

文章编号: 1006-4710(2015)01-0106-07

## 2002—2011年吐鲁番地区人类活动强度变化分析

关靖云<sup>1,2</sup>, 瓦哈甫·哈力克<sup>1,3</sup>, 伏吉芮<sup>1,2</sup>, 赵恒山<sup>1,2</sup>

(1. 新疆大学 绿洲生态教育部重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046;

2. 新疆大学 资源与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830046; 3. 新疆大学 旅游学院, 新疆 乌鲁木齐, 830046)

**摘要:** 根据吐鲁番地区社会文化、经济、自然禀赋的具体特点, 建立了人类活动强度分析评价的指标体系。利用吐鲁番地区 2002—2011 年的相关统计资料数据, 采用变异系数法和权重加权法计算了 2002—2011 年吐鲁番地区人类活动强度指数。从结果来看, 10 年来吐鲁番地区的人类活动强度指数从 0.127 到 0.756, 10 年间增长了近 6 倍。其中鄯善县成为全区人类活动强度最强的地区, 吐鲁番市和托克逊县人类活动强度呈现出持续增强的趋势。从各指标权重和人类活动强度变化情况分析得出: 影响人类活动强度的主要因子是人类各种经济活动, 尤其是荒地开垦、全社会固定资产投资、产业结构调整等方面。因此, 根据吐鲁番地区水资源短缺、生态环境脆弱的现状, 在进行各种经济活动时, 要将维护生态稳定作为经济活动的前提, 降低人类活动对自然环境负面的扰动程度, 以维护社会经济系统和生态系统的健康、稳定发展。

**关键词:** 人类活动强度; 定量分析; 生态环境; 扰动; 吐鲁番

**中图分类号:** X24      **文献标志码:** A

### The quantitative analysis of human activity intensity in Turpan Prefecture for 2002—2011

GUAN Jingyun<sup>1,2</sup>, WAHAP Halik<sup>1,3</sup>, FU Jirui<sup>1,2</sup>, ZHAO Hengshan<sup>1,2</sup>

(1. The key lab for Oasis Ecosystem of MOE, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

2. College of Resource and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

3. College of Tourism Management, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

**Abstract:** According to the specific characteristics of socio-cultural, economic and natural endowments of the Turpan Prefecture, an index system of human activity intensity quantitative analysis is established. The intensity and index of human activity in Turpan Prefecture are calculated by taking advantage of relevant statistical data from 2002 to 2011, the variation coefficient method and the weighted method for the past 10 years. It can be seen from the results that nearly 10 years the human activity intensity index of Turpan Prefecture has increased nearly six-fold from 0.127 to 0.756. Of which Shanshan County in the prefecture can be the strongest areas of human activity intensity, the intensity of human activities in Turpan city and Tuokexun County has shown an enhancing trend. Analysis from the index weight changes and human activities can come to the conclusion that the main factors that affecting the intensity of human activity is human economic activities, especially wasteland reclamation, fixed asset investment, industrial structure adjustment and so on. Thus, according to the situations with water shortages and fragile ecological environment in Turpan Prefecture, maintaining ecological stability must be taken as a prerequisite for economic activity in carrying out various economic activities. Reducing the degree of disturbance of human activities on the natural environment negatively and maintaining healthy and stable development of socio-economic systems and ecosystems are the most important measures that should be adopted.

**Key words:** intensity of human activities; quantitative analysis; ecological environment; disturbance; Turpan Prefecture

收稿日期: 2014-09-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41271168); 国家自然科学基金-新疆联合基金资助项目(U1138303)。

作者简介: 关靖云, 男, 硕士生, 研究方向为干旱区资源与环境。E-mail: guan0206@qq.com。

通讯作者: 瓦哈甫·哈力克, 男, 教授, 博士, 研究方向为干旱区资源与可持续发展。E-mail: hwahap@xju.edu.cn。

近代以来,人类活动对地球的影响范围和强度不断增长,人类已经成为地球生态系统的主宰<sup>[1]</sup>。人类活动是影响区域气候、土地、水资源、生态环境变化的重要驱动力之一。气候变化、土壤质量的下降、水资源的污染、生态环境的恶化等都与人类活动息息相关。因此,研究人类活动对生态环境的影响机制和作用规律,调控人类活动作用方向和速率,实现资源的可更新循环利用和生态资产的保值与增值,维护区域经济与生态环境的可持续发展,已经成为资源环境领域关注的热点和焦点<sup>[2]</sup>。

