

# 干旱区内陆河流域绿洲水土资源生态风险动态研究

吴文婕, 石培基, 张学斌, 魏 伟

(西北师范大学 地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘 要:** 水土资源是相互作用相互制约的有机整体, 贯穿地区社会、经济、环境协调可持续发展的主线。石羊河为西北干旱区典型缺水流域, 依托该流域发展的绿洲是人类生产生活的集聚地, 存在着特殊而敏感的人与环境关系。以武威市为例, 通过构建 LUCC 生态风险模型, 借助 GIS 技术与相关统计方法揭示其土地利用生态风险动态及空间变化; 参照石羊河水资源公报与武威市统计年鉴(2003—2009 年), 建立水资源利用生态风险识别评估体系, 对比研究了不同时段的水资源利用动态风险。结果表明, 研究期内武威市土地覆被景观生态风险主要集中在耕地、牧草地和未利用地, 且分布面积较广; 各区县土地利用综合风险指数均有所增加, 土地利用格局的变化产生了一定生态风险; 2003—2009 年武威市水资源利用生态风险等级显著提高, 各地区需结合自身实际情况, 采取措施应对水资源生态风险变化。

**关键词:** 石羊河; 绿洲; 水土资源; 生态风险; 武威市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)03-0249-07

中图分类号: K901

## Dynamic Research on Ecological Risks of Soil and Water Resources for the Oasis in Arid Inland River Basin

WU Wen-jie, SHI Pei-ji, ZHANG Xue-bin, WEI Wei

(College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** Water and soil resource is an organic system of interactions and restrictions with each other, which is the main line throughout the coordination and sustainable development of regional society, economy, and environment. Shiyang River basin is a typical area lack of water resources in northwest arid zone. Oasis cities relying on the basin are the agglomeration centers of human production and life, and have a special and sensitive human-environment relationship. By taking Wuwei City as an example, and constructing LUCC ecological risk model, the dynamic and spatial changes in the ecological risks of land utilization were revealed with the help of GIS and statistical method. Besides, identification and evaluation system for the ecological risks of water utilization were established by referring to the bulletin of water resources and statistic yearbook (2003—2009) of Wuwei City and the trends of the changes in water utilization risk were analyzed comparatively. The main conclusions are as follows: the ecological risk of land use cover in Wuwei City mainly concentrated on cultivated land, grassland and unused land which totally account for a greater percent in the whole area; the integrated land use risk indexes for the counties and districts of the city increased during the research period and changes of land use patterns produced a certain degree ecological risk; the ecological risk level of water resources utilization from 2003 to 2009 rose significantly, and the counties and districts should take corresponding countermeasures to deal with the change in ecological risks of water and soil resources.

**Keywords:** Shiyang River; oasis; soil and water resources; ecological risk; Wuwei City

生态风险即一定区域内, 具有不确定性的事故或灾害对生态系统及其组分可能产生的作用, 这些作用的结果可能导致生态系统结构和功能的损伤, 从而危

及生态系统的安全和健康。生态风险产生的原因包括自然的、社会经济的与人们生产实践的诸种因素, 具有不确定性、客观性、危害性和内在价值性<sup>[1]</sup>。随

收稿日期: 2011-09-28

修回日期: 2011-11-20

资助项目: 国家自然科学基金项目“内陆河流域城镇体系与流域空间结构相互作用的生态经济效应研究: 以石羊河流域为例”(40971078); 甘肃省青年科技基金项目(1107RJYA077); 西北师范大学青年教师科研能力提升计划项目(SKQNYB10034)

作者简介: 吴文婕(1986—), 女(汉族), 新疆乌鲁木齐市人, 研究生, 研究方向为城市与区域发展规划研究。E-mail: 15294210239@126.com。

通信作者: 石培基(1961—), 男(汉族), 甘肃省临洮县人, 博士生导师, 研究方向为城市与区域可持续发展。E-mail: shipji@nwnu.edu.cn。

着地区社会经济的发展,土地利用的格局、深度和强度不断变化,土地利用的类型趋于多样化,土地生态系统的各个方面也由此产生深刻影响,决定着区域的生态安全<sup>[2-4]</sup>。工农业生产、生活环境用水需求不断增加,水资源数量及其时空分布格局也将发生显著变化,进一步影响地区城镇发展结构体系的稳定性及其空间演化方向。受区域经济、人文、生态活动等各种因素约束,水土资源的组合方式在区域尺度上表现各异,由此产生的生态风险大小及类型各不相同。

