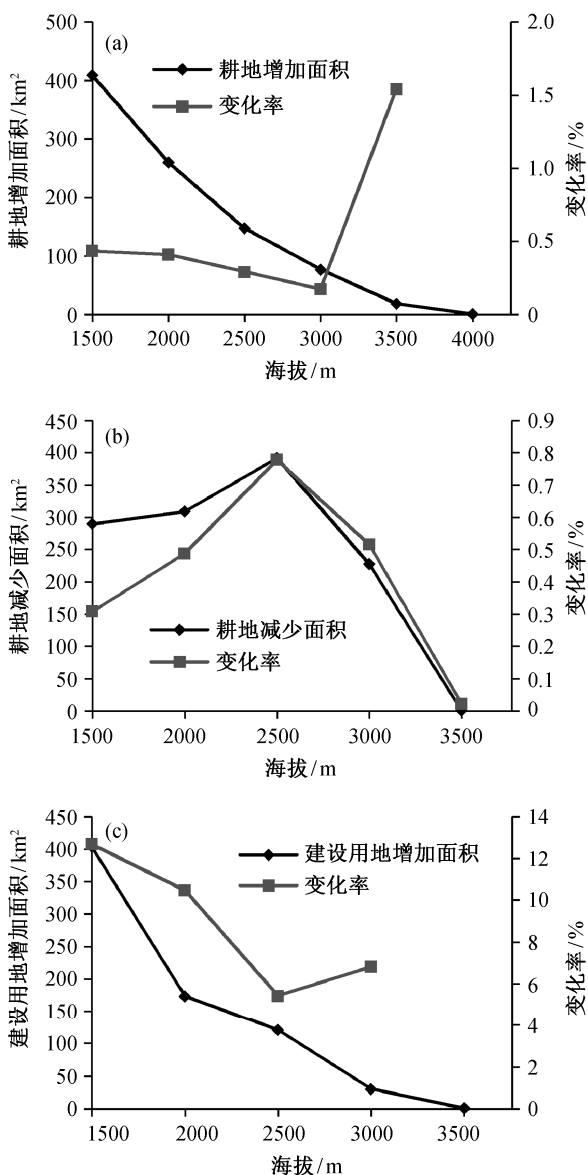


图 7 不同海拔高度的景观类型变化

Fig. 7 Landscape types changes based on different elevations

2500 m 以下耕地减少量随海拔升高而增加, 2500 m 以上耕地减少量不断减小。从相对变化率也可以看出, 海拔在 2500 m 时耕地减少最为明显, 超过 3500 m 则不再有耕地的减少, 因为海拔 3500 m 以上几乎没有耕地的分布。建设用地在海拔 3500 m 以上不再增加, 说明高海拔对建设用地的扩张仍然存在抑制作用。从海拔高度的角度看, 水分供给并不是景观变化的主要原因, 地形起伏、便捷度和可达性是山区影响景观类型变化和分布的主要原因。

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

水资源是干旱区绿洲维系的最重要因子, 也是驱动干旱区绿洲景观类型变化的主要原因, 水资源的空间分布和开发利用直接关系到干旱区绿洲景观格局及动态变化。本文以干旱区黑河中游为研究区, 利用多元 Logistic 回归模型及缓冲区分析方法, 来揭示水资源对于干旱区绿洲核心景观类型变化的影响及范围。主要结论如下。

1) 耕地和建设用地是研究区内变化最剧烈的景观类型。耕地面积经历了先减、后增、再减的变化, 这种波动性变化的数量和空间发展, 受到自然环境和人类活动双重作用的影响。建设用地面积占比最小, 但变化最剧烈, 特别是近 10 年来增长达 2.5 倍。总体上, 呈现在城市化过程中, 由于建设用地不断扩张, 导致耕地不断向外围扩展的态势。

2) 基于多时序景观类型变化驱动力分析发现, 耕地增加不存在共性驱动因子; 海拔和人类活动是耕地减少的共性驱动因子, 且具有一致的驱动方向; 海拔、距机井距离、距居民点距离和人类活动强度