人类活动强度是指一定面积的区域受人类活动的影响而产生的扰动程度。是人类的社会经济活动造成的该区域自然过程的速率发生改变的程度<sup>[3]</sup>。干旱区人类活动强度的定量研究结果有利于人类生态环境管理<sup>[4]</sup>。通过对人类活动强度的分析,可以帮助人们找出所面临的资源及环境问题产生的影响基础,同时也是寻找产生这些问题原因的依据。关于人类活动对区域或生态环境的干扰强度的评价始于1975年莱温<sup>[5]</sup>对土壤侵蚀背景值(无人干扰条件下的土壤侵蚀)的估计。国内学者对人类活动强度的分析主要集中在:人类活动强度测算指标体系<sup>[3,6-7]</sup>、计算模型<sup>[8-9]</sup>的研究;人类活动对生态环境的扰动及调控原则的探讨<sup>[2,10]</sup>;各种尺度范围的人类活动强度评价分析<sup>[11-13]</sup>等方面。上述研究包含了人类活动强度研究的诸多方面,其研究成果对人类活动强度在不同区域的测算分析方面具有重要的借鉴意义。然而,对于干旱区尤其是水资源严重短缺的吐鲁番地区人类活动强度计算指标体系的构建及其驱动力分析方面,要在前人研究基础上,结合其特有自然人文条件进行适度调整。

吐鲁番地区是典型的干旱破碎绿洲,总土地面积69 759 km<sup>2</sup>,其绿洲面积仅约为12 680 km<sup>2</sup>,自然环境恶劣,是全疆极度缺水的地区之一。研究区近年日益增强的人类活动和高强度的开发利用加剧了社会经济与生态环境的失衡程度。近50年来,吐鲁番地区增温明显,气温线性增长率达到了0.33℃/(10a)<sup>[14]</sup>,在气候变化背景下,随着吐鲁番社会经济的发展,尤其是农业、工业和旅游业的发展,使得目前吐鲁番地区的生态环境面临严峻挑战。在吐鲁番地区多次野外考察与数据搜集过程中发现:吐鲁番地下水开采量超采率近200%;坎儿井平均每年以23条的速度锐减,从1957年到2004年这47年间竟折损了800多条;吐鲁番地区的最大天然气候调节器-艾丁湖湖水面积从上世纪40年代的152 km<sup>2</sup>减少到目前的22 km<sup>2</sup>。吐鲁番生态恢复与治理难度大,人类活动

度的轻微变化都会对该地区的生态环境系统造成严重的负面影响。

文章结合吐鲁番地区独特的自然和社会环境,运用变异系数法和权重加权法,计算分析了2002—2011年吐鲁番地区人类活动强度的动态变化以及影响人类活动强度指数变化的因素,为以后该地区政府制定规划和策略提供科学依据,同时也为其他干旱区解决类似问题提供了参考。

## 1 数据与方法

### 1.1 研究区概况

吐鲁番地区位于新疆维吾尔自治区中东部,吐哈盆地中西部,博格达山南麓,东经87°16′~91°55′,北纬41°12′~43°40′。总面积69 759 km<sup>2</sup>,主要包括吐鲁番市、托克逊县、鄯善县三个市县。吐鲁番盆地是中国内陆地势最低盆地,盆地北高南低,西宽东窄;最低处为艾丁湖,低于海平面155 m。吐鲁番属独特的暖温带大陆性干旱荒漠气候,由于受高山阻隔,地势较低,难以形成雨雪,所以空气极度干燥。北部山区气候凉爽,雨量充沛,寒暖季分明,中部聚热干燥,雨水少,阳光充足,南部多荒漠,干燥,几近无雨,较热<sup>[15]</sup>。盆地内的年平均气温13.3℃~13.9℃,最高气温49.6℃,最低气温-29.9℃,年平均降水量为16.6 mm,年平均蒸发量为2 845 mm,为此吐鲁番盆地素有火洲之称,年平均日照3 056.4 h<sup>[16]</sup>。近年来吐鲁番地区经济发展较快,工业、农业、旅游业等得到了长足的发展。伴随经济迅速增长的同时,人类活动强度也在不断地增强,这就导致吐鲁番地区原本就很脆弱的生态环境进一步恶化,人地矛盾加剧。

