

干旱区绿洲稳定性驱动机制研究

——以艾比湖流域为例

毋兆鹏^{1,2}

(1. 新疆师范大学 地理科学与旅游学院 地理系, 乌鲁木齐 830054; 2. 华东师范大学 资源与环境科学学院 地理系, 上海 200062)

摘 要: 绿洲稳定性指绿洲系统功能处于持续稳定发展中的一种状态, 绿洲稳定性的打破, 最终会通过水文、土壤、植被这3个主要因素表征出来。利用灰色系统理论的方法进行分析后发现, 绿洲内外过度的人类活动是稳定性变化的主导驱动因素, 诱发机制、动力机制及反馈机制则构成了绿洲稳定性变化的复杂驱动过程。

关键词: 艾比湖流域; 绿洲稳定性; 驱动机制; 灰色分析

中图分类号: X144

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)02-0092-04

Analysis on the Driving Mechanism of Arid Oasis Stability

—A Case Study of Aibi Lake Watershed

WU Zhao-peng^{1,2}

(1. Department of Geography, Geography and Tourism Science Institute, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China; 2. Department of Geography, Resources and Environment Science Institute, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: The oasis stability means oasis system can keep sustainable development status. It can be token by water, soil and vegetation when oasis stability was broken. By grey analysis, we found that oasis stability break is mainly due to human being activity. The complex driving process of oasis stability change is made up of the inducement mechanism, the dynamic mechanism and the feedback mechanism.

Key words: Aibi lake watershed; oasis stability; driving mechanism; grey analysis

绿洲稳定性指绿洲生态系统的能流、物流、人流、信息流能够良性循环, 绿洲生命体的生存环境能够不断优化, 绿洲系统功能能够处于持续稳定发展中的一种绿洲化状态^[1]。干旱区绿洲往往是具有典型山地—绿洲—荒漠生态环境特点的区域, 也是指征生态环境变化的关键地区, 理清干旱区绿洲系统稳定性变化的驱动机制, 对保护当地生态环境和社会经济的可持续发展至关重要。

1 干旱区绿洲稳定性表征

绿洲和荒漠是干旱区内截然不同的景观类型, 然而二者却互为依存, 并依一定条件相互转化, 即发生“荒漠绿洲化”或“绿洲荒漠化”。但无论出现哪种过程, 都可归结为绿洲稳定性的打破, 并且最终会通过水文、土壤、植被这3个主要因素表征出来^[2]。

1.1 干旱区绿洲稳定性与水资源表征

水是干旱区绿洲生存的基础, 在较稳定的、一定规模水资源支撑下的适度绿洲面积是绿洲稳定的基本保证^[3], 因此, 水资源的时空变化也就成为绿洲稳定性的晴雨表。水文过程的改变, 会使绿洲系统的稳定性受到破坏, 反之, 这种失

衡又会通过“河流水量减少→断流期加长→湖泊干涸→地下水位变化→矿化度增高→水质恶化”的连锁反应过程表征出来, 而且这种表征关系呈现出典型的非线性特点。

1.2 干旱区绿洲稳定性与土壤资源表征

干旱区土壤元素参加生物地球化学循环的过程十分微弱, 在局部区域地下水位升高, 土壤毛细管作用强烈的情况下, 次生盐渍化便不可避免地发生, 其直接后果是大面积的农田被迫弃耕, 严重威胁到绿洲内部的稳定和安全^[4]。因此, 当干旱区绿洲稳定性减弱时, 其内部土壤资源就会出现“表层细颗粒物质损失→土壤养分水平搬运加强→土壤资源空间异质性增加→土壤养分降低→弃耕→灌木侵入→流沙斑块→流动沙地”这一表征过程。

1.3 干旱区绿洲稳定性与植被资源表征

绿洲内部土壤类型、结构、盐分、养分及局部水分条件的改变会直接导致植物群落建群种和优势种的演变。绿洲的持续发展与稳定, 需要在绿洲水分利用效率稳定或不断提高的前提下, 保持自然植被的生产力稳定^[2]。在各种因素的综

收稿日期: 2007-04-23

基金项目: 新疆师范大学优秀青年教师科研启动基金(xjnu200604)