是驱动建设用地增长的共性因子,但时间不同,驱动效应不同。地形、距离水源距离和人类活动是耕地和建设用地变化的主要驱动因素,表明水源对于旱区绿洲景观类型变化具有重要的约束作用。

3) 通过对水源进行缓冲区景观类型变化统计分析发现,机井对耕地和建设用地变化的影响范围为 1000~1500 m 之内,影响范围内景观类型变化随距离变化明显;河渠对耕地和建设用地变化的影响范围为 1000 m,但比机井有着更强的约束力;耕地和建设用地的增加随海拔的增加而减少,且海拔 3500 m 以上不再有耕地的增减和建设用地的增加,景观类型的分布主要受地形起伏和便捷度的制约。

## 4.2 讨论

黑河中游水资源分配利用是黑河流域稳定发展的基本前提。多年来,黑河中游水资源利用效率低下、水土资源匹配不平衡等问题十分突出,因此,揭示水资源空间分布对于旱区绿洲景观类型变化的驱动和约束范围,对实现干旱区绿洲生态系统管理具有直接的指导意义。生态系统适应性管理需要实现对区域的长期追踪和监控,多时序土地利用驱动力分析能够识别黑河中游景观类型变化的共性驱动因子,并能够作为生态系统管理的胁迫因子纳入指标体系。对于黑河中游,地形和人类活动是耕地发展的主要驱动因素,也是制约耕地的胁迫因素。因此,通过对地形要素和人类活动的综合考量,引导耕地生态和经济的双重健康发展,实现长时期内耕地稳定发展的可持续目标。

黑河中游水资源空间分布利用研究,能够为水土资源配置和土地利用规划提供依据。鉴于河渠、机井对耕地和建设用地变化的约束作用和影响范围,在黑河中游土地利用规划中,应合理规划土地利用功能区和灌溉渠系的配置,提高灌区的土地利用效率。例如,河渠约束范围大致为 1000 m,在河渠规划或调整时,应控制河渠间的影响范围不大于 1000 m。机井虽然具有更广的约束范围,但因供水能力有限,其配置必须结合水文地质条件。耕地和建设用地尽量控制在海拔 2500 m 以下,在山麓地带结合机井建设,合理布局水利工程,提高水资源利用效率。分析水资源空间分布对绿洲景观格局辐射影响,对协调研究区景观空间布局、科学用地规划、提高用水效率以及实现水土资源优化配置具有重要的指导意义。

## 参考文献

- [1] Turner II B L, Lambin E F, Reenberg A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *PNAS*, 2007, 104(52): 20666–20671
- [2] 蔡运龙. 自然地理学的创新视角. 北京大学学报: 自然科学版, 2000, 36(4): 576–582
- [3] Lambin E F, Geist H J. Global land-use/land-cover change — What have we learned so far?. Stockholm: IGBP Global Change Newsletter, 2001: 27–30
- [4] Ojima D, Lavorel S, Graumlich L et al. Terrestrial human-environment systems: the future of land research in IGBP II. Stockholm: IGBP Global Change Newsletter, 2002: 31–34
- [5] Moran E, Ojima D, Buchmann N, et al. Global land project: science plan and implementation strategy. Stockholm: IGBP Report No.53/ HDP Report No.19. 2005
- [6] 陈亚宁, 李稚, 范煜婷, 等. 西北干旱区气候变化对水文资源影响研究进展. 地理学报, 2014, 69(9): 1295–1304
- [7] 陈亚宁, 杨青, 罗毅, 等. 西北干旱区水资源问题研究思考. 干旱区地理, 2012, 35(1): 1–9
- [8] 颜耀文, 陈发虎. 干旱区土地利用/土地覆盖变化与全球环境变化. 地域研究与开发, 2002, 21(2): 22–26
- [9] 张凤荣. 半干旱区土地利用变化及其驱动力与土地可持续利用: 基于内蒙古自治区伊金霍洛旗的案例. 资源科学, 2011, 33(11): 2041–2046
- [10] 蒙古军, 朱利凯, 毛熙彦. 近 30 年来毛乌素沙地土地利用变化驱动力的多尺度研究: 以内蒙古乌审旗为例. 应用基础与工程科学学报, 2012, 20(增刊 1): 54–66
- [11] 毛彦成, 张勃, 张华. 绿洲土地利用/覆盖变化的社会经济与自然驱动力分析: 以张掖市甘州区为例. 干旱区资源与环境, 2007, 21(2): 90–94
- [12] 陈忠升, 陈亚宁, 李卫红. 新疆和田河流域土地利用/覆被变化及其驱动力分析. 中国沙漠, 2010, 30(2): 326–333
- [13] 冯异星, 罗格平, 周德成等. 近 50 a 土地利用变化对于旱区典型流域景观格局的影响: 以新疆玛纳斯河流域为例. 生态学报, 2010, 30(16): 4295–4305
- [14] 戴声佩, 张勃. 基于 CLUE-S 模型的黑河中游土地利用情景模拟研究: 以张掖市甘州区为例. 自然资源学报, 2013, 28(2): 336–348
- [15] 王晓君, 石敏俊, 王磊. 黑河中游水资源空间动态优化配置: 基于分布式水资源管理模型//发挥资源