### 1.2 数据来源和指标体系的建立

#### 1.2.1 数据来源

本文数据来源于课题组2011—2013年多次在吐鲁番地区进行的野外调查、农户调查获取的相关部门的数据资料、《吐鲁番统计年鉴》(2003—2012年)、《新疆统计年鉴》(2003—2012年)、部分县市相关年份国民经济和社会发展统计公报、全疆56个气象站点近50年的气象数据以及吐鲁番地区地形图和土地利用现状图等空间数据资料。

#### 1.2.2 指标体系的建立

对区域人类活动强度进行评价的关键是建立一个科学、准确、系统的,能够综合表达人类活动的指标体系。若只单方面地考虑某一自然、经济、社会因素,则不能全面表达人类活动的影响作用,因此必须综合考虑三者之间的相互作用,对与人类活动有关

的主要因子进行系统分析,提炼出具有代表性的指标。

地学研究中的人类活动指人类的物质活动,是一种人对自然界的活动,这种活动的不同方式塑造了自然环境以及人与自然关系演化的现实基础,后者状态的变化从根本上取决于人类活动的性质、目标和规模的变化<sup>[17]</sup>。人类在主观意识驱动下对自

然界的这种物质活动与社会文化、经济、自然禀赋等因素密切相关。因此,在选取指标的过程中要系统科学地反映各种人类活动及其特点。通过阅读相关文献<sup>[6-7]</sup>,本文从社会文化、经济、自然禀赋三方面进行系统性地分析,同时结合研究区域具体条件和数据的可获性,建立了吐鲁番地区人类活动强度分析的指标体系(见图1)。