作者简介: 毋兆鹏(1976—), 男, 博士, 主要从事3S技术与绿洲资源开发研究。E-mail: wwzppxj@yahoo.com.cn

合作用下,当绿洲内部逐步趋于不稳定时,就会出现植被群落由湿生、中生向旱生、超旱生和盐生、耐沙生种类演替,超旱生小乔木、耐盐碱的灌木等种类减少,覆盖度降低,形成“林木生长衰退→植株变矮→盖度减少→幼树枯死→优势种减少→杂草增加→植被类型衰减”的植被退化表征。

2 干旱区绿洲稳定性驱动的一般机制

绿洲稳定性的变化,是在特定的自然地理背景与人为活动条件下,各种驱动因素共同作用的结果,因此,对于各种驱动因素及其作用特征的分析,客观上就是在探索绿洲稳定性的机制问题。绿洲稳定性的变化常常是先通过局部表征要

素开始体现,而如果人们对这些局部表征要素的变化没有引起足够的重视,并对引起这种变化的内在驱动因子采取相应措施,那么在累积到一定程度时,就意味着当前绿洲系统稳定性的打破,其结果只有两种可能:一是荒漠绿洲化,二是绿洲荒漠化。因此,当自然环境条件优越,资源配置合理,人为生产活动遵循客观生态规律,人的行为与环境承载力相协调时,稳定性被打破后的绿洲则会朝有利于人类生存与发展的方向演进;反之,就会在一定程度上制约和阻碍人类社会的发展,这正是绿洲稳定性变化的一般规律与特征,其机制可用图1所示的绿洲稳定性驱动的概念模型来表示。

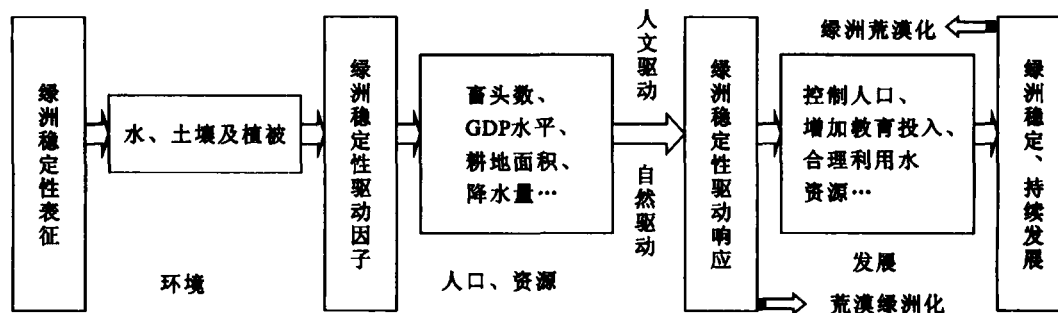


图1 绿洲稳定性驱动概念模型

在这个模型中,不仅反映了在绿洲这一特定生态脆弱区内人口、资源、环境等各子系统的基本状况,概括了各子系统在绿洲稳定性变化过程中的相互因果逻辑关系,同时也提供了一个“表征→诱因→诊治”研究绿洲稳定性的清晰思路,从而使最终所采取的决策针对性更具体、明确。由于模型中驱动因子与表征要素间的关系十分复杂,在没有物理原形,不清楚系统作用机制的前提下,很难对系统关系、结构作精确描述,因此是一个典型灰色系统。

3 艾比湖流域绿洲稳定性驱动机制研究

新疆艾比湖流域地处欧亚大陆腹地,为封闭性流域,总面积 $5.0621 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中山地面积 $2.4317 \times 10^4 \text{ km}^2$,平原面积 $2.5762 \times 10^4 \text{ km}^2$,湖泊面积 542 km^2 。艾比湖流域地表、地下水资源的提供与补给主要来源于山区,流域内有7条主要河流和33条沟系,水资源量为 $37.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。区域内独特的自然地理要素决定了境内生态环境的脆弱性,使得土地荒漠化严重,风沙灾害频繁。加之近几十年人口急剧增长,对水土资源的开发规模和强度迅速增大,使绿洲系统

稳定性受到严重干扰,荒漠化和绿洲化冲突明显加剧,生态环境日益恶化,严重制约了天山北坡经济带的工农业生产和经济的可持续发展,并影响着亚欧大陆桥干线国际运输的畅通无阻,威胁着当地各族人民的生活和生存。