西北内陆河流域经济发展相对落后,城市化进程伴随着生态环境安全问题<sup>[5-6]</sup>。绿洲是一个受干旱区自然和人文因素双重影响的复合生态系统,绿洲城市是生产、生活的集聚中心,也是人与生态环境关系最为敏感的区域<sup>[7]</sup>。袁平等<sup>[8]</sup>采用主成分分析法筛选出石羊河流域生态风险敏感性因子,建立相应风险指标体系;李宇等<sup>[9]</sup>就石羊河中下游绿洲地区耕地利用变化进行过相关空间分析研究;宋冬梅等<sup>[10]</sup>运用 GIS,RS 技术及景观格局分析软件对石羊河下游的民勤地区绿洲景观格局变化及其驱动力进行了专项研究;刘引鸽<sup>[11]</sup>采用层次分析法和综合指数法以陕西省为例,进行了基于土地利用的生态风险综合分析研究。李丽娟等<sup>[12]</sup>对陕西省大理河土地利用/覆被变化的水文效应进行了相关研究,满苏尔·沙比提等<sup>[13]</sup>研究了塔里木河流域耕地变化及其河流水文效应。本文初步探索研究西北内陆河流域绿洲城镇的水土资源利用生态风险及其所产生的社会、人文、环境等效应,以期为地区可持续发展提供实证参考。

## 1 研究区概况

石羊河流域是甘肃省河西内陆河流域中人口最密集,水资源开发强度最大,生态环境问题最严重,水土资源对社会经济发展制约性最强的地区<sup>[14]</sup>,位于河西走廊东部,乌稍岭以西,祁连山北麓,介于东经  $101^{\circ}22' - 104^{\circ}16'$ ,北纬  $36^{\circ}29' - 39^{\circ}27'$ 。流域面积约  $4.16 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,行政区划包括武威市的凉州区、古浪县、民勤县、天祝县,金昌市的永昌县、金川区及张掖市肃南裕固族自治县、山丹县部分地区,总人口约 240.81 万人。石羊河流域多年平均自产水资源总量为  $4.16 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,人均水资源占有量仅为  $743 \text{ m}^3$ ,比国际公认的  $1700 \text{ m}^3$  严重缺水警戒线低 60%,属于典型的缺水地区,水土资源的供需状况成为决定地区发展的生命线。

祁连山山前绿洲平原区,东起古浪的大靖、土门,中为武威山前平原,西到永昌县的水磨关,包括民勤县的平原地带,为石羊河流域的精华地域。武威是甘肃省最具优势的天然绿色食品和农产品生产基地,工

农业生产活动集聚地,汇集了大量人口、物流、交通线路。武威市一区三县分布在石羊河流域的上、中、下游,面临来自生态环境各方面的压力与挑战,成为地理学者和生态专家共同关注的焦点。

## 2 数据来源与处理

本文采用的土地利用覆被数据源为石羊河流域 16 景遥感影像数据,根据地区地理特征和影像质量,借助图像处理软件 EDARS IMAGINE 9.1 和地理信息系统软件 ARCVIEW 3.2,对其进行波段融合和不同波段合成及拼接等数据增强处理,采用二元多项式法进行几何校正,得到 2 个不同时段土地利用覆被图(1987,2010 年)。水资源数据参照石羊河流域水资源公报(2003—2009 年)、甘肃省水资源公报(2003—2009 年)及相关资料。

本文的研究范围指石羊河流域内的武威市行政归属区域,土地利用及水资源相关数据均以石羊河流域武威市归属区为参照。研究范围能够客观反映流域上、中、下游段的地域差异,极具代表性。

参考了中华人民共和国土地管理行业标准县级土地利用总体规划编制规程和有关文献<sup>[15]</sup>并结合研究区实际情况,将武威市的土地覆被类型分为 7 大类:耕地、园地、林地、牧草地、城乡建设用地、水域、未利用地。水资源风险指标中,地区年降水总量参照当年年平均降水量与实际面积进行计算;自产地表水资源量参照境内主要河流水系径流量;蓄水系系数指标参照境内有代表性的大中小型水库年末蓄水量计算。

## 3 研究方法

本文选取 1987,2010 年的石羊河流域土地利用/覆被图为基本信息源,参考土地利用变更数据,对研究区土地利用生态风险进行空间动态综合分析。通过水资源供给、维持、利用及调节能力指标的值域划分与组合情况建立水资源利用生态风险评估体系,分析评价其存在及潜在风险,并提出相应的对策措施。