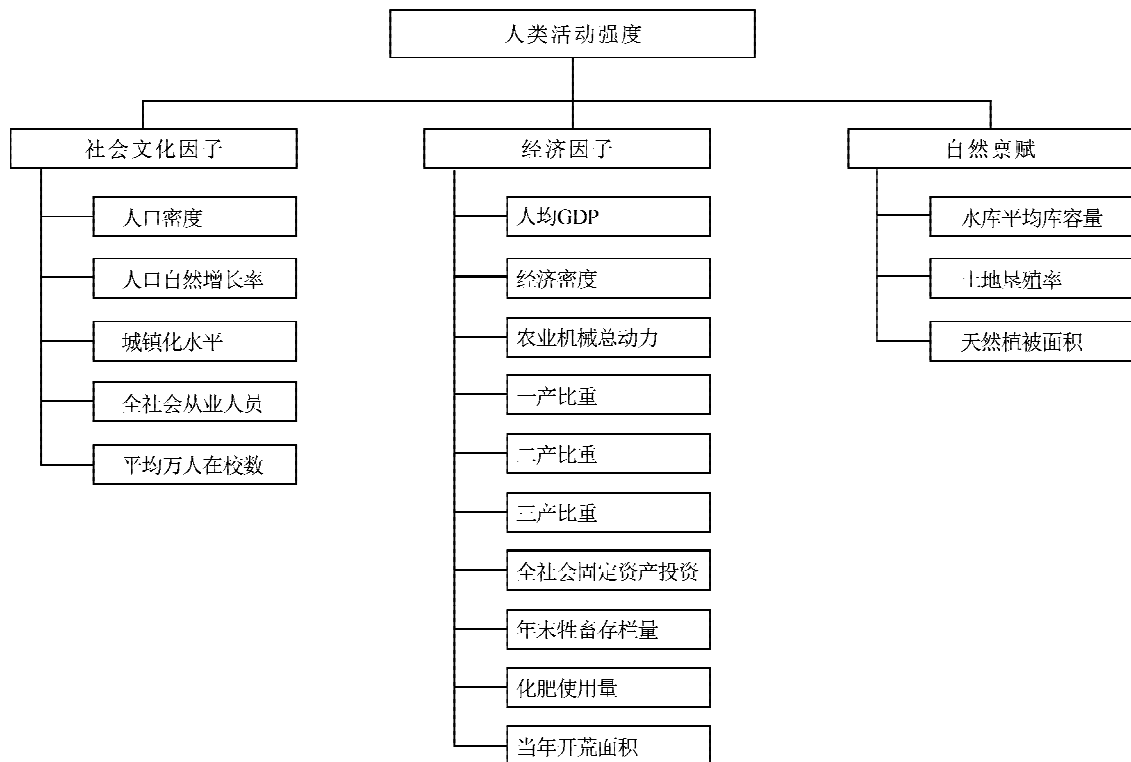


图1 吐鲁番地区人类活动强度分析指标体系

Fig. 1 Analysis of human activity intensity indicator system in Turpan Prefecture

### 1) 社会文化因子

社会文化方面主要考虑研究区域的人口数量、人口受教育水平(平均万人 在校数)、城镇化水平。人类是改变自然、社会、环境的主体,人口数量对资源、粮食、能源、环境都会产生重要的影响。通常人口数量的不断增加势必导致水土资源、能源、粮食等的紧缺,从而引发水土资源、能源等的开采强度增加,甚至出现超开采现象。相反,较高的人口文化素质可以对这种恶性循环进行调节。如果稳定的生态系统是一种自然的有序,那么高素质的人类群体和良好的人口结构则是一种社会的有序<sup>[18]</sup>。城镇化水平的高低与经济水平呈正相关,只有当区域经济发展到了一定的高度才能促进城镇化的发展,同时城镇化对改变人类的生产生活方式、提高人口文化素质都有积极的促进作用。然而,城镇化也有其负效应,城市是一个高人口密度、高污染、高干扰、高人工化的生态系统,区域内城市的数量、分布、城

市的容纳力(西北干旱区受制于水资源)也会导致区域环境退化<sup>[19]</sup>。

### 2) 经济因子

经济方面主要选取了与人类活动关系密切的能够获取数据的相关经济指标。主要有:人均 GDP、经济密度、农业机械总动力、三产比重、全社会固定资产投资、年末牲畜存栏量、化肥使用量、当年开荒面积等 10 个指标。经济活动是人类活动的最主要内容,同时,人类通过经济活动对自然环境所产生的影响也是最大的。人们通过各种各样的经济活动,以不同的方式和不同的活动强度干扰着环境。由于经济水平的高低和产业结构的不同,反映出的人类活动的情况也各不相同。对于某一区域,在生态类型、资源条件一定的情况下,经济发展水平的高低与环境受到的扰动具有正相关关系<sup>[9]</sup>。

### 3) 自然禀赋

自然禀赋主要选取了研究区域内水库平均库

容、土地垦殖率、天然植被面积等指标。自然禀赋为人类活动提供了物质基础,此外干旱区的人类活动主要始于自然禀赋条件较好的地区(如水资源、交通、植被等),因此,自然禀赋的差异制约了人类活动方式的多样性和人类活动的强度。研究区内水土资源匹配的状况对人类活动的影响是十分重要的。

### 1.3 人类活动强度的计算方法

#### 1.3.1 指标数据的无量纲化

由于选取的各项指标之间的单位及其量纲不同,不便于直接分析。因此,为了统一指标,就要对指标进行无量纲化处理。本文采用规格化无量纲化方法,经过规格化计算后的各指标数据取值为0~1。规格化方法的公式为:

$$y_{ij} = (x_{ij} - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

式中,  $x_{ij}$  为第  $i$  个指标第  $j$  个原始数据,  $m$  为指标个数,  $n$  为第  $i$  个指标的原始数据个数;  $x_{\max}$  和  $x_{\min}$  分别为第  $i$  个指标的最大和最小值。

#### 1.3.2 各个指标权重的确定

确定指标权重的方法主要有两类:一是主观赋权法,如层次分析法(AHP)、专家赋权法、经验赋权法等;另一类是客观赋权法,如变异系数法、熵权法、复相关系数法等。在主观赋权法中,研究人员主观的经验往往在确定权重方面有着重要的影响,这就要求研究人员对研究区相关信息非常熟悉。而客观赋权法就很好地消除了研究人员主观因素对计算结果的影响。