3.1 研究方法

灰色系统理论的研究对象是“部分信息已知,部分信息未知”的贫信息不确定系统,它通过对部分已知信息的生成、开发来实现对现实世界的确切描述和认识,使系统由“灰”变“白”。由于灰系统理论是根据因素间发展态势的相似或相异程度来衡量因素间关联程度方法,其最大特点是对样本没有严格要求,不要求服从任何分布^[5],因此,绿洲稳定性驱动机制研究,非常适合采用灰色系统理论方法。同时,由于绿洲稳定性是一个多维尺度下的概念,不同尺度下绿洲稳定性的内涵不同,为保证研究结果具有调控的现实意义,针对研究区目前正处于由外延式开发向内涵式开发转变的快速人工化阶段这一现状特点,采取了5a做为该流域绿洲稳定性研究的时间尺度。

表1 艾比湖流域绿洲稳定性驱动因子灰色指标体系

目标层	表征层	驱动因子层
绿洲稳定性		自然驱动因子: Z1 灾害性天气日数(-), Z2 年降水量(+), Z3 年均积温(+), Z4 年蒸发量(-)
	1. 水资源	人文驱动因子: R1 用水量(-), R2 畜头数(-), R3 农林木渔总产值(+), R4 城镇生活污染物排放情况
	2. 土壤资源	(-), R5 工业污染排放情况(-), R6 规模以上工业能源消费量(-), R7 GDP(+), R8 每万人在校大学生数
	3. 植被资源	(+), R9 工业总产值(+), R10 年耕地面积(-), R11 治碱面积(+), R12 水土流失治理面积(+), R13 化肥施用量(-), R14 当年造林面积(+), R15 当年防护林面积(+)

在遵从指标体系设立的常规原则下,主要基于以下考虑建立绿洲稳定性驱动力因子指标体系:(1)根据绿洲演变成因类型观点,将引起绿洲稳定性变化的成因分为人为干扰和自然条件变化^[6];(2)根据对1999—2006年30多篇国内关于干旱区绿洲稳定性方面研究的文献进行调研,从中选择近

年来研究者应用频度较高的指标;(3)根据当地情况,从中选取和增加指标,从而建立因地制宜、全面、系统和简洁、易行的评价指标体系,共含有4个自然驱动力因子、15个人文驱动力因子(表1)。

灰色关联方法的主要步骤详见文献^[7],以下仅针对本

研究做几点说明。

(1)“+”代表效益型指标,越大越好,“-”代表成本型指标,越小越好。由于各类指标对系统总体目标的作用不一致,在利用灰关联分析方法时可能出现问题,因此在数据无量纲处理时,对于效益型指标,采用各序列中值最大者为 1,其余均以此值相除的方法,即

$$\delta = d/d_{\max} \quad (1)$$

式中: δ ——无量纲处理后数值; d ——实际数据; d_{\max} ——数据组中最大值。

对于成本型指标,以序列中最小的值除以相应的实际值的方法,即:

$$\delta = d_{\min}/d \quad (2)$$

式中: δ ——无量纲处理后数值; d ——实际数据; d_{\min} ——数据组中最小值。

(2)在灰关联度公式中,参数 ζ 为分辨系数,在 0~1 之间变化。计算结果表明传统所取的 $\zeta=0.5$ 并不是最合适的数值,此处分辨系数 ζ 的取值规则如下^[8]:

$$\Delta V = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^n |X_0(K) - X_i(K)| \quad (3)$$

式中: ΔV ——所有差值绝对值的均值; $X_0(K)$ ——母数列指标值; $X_i(K)$ ——比较数列指标值。

$$\epsilon = \Delta V / \Delta \max \quad \Delta \max = \max_i \max_k (\Delta K) \quad (4)$$

$$\Delta K = |X_0(K) - X_i(K)|$$

则 ϵ 的取值满足

$$\Delta \max > 3\Delta V \text{ 时} \quad \epsilon \leq \zeta \leq 1.5\epsilon \quad (5)$$

$$\Delta \max \leq 3\Delta V \text{ 时} \quad 1.5\epsilon < \zeta \leq 2\epsilon \quad (6)$$

3.2 艾比湖流域绿洲稳定性驱动因子分析

3.2.1 水资源表征下的驱动因子分析

以水资源量作为母序列进行灰色关联分析,得到各驱动因子对水资源表征层的贡献大小,如表 2 所示。

表 2 水资源表征下驱动因子灰关联度

因子	Z1	Z2	Z3	Z4					
贡献率	0.71	0.89	0.67	0.80					
因子	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	
贡献率	0.93	0.78	0.81	0.74	0.74	0.72	0.80	0.86	
因子	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15		
贡献率	0.79	0.93	0.61	0.63	0.71	0.65	0.64		