- 科技优势,保障西部创新发展:中国自然资源学会 2011 年学术年会论文集(下册). 2011: 479-486
- [16] 廖杰,王涛,薛炯. 近 55 a 来黑河流域绿洲演变特征的初步研究. 中国沙漠, 2012, 32(5): 1426-1441
- [17] 肖生春,肖洪浪,蓝永超,等. 近 50 a 来黑河流域水资源问题与流域集成管理. 中国沙漠, 2011, 31(2): 529-535
- [18] 唐志强,曹瑾,党婕. 水资源约束下西北干旱区生态环境与城市化的响应关系研究:以张掖市为例. 干旱区地理, 2014, 37(3): 520-531
- [19] 刘蔚,王涛,曹生奎,等. 黑河流域土地沙漠化变迁及成因. 干旱区资源与环境, 2009, 23(1): 35-43
- [20] Bui D T, Lofman O, Revhug I, et al. Landslide susceptibility analysis in the HoaBinh province of Vietnam using statistical index and logistic regression. *Natural Hazards*, 2011, 59(3): 1413-1444
- [21] 蓝永超,康尔泗,张济世,等. 黑河流域水资源开发利用现状及存在问题分析. 干旱区资源与环境, 2003, 17(6): 34-39
- [22] 孙栋元,李元红,胡想全,等. 黑河流域水资源供需平衡与配置研究. 水土保持研究, 2014, 21(3): 217-221
- [23] 张军,周冬梅,张任陟. 黑河流域 2004—2010 年水足迹和水资源承载力动态特征分析. 中国沙漠, 2012, 32(6): 1779-1785
- [24] 孙琦伟,吴普特,王玉宝,等. 黑河流域农业用水健康新及其评价方法研究. 干旱地区农业研究, 2010, 28(3): 231-235
- [25] 蔡国英,徐中民. 黑河流域中游地区国民经济用水投入产出分析:以张掖市为例. 冰川冻土, 2013, 35(3): 770-775
- [26] Liu Jiuyan, Liu Mingliang, Zhuang Dafang, et al. Study on spatial pattern of land-use change in China during 1995-2000. *Science in China: Ser D*, 2003, 46(4): 373-384
- [27] 黑河计划数据管理中心. 黑河流域边界数据集. 兰州:中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 2011
- [28] 黑河计划数据管理中心. 黑河流域河流分布数据集. 兰州:中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 2011
- [29] Zhou J, Hu B X, Cheng G D, et al. Development of a three-dimensional watershed modeling system for water cycle in the middle part of the Heihe river-shed, in the west of China. *Hydrological Processes*, 2011, 25(12): 1964-1978
- [30] 刘小军,马明国. 张掖灌溉渠系数据集. 张掖市水务局, 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 2011
- [31] Fischer G, Nachtergaele F, Prieler S, et al. Global agro-ecological zones assessment for agriculture (GAEZ 2008). IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, 2008
- [32] 吉喜斌,康尔泗,赵文智,等. 黑河中游典型灌区水资源供需平衡及其安全评估. 中国农业科学, 2005, 38(5): 974-982