变异系数法是客观赋权法中的一种,是根据各

指标数据值之间的差异程度来确定指标的权重。为提高综合评价的区分效度,应给该指标以较大的权数;反之,若各个参评对象在某项指标上的实际数值差异较小,就表明这项指标区分开各参评样本的能力较弱,因此应给该项指标以较小的权数<sup>[20]</sup>。文中所选吐鲁番地区的指标在近10年来的总体变化幅度不大,因此通过变异系数法确定的指标,能够在很大程度上反映研究区域该时间段人类活动的主要动向。因此,本文采用客观赋权法中较为简单易操作的变异系数法确定权重,然后根据研究区域具体情况对权重进行微调,最终确定各指标权重。变异系数法确定权重的步骤如下。

变异系数  $V_i$  的确定:

$$V_i = \sigma_i / \bar{x}_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

对变异系数进行归一化处理即可达到单个指标的权重  $\omega_i$ :

$$\omega_i = V_i / \sum_{i=1}^n V_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

#### 1.3.3 人类活动强度的计算

根据以上数据结果,采用权重加权法计算人类活动强度  $F_j$ :

$$F_j = \sum_{i=1}^n \omega_i y_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

## 2 人类活动强度的计算

利用公式(3)可求得人类活动强度分析各指标的权重(见表1)。

表1 吐鲁番地区人类活动强度分析指标权重

Tab. 1 The index weights analysis of human activity intensity in Turpan Prefecture

因子	指标	单位	变异系数	权重
社会文化	人口密度	人/km <sup>2</sup>	0.272	0.074
	人口自然增长率	‰	0.244	0.066
	城镇化水平	%	0.016	0.004
	全社会从业人员	人	0.065	0.018
	平均万人在校数	人	0.105	0.028
经济	人均GDP	元/人	0.310	0.084
	经济密度	元/km <sup>2</sup>	0.392	0.106
	农业机械总动力	kW	0.045	0.012
	一产比重	%	0.127	0.035
	二产比重	%	0.035	0.009
	三产比重	%	0.058	0.016
	全社会固定资产投资	万元	0.481	0.130
	年末牲畜存栏量	万头	0.032	0.009
	当年开荒面积	hm <sup>2</sup>	1.044	0.283
自然禀赋	化肥使用量	t	0.179	0.048
	水库平均库容量	10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	0.085	0.023
	土地垦殖率	%	0.144	0.039
	天然植被面积	hm <sup>2</sup>	0.061	0.016
总和			3.692	1.000

从表1各指标权重情况来看,当年开荒面积、全社会固定资产投资、经济密度、人均GDP、人口密度指标的权重相对较高,分别为:0.283、0.130、0.106、0.084、0.074。这是因为吐鲁番地处干旱区,水资源成为制约当地发展首要因素,根据吐鲁番统计年鉴数据,近10年来吐鲁番水资源年径流总量都在11.37~10.6亿立方米之间,水资源的总量是相对固定的。因此,在人口、经济尤其是荒地的开垦方面,用水量轻微的变动都会引起区域气候、土地、水资源、生态环境变化。

根据公式(4)求得吐鲁番地区2002—2011年人类活动强度指数(见图2),通过分析,发现其变化与

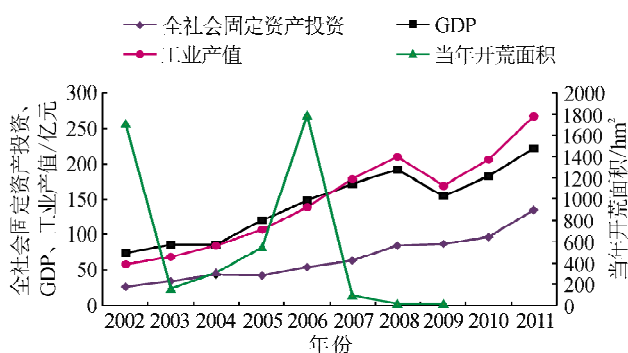


图3 吐鲁番地区主要人类活动数据变化  
Fig. 3 The curves of main human activity data in Turpan Prefecture