在影响水资源的自然因子中,年降水量与年蒸发量是首要的驱动力。艾比湖自 1995 年以来,湖水水位明显升高,湖水面积不断扩大,从图 2 所示的近期艾比湖流域年降水量变化与湖水面积和流域径流量总量变化趋势看,存在明显的正相关关系,从而体现了干旱区封闭流域水量波动与气候变化的一致性,但是蒸发量增加带来的对流域水体总量及水质产生的重要负面影响仍不容忽视。

在影响水资源的人文因子中,用水量与年耕地面积以相同的贡献率高居首位。数据表明,截止 2005 年,艾比湖流域人口为 1949 年的 15.5 倍,耕地扩大了 17.3 倍,引水量增加 7.1 倍,由于流域人口剧增和大规模水土开发,导致流域可利用水量减少及水污染现象的日益增加,从而制约流域水资源的可持续利用。因此,可以认为,用水量和耕地面积增

加是影响艾比湖流域水资源最主要的逆向人文驱动力。

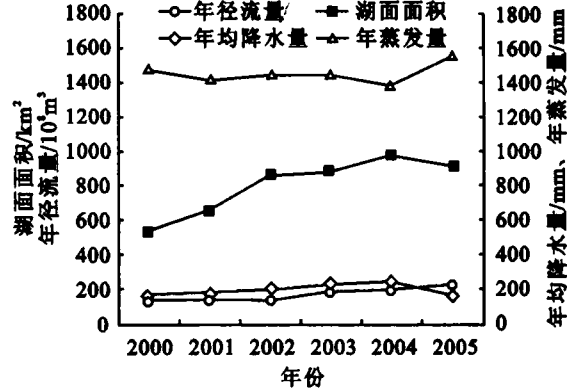


图 2 湖面面积与年均径流量、年均降水量及年蒸发量关系

除此之外,同时还值得注意的是,每万人在校大学生数这一仅次于用水量与耕地因子的驱动力,它表明,在由于用水量及耕地的增加而造成对水资源的过度开发利用时,人口素质和结构会对这种压力起到调节作用。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^[9]。社会有序与自然有序一样,会减少人与自然之间的冲突,降低人类活动所造成的负面影响,实现绿洲稳定协调发展。近 5 a 资料对比显示,这一驱动因子的份额在艾比湖流域正呈逐步上升趋势(图 3)。

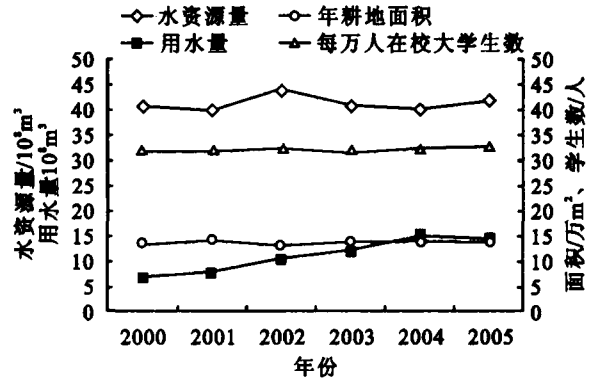


图 3 水资源量与年耕地面积、用水量及万人在校大学生数关系

通过以上分析表明,基于水资源表征下的艾比湖流域绿洲稳定性,虽然受到降水量、蒸发量等自然因素控制,但其发展变化总体上以人文因素的驱动作用为主,并且主要以用水量、耕地面积与人口素质为主要驱动力。

3.2.2 土壤资源表征下的驱动因子分析

以土壤盐渍化面积作为母序列进行灰色关联分析,得到各驱动因子对土壤资源表征层的贡献大小,如表 3 所示。

在影响土壤资源的自然因子中,年蒸发量与灾害性天气日数是首要的驱动力。艾比湖流域平原区典型的地带性土壤为灰漠土和灰棕漠土,隐域性土壤为盐土(盐渍化土)、草甸土和沼泽土。在区域气候暖干化的影响下,21 世纪初年平均气温比 20 世纪 60 年代上升约 1.2℃,蒸发量平均提高了 3.8%,土壤水分消耗加速,土壤含盐量不断上升,并使土壤常处于干燥状态。而土壤含水量是重要的抗风蚀因子,含