### 3 近10年人类活动强度变化分析

从图2可以看出2002—2011这10年来,吐鲁番地区的人类活动强度在呈波动性持续增强的趋势,具体可以分为两个阶段,第一阶段从2002年到2006年,人类活动强度指数呈现波动状态,增强的幅度也较大。2002年和2006年人类活动强度指数出现峰值,分别为0.361和0.585,原因是这两年当年开荒面积较大,分别为1710 hm<sup>2</sup>和1790 hm<sup>2</sup>,如图3所示;2002年到2006年开荒面积波动较大,大量的开荒造成绿洲失去了交错带的屏障作用,耕地的边缘紧靠荒漠带,造成荒漠侵蚀速度加快。荒地开垦需要大量的水用于灌溉,耕地面积的增加导致水资源供给更加困难,农作物产量较低,不得已又有大量的土地被撂荒。同时地下水的开采以及机井、水库等水利设施的修建都使当地自然过程速率发生了较大变化。在此阶段吐鲁番地区全社会固定资产投资、GDP、工业总产值、工业企业单位数以及区内旅游人数都呈现增长态势。第二阶段从2007年到2011年,人类活动强度指数波动比较平稳,总体趋势还是持续增强,到2011年人类活动强度指数已达到0.756。相对于2003年人类活动强度最低

吐鲁番地区近10年主要的人类活动状况(见图3)的变化有着密切的关系。

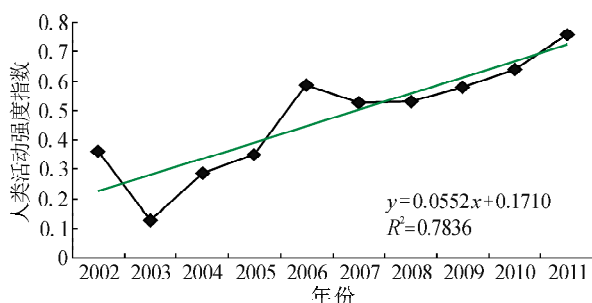
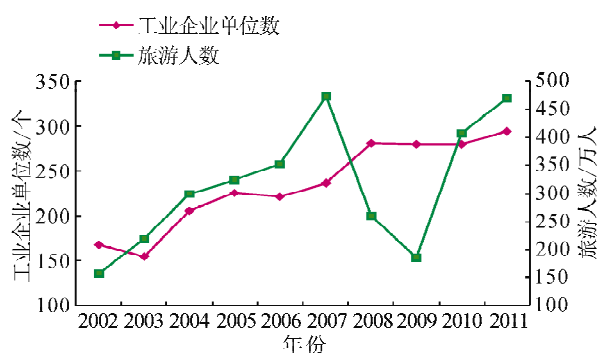


图2 吐鲁番地区人类活动强度指数变化曲线  
Fig. 2 The curves of human activity intensity index in Turpan Prefecture



点到2011年的最高点,近10年人类活动强度足足增长了近6倍(见图2)。在此阶段年开荒面积较小,但全社会固定资产投资、GDP、工业总产值、工业企业单位数方面都在持续增长。因此,近10年来不断增强的各种经济活动,诸如工业企业数量、全社会固定资产投资的增加以及旅游资源的开发、石油及天然气的开采等,都成为人类活动强度不断增强的驱动力。

图4显示的是2002—2011年吐鲁番市、鄯善县、托克逊县的人类活动强度指数。

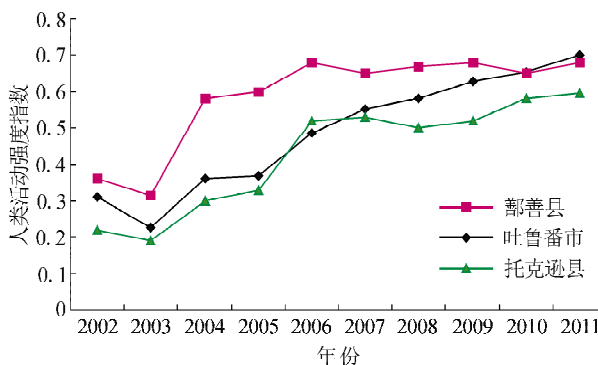


图4 吐鲁番地区人类活动强度指数变化曲线  
Fig. 4 The curves of human activity intensity index in Turpan Prefecture

总体而言,各县市人类活动强度指数的变化趋势与吐鲁番地区总的变化是一致的,从2002—2006年各县市人类活动强度呈现急速增强趋势,2007—2011年间,各县市人类活动强度则保持较平稳的增强趋势,且增强的幅度较之前有所减缓。其中鄯善县的人类活动强度在2010年之前是吐鲁番地区最强的,由于鄯善县是重要的石油、天然气、煤炭、铁矿、铅锌矿等能源、矿产资源富集县,近年来大规模的资源开发以及大型工业企业的入驻,带动了鄯善县经济社会的飞速发展。然而,随之而来的各种经济活动的强度也在不断增强。

吐鲁番市作为吐鲁番地区的行政中心,近年来经济、文化、社会的发展呈现出一派繁荣景象。从2003—2011年,吐鲁番市的人类活动强度保持着持续增强的态势,并在2010年后成为全区人类活动最强的地区。

相比吐鲁番市和鄯善县,托克逊县的人类活动强度稍弱,总体而言在2002—2011年间呈现出波动增强的趋势。

#### 4 结论与讨论

通过对吐鲁番地区以及其各县市人类活动强度的测算分析,发现2002—2011年间,吐鲁番地区的人类活动强度指数从2003年的0.127到2011年的0.756,10年间增长了近6倍。其中鄯善县是吐鲁番地区人类活动最强的地区,吐鲁番市和托克逊县近年来的人类活动强度呈现出持续增强的趋势。

从各指标权重和人类活动强度变化情况分析得出:影响人类活动强度的主要因子是人类各种经济活动,尤其是荒地开垦、全社会固定资产投资、产业结构调整等方面。

随着经济发展步伐的加快,人类不断增强的各种经济活动在推动经济发展的同时也在很大程度上改变了自然过程的速率,对自然环境发生了明显的扰动。

吐鲁番水资源严重短缺的现状导致它对与水资源有关的人类活动十分敏感。因此,在水资源总量保持相对不变的前提下需合理地利用水资源,控制荒地开垦的面积,协调各方用水矛盾。

在全社会固定资产投资、产业结构调整等经济活动过程中,要将维护生态稳定作为经济活动的前提。

在人类活动强度不断增强的现状下,要尽量降低人类活动对自然环境负面的扰动程度,以维护社会经济系统和生态系统的健康、稳定发展。

#### 参考文献:

- [1] Vitousek P M, Mooney H A, Lubchenco J, et al. Human domination of earth's ecosystems [J]. *Science*, 1997, 277(5325): 494-499.
- [2] 魏建兵,肖笃宁,解伏菊. 人类活动对生态环境的影响评价与调控原则[J]. *地理科学进展*, 2006, 25(2): 36-45.  
Wei Jianbing, Xiao Duning, Xie Fujun. Evaluation and regulation principles for the effects of human activities on ecology and environment [J]. *Progress in Geography*, 2006, 25(2): 36-45.
- [3] 文英. 人类活动强度定量评价方法的初步探讨[J]. *科学对社会的影响*, 1998, (4): 55-60.  
Wen Ying. Probe on the evaluation method of human activity intensity [J]. *Impact of Science on Society*, 1998, (4): 55-60.
- [4] 李香云,王立新,章予舒. 干旱区人类活动指数的动态研究——以塔里木河流域1978—2000年县级区为例[J]. *兰州大学学报:自然科学版*, 2004, 40(4): 106-111.  
Li Xiangyun, Wang Lixin, Zhang Yushu. Study on the dynamic index of human activities in arid areas—with reference to the Tarim River Basin in 1978—2000 [J]. *Journal of Lanzhou University(Natural Sciences)*, 2004, 40(4): 106-111.
- [5] United Nations Development Programme. *Human Development Report* [D]. UK: Oxford University, 1995: 199.
- [6] 马彦琳. 干旱区绿洲持续农业与农村发展评价指标体系初步研究——以新疆吐鲁番绿洲为例[J]. *干旱区地理*, 2000, 23(3): 252-258.  
Ma Yanlin. Study on index system of appraising on said of oasis in arid area—A case study of turpan oasis in Xinjiang [J]. *Arid Land Geography*, 2000, 23(3): 252-258.
- [7] 李香云,王立新,章予舒,等. 西北干旱区土地荒漠化中人类活动作用及其指标选择[J]. *地理科学*, 2004, 24(1): 68-75.  
Li Xiangyun, Wang Lixin, Zhang Yushu, et al. Analysis of roles of human activities in land desertification in arid area of Northwest China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2004, 24(1): 68-75.
- [8] 徐建华. 地理过程中人类活动定量分析的数学模型——以水土流失和沙漠化过程为例[J]. *兰州大学学报:社会科学版*, 1990, 18(3): 19-24.  
Xu Jianhua. Mathematical model for quantitative analysis of human activities in the process of Geography—With soil erosion and desertification process as an example [J]. *Journal of Lanzhou University(Social Sciences)*, 1990, 18(3): 19-24.
- [9] 徐志刚,庄大方,杨琳. 区域人类活动强度定量模型的建