水量2%是土壤抗风蚀能力骤减或稳定的转折点^[10]。

表3 土壤资源表征下驱动因子灰关联度

因子	Z1	Z2	Z3	Z4					
贡献率	0.78	0.68	0.72	0.80					
因子	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	
贡献率	0.82	0.79	0.8	0.63	0.67	0.71	0.73	0.75	
因子	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15		
贡献率	0.72	0.9	0.76	0.76	0.88	0.78	0.78		

因此随着表土含水量的减小,土壤风蚀模数迅速提高,加之灾害性天气中的大风可刮走无作物覆盖耕地上表土层,使其肥力下降,导致沙漠化土地迅速扩展,绿洲稳定性下降。近几年数据显示,艾比湖流域的年蒸发量在全球变暖的背景下有所增加,但在人工防治下以大风为主导的灾害性天气日数却在下降。

在影响土壤资源的人文因子中,关联度居第1位的是耕地面积,其次是化肥施用量。人口增加是耕地面积增加的前提,随着艾比湖流域绿洲人口的增多,在土地生产力提高有限的情况下,只能通过不断增加耕地面积来达到生产更多生活必需品的目的。然而不合理的水土开发,落后的灌溉技术和管理方式,如大水漫灌、渠系渗漏等,加之过度对土壤施加肥料等物质,逐渐地改变了自然土壤的物理、化学和生物性质,以至最终导致土壤沙化和次生盐渍化。前已述及,尽管近几年艾比湖流域的风蚀荒漠化面积有所减少,但盐渍荒漠化面积却有所增加,这和一直高居不下的耕地面积和化肥施用量不无关系(图4)。

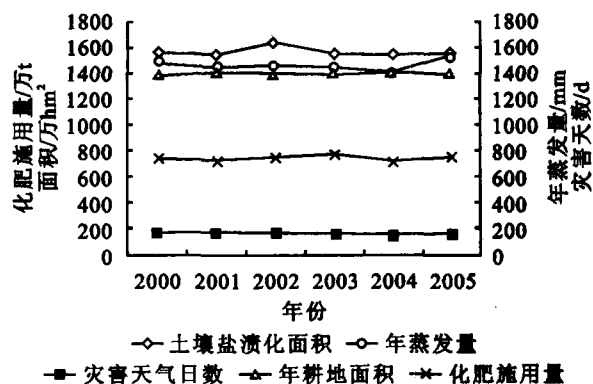


图4 土壤盐渍化面积与年蒸发量、灾害性天气、耕地面积及化肥用量关系

通过以上分析表明,基于土壤资源表征下的艾比湖流域绿洲稳定性,主要受到年蒸发量与灾害性天气日数等自然因素控制,但仍以耕地面积、化肥施用量等人文因素的驱动作用占优势,并且大部分因子正严重干扰着稳定性。

表4 植被资源表征下驱动因子灰关联度

因子	Z1	Z2	Z3	Z4					
贡献率	0.73	0.80	0.78	0.71					
因子	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	
贡献率	0.79	0.87	0.78	0.67	0.64	0.70	0.72	0.73	
因子	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15		
贡献率	0.71	0.89	0.76	0.75	0.74	0.83	0.81		

3.2.3 植被资源表征下的驱动因子分析

以植被覆盖面积作为母序列进行灰色关联分析,得到各

驱动因子对植被资源表征层的贡献大小,如表4所示。

在影响植被资源的自然因子中,年降水量和年积温是首要的驱动力。一定气候格局下的区域水热状况,决定了天然植被的分布类型与空间分布规律,从而影响绿洲稳定性变化的过程与特征。近几年数据显示,艾比湖流域的年降水量和年积温均呈现上升趋势,表明流域绿洲植被资源的自然地理背景条件有所好转,但较为平直的天然植被覆盖面积曲线也暗示出,在人为因素的影响下,自然因子并未占据主导优势(图5)。