- 立与应用[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(4): 452-460.
- Xu Zhigang, Zhuang Dafang, Yang Lin. Construction and application of regional quantitative model of human activity intensity[J]. Journal of Geo-Information Science, 2009, 11(4): 452-460.
- [10] 陈忠升, 陈亚宁, 李卫红, 等. 塔里木河干流径流损耗及其人类活动影响强度变化[J]. 地理学报, 2011, 66(1): 89-98.
- Chen Zhongsheng, Chen Yaning, Li Weihong, et al. Changes of runoff consumption and its human influence intensity in the mainstream of Tarim river[J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(1): 89-98.
- [11] 张翠云, 王昭. 黑河流域人类活动强度的定量评价[J]. 地球科学进展, 2004, 19(S1): 386-390.
- Zhang Cuiyun, Wang Zhao. Quantitative assessment of human activity intensity in the Heihe catchment[J]. Advance in Earth Sciences, 2004, 19(S1): 386-390.
- [12] 胡志斌, 何兴元, 李月辉, 等. 岷江上游地区人类活动强度及其特征[J]. 生态学杂志, 2007, 26(4): 539-543.
- Hu Zhibin, He Xingyuan, Li Yuehui, et al. Human activity intensity and its spatial distribution pattern in upper reach of Minjiang River[J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(4): 539-543.
- [13] 黄领梅, 沈冰. 干旱区人类活动干扰强度定量评估研究[J]. 西安理工大学学报, 2009, 25(4): 425-429.
- Huang Lingmei, Shen Bing. Evaluation on interference intensity of human activities in dry area[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2009, 25(4): 425-429.
- [14] 陈亚宁, 徐长春, 杨余辉, 等. 新疆水文水资源变化及对区域气候变化的响应[J]. 地理学报, 2009, 64(11): 1331-1341.
- Chen Yaning, Xu Changchun, Yang Yuhui, et al. Hydrology and water resources variation and its responses to regional climate change in Xinjiang[J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(11): 1331-1341.
- [15] 曹尚亭. 吐鲁番五千年[M]. 新疆: 新疆大学出版社, 2007: 1-3.
- [16] 王桂清. 吐鲁番地区地表水资源状况分析[J]. 水利科技与经济, 2013, 19(1): 81-82, 86.
- Wang Guiqing. Analysis of surface water resources in Turpan area[J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2013, 19(1): 81-82, 86.
- [17] 曹克. 人类的活动方式与自然环境的可持续发展[J]. 学海, 2001, 4: 119-122.
- Cao Ke. The sustainable development of human activities and natural environment[J]. Academia Bimetric, 2001, 4: 119-122.
- [18] 姚发业, 岳钦艳, 刘文英. 人口增长对资源的压力分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2001, 51: 90-91.
- Yao Faye, Yue Qinyan, Liu Wenying. Analysis of population expansion pressure on environment [J]. China Population · Resources and Environment, 2001, 51: 90-91.
- [19] 章家恩, 徐琪. 生态退化的形成原因探讨[J]. 生态科学, 1999, 18(3): 27-32.
- Zhang Jiaen, Xu Qi. The cause analysis for degradation of ecosystems[J]. Ecologic Science, 1999, 18(3): 27-32.
- [20] 陈述云. 综合评价中指标的客观赋权方法[J]. 上海统计, 1995, (6): 16-18.
- Chen Shuyun. Objective weighting method of comprehensive evaluation[J]. Shanghai Statistics, 1995, (6): 16-18.

(责任编辑 王卫勋)