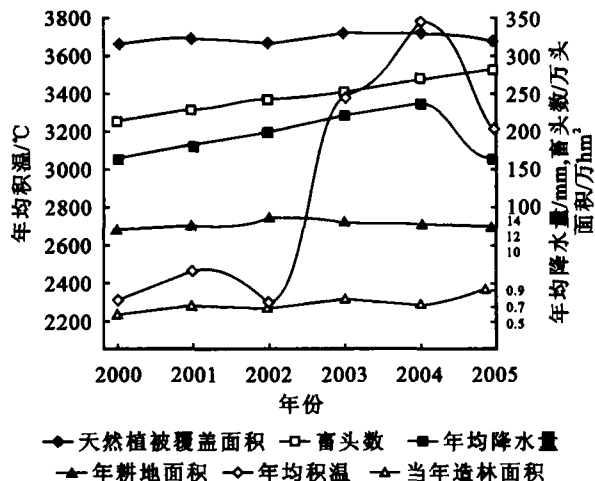


图5 植被覆盖面积与气候因素、耕地面积、畜头数及人工造林面积关系

在影响植被资源的人文因子中,关联度居第1位的是耕地面积,其次是畜头数。尽管艾比湖流域的人口发展在特点上呈现出由急剧上升转向逐步趋稳的态势,但由于低下的土地资源供养力与巨大的人类生产生活需求间的矛盾,必然间接导致对植被资源的严重破坏,并且突出表现在3方面:一是在农村生活燃料问题长期得不到根本解决,经济收入也十分有限的前提下,造成对梭梭、红柳、胡杨等天然固沙植物的滥采滥伐;二是大面积垦荒后,由于缺乏防护林等有效保护措施导致弃耕地增多,形成开荒、弃耕、撂荒、易地再开荒的恶性循环,直接破坏了原有地表荒漠植被;三是随着牲畜数量的增长,草场利用强度逐步增加,长期超载而引发草场植被退化。需要指出的是,虽然这两个主导因子对植被资源表征下的绿洲稳定性而言皆为逆指标,但它们的叠加效应并未导致植被资源的急剧下降,这主要是因为处于第3位的当年造林面积这一因子部分地抵消了这种影响。

通过以上分析表明,基于植被资源表征下的艾比湖流域绿洲稳定性,在自然因素和人类活动双重影响下,前者主要以降水量和年均积温影响为主,而后的驱动作用则是建设和破坏同时并存,且仍以人为因素驱动作用占主导地位。

4 讨论与结论

(1)各表征层下内、外驱动力在时间与空间上的耦合,构成绿洲稳定性变化的动力机制。自然因素是绿洲稳定性发生变化的内在驱动力,过度的人为活动则是绿洲稳定性发生变化的外在驱动力,二者之间的耦合性制约着绿洲系统变化

(下转第98页)

产投资在提高土地利用效益中不起作用,相反,如果我们分析一下土地利用效益提高最快的几年,如 1997—1998 年,1998—1999 年,2001—2002 年,地均固定资产投资在这几年中都是提高很多的,甚至是最多的,因此可以说,要提高土地利用效益,提高地均固定资产投资是很重要的方面。

在济南市土地利用效益总体不断提高的情况下,1996 年和 2001 年土地综合利用效益却比上一年有所下降。通过对各项指标数据的分析可得知,1996 年地均财政收入、房地产占全部投资的比重和人均绿地面积均低于 1995 年。1996 年的财政收入(165 679 万元)少于 1995 年(233 802 万元),而建成区面积没有变化,这是 1996 年地均财政收入相对于 1995 年下降的原因;1996 年比 1995 年的固定资产投资增长了 15.1%,而在房地产投资方面的增长为负值,因此,1996 年房地产投资的增长慢于全部固定资产的投资增长,这是 1996 年房地产投资占全部投资比重下降的原因;由于人口增长,与 1995 年相比,1996 年人均园林绿地面积减少,这些因素是造成 1996 年土地综合利用效益下降的原因。

2001 年在建成区地均 GDP、地均财政收入、房地产占全部投资的比重和单位面积工业产值方面不如 2000 年。原因分析如下:2001 年相对于 2000 年,建成区面积增长了 42.5%,而 GDP 增长了 24%,财政收入增加了 28.1%,工业总产值增长了 23.9%,可见 2001 年 GDP、财政收入和工业产值相对于建成区面积增长过慢;另外,相对于 2000 年,2001 年房地产投资增加了 24.1%,固定资产投资增长了 48%,可见房地产投资的增长慢于全部固定资产的投资增

长,这些指标的降低是造成 2001 年土地综合利用效益下降的原因。

5 结 语

城市土地是城市经济活动的基本要素,合理利用城市土地,提高土地综合利用效益是我国土地管理的核心任务。根据熵理论,通过差异系数,计算得出各个指标的权重值,从而避免了确定各指标的权重所带来的主观性,使评价结果更具科学性。通过对济南市土地利用效益纵向评价的实证研究,能够为今后城市发展制定土地利用计划,调整土地利用结构,合理确定城市发展规模提供战略上的指导,有利于管理者有针对性地增加或减少某项投入,合理调整各项投资的关系,以便获得更大经济产出,提高城市土地利用效率。

参考文献:

- [1] 毕宝德. 土地经济学[M]. 北京:中国人民大学出版社, 1996.
 - [2] 彭勇行. 居民消费水平组合评价研究[J]. 中南财经大学学报, 1995, 24(6): 69-72.
 - [3] 江曼琦. 城市空间结构优化的经济分析[M]. 北京:人民出版社, 2001.
 - [4] 郭显光. 熵值法及其在综合评价中的应用[J]. 财贸研究, 1994, 20(6): 56-60.
 - [5] 谭永忠, 吴次芳. 区域土地利用结构的信息熵分异规律研究[J]. 自然资源学报, 2003, 18(1): 112-116.
-
- (上接第 95 页)
- 和人文历史变迁。自第四纪间冰期形成艾比湖流域以来直至 20 世纪 50 年代的近 12 万年时间里,虽然艾比湖流域环境变化的总趋势是逐渐变干^[11],但由于人为过度利用水土资源的活动相对较少,因此气候与人为活动都处于“适宜期”,有利于绿洲的发展。反之,自 20 世纪 50—70 年代末,由于流域人口剧增而带来的水土资源开发强度增大,在与气候因素的叠加作用下,必然导致绿洲稳定性严重失衡。
- (2)各表征层下驱动力因子与绿洲系统间的响应,构成绿洲稳定性变化的反馈机制。由于绿洲稳定性的失衡而带来的现代荒漠化面积扩展和程度的增强,使得绿洲内的人们为了谋求生存,将会继续扩大破坏植被开垦耕地,导致区域气候进一步恶化,其反作用的结果,又会使土地退化程度加剧,植被覆盖度下降,气候风蚀侵蚀力进一步加强,从而形成绿洲系统与驱动力间具有恶性循环性质的正反馈机制。
- 综上所述,利用灰色系统理论的方法进行绿洲稳定性驱动机制研究,很清楚地表明绿洲内外过度的人为活动是稳定性变化的主导驱动因素。而绿洲稳定性驱动机制的分析也还有待于在此基础上做更加深入、细致的综合研究。
- 参考文献:
- [1] 韩德麟. 绿洲稳定性初探[J]. 宁夏大学学报:自然科学版, 1999, 20(2): 136-139.
 - [2] 罗格平, 周成虎, 陈曦, 等. 区域尺度绿洲稳定性评价[J]. 自然资源学报, 2004, 19(7): 519-524.
 - [3] 张玉进, 刘玉甫, 吴健军, 等. 新疆水资源分布及绿洲水资源开发利用探讨[J]. 水土保持研究, 2004, 11(3): 157-159.
 - [4] 潘晓玲. 干旱区绿洲生态系统动态稳定性的初步研究[J]. 第四纪研究, 2001(4): 345-351.
 - [5] 邓聚龙. 灰色预测与决策[M]. 武汉:华中工学院出版社, 1986: 45-48.
 - [6] 穆桂金, 刘嘉麒. 绿洲演变及其调控因素初析[J]. 第四纪研究, 2000, 20(6): 539-545.
 - [7] 沈珍瑶, 杨志峰. 灰关联分析方法用于指标体系的筛选[J]. 数学的实践与认识, 2002, 32(5): 728-732.
 - [8] 张岐山, 梁亚东, 吕作良, 等. 灰关联度计算的新方法[J]. 大庆石油学院学报, 1999, 23(4): 61-63.
 - [9] 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, 11(51): 90-91.
 - [10] 董玉祥, 刘毅华, 刘玉璋. 沙漠化若干问题研究[M]. 西安:西安地图出版社, 1994: 55-57.
 - [11] 李遇玲. 艾比湖生态环境综合治理和经济可持续发展的研究[J]. 干旱区资源与环境, 1997, 11(2): 27-36.