### 3.1 景观生态风险空间分析

区域景观生态风险分析是生态风险评价的一个重要分支,即在区域景观尺度上描述和评价环境污染、人为活动或自然灾害对生态系统的结构和功能所产生不利影响的可能性和危害程度。本文基于武威市 1987,2010 年土地覆被数据,通过建立土地利用类型的面积比重,构造景观生态风险指数,用于描述研究地区内土地覆被生态风险的大小,并将其转化为空间化的生态风险变量<sup>[16]</sup>。景观生态风险指数的计算公式如下:

$$R_E = \sum_{i=1}^n \frac{A_i R_i}{A_s} \quad (1)$$

式中: $R_E$ ——景观生态风险指数; $n$ ——土地利用类型的数量; $A_i$ ——研究区内第*i*种土地利用类型的总面积( $\text{hm}^2$ ); $A_s$ ——研究区土地利用类型总面积( $\text{hm}^2$ ); $R_i$ ——第*i*种土地利用类型所反映的生态风险强度参数,是不同土地利用类型所反映的综合生态风险程度。按照不同土地利用类型对生态风险的作用强度<sup>[17]</sup>,确定不同地类分组的生态风险强度参数依次为:耕地 0.32,园地 0.25,林地 0.14,牧草地 0.16,城乡建设用地 0.72,未利用地 0.62,水域 0.45。

### 3.2 土地利用生态风险动态分析

土地利用的变化在很大程度上反映了人类活动与自然生态条件变化的综合影响。对绿洲城镇土地利用效益进行评价和研究有助于衡量绿洲土地利用水平,实现绿洲土地的高效协调利用。本文选取土地利用指标和土地组合指标来定性描述土地生态风险。土地利用指标包括土地利用程度综合指数、耕地垦殖指数、植被覆盖指数;土地组合指标包括多样性指数、优势度指数和破碎度指数。

3.2.1 土地利用程度综合指数 土地利用程度主要反映土地利用的广度和深度,它不仅反映土地利用中土地作为生产要素的自然属性,同时也反映出其受人类因素影响的社会属性。参考了相关学者提出的土地利用分级指数,定义其计算公式为:

$$I = \sum_{i=1}^4 Q_i P_i \quad (I \in [1, 4]) \quad (2)$$

式中: $I$ ——土地利用程度综合指数; $Q_i$ ——第*i*类土地利用程度分级指数,这里采用刘纪远<sup>[18]</sup>提出的土地利用程度分析赋值指标,即未利用地为1,林、牧草、水域用地为2,耕地、园地为3,城乡建设用地为4; $P_i$ ——第*i*类土地面积比重(%)。

3.2.2 耕地垦殖指数 耕地垦殖指数反映区域内耕地开垦状况。城镇化过程中,城区周边的耕地转化为非农用地存在一定程度的生态风险。计算公式为:

$$K = \frac{F}{A_s} \times 100\% \quad (3)$$

式中: $K$ ——耕地垦殖指数; $F$ ——耕地面积( $\text{hm}^2$ ); $A_s$ ——土地总面积( $\text{hm}^2$ )。

3.2.3 植被覆盖指数 植被覆盖指数反映区域内植被覆盖状况。对于干旱区绿洲城镇而言,退耕还林及城区绿化建设一定程度上会影响林地、牧草地的生态风险变化。计算公式为:

$$C = \frac{W+G}{A_s} \times 100\% \quad (4)$$

式中: $C$ ——植被覆盖指数; $W$ ——林地面积( $\text{hm}^2$ ); $G$ ——草地面积( $\text{hm}^2$ ); $A_s$ ——土地总面积( $\text{hm}^2$ )。

3.2.4 土地多样性指数 土地多样性指数描述土地类型的多少以及各地类空间分布的均匀程度,即表征景观中土地类型的复杂性、齐全程度或多样性的状况。计算公式为:

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i \quad (5)$$

式中: $H$ ——土地多样性指数; $P_i$ ——第*i*种土地利用类型占总面积比重(%); $n$ ——研究区的土地利用类型的总数。

3.2.5 土地利用优势度指数 该指数用于测定景观结构组成中土地利用类型支配景观的程度,表示一种或几种土地利用类型在整体区域中的优势或程度。优势度越大,主导功能显著,地区生态稳定性越强。计算公式如下:

$$D = H_{\max} + \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i \quad (6)$$

式中: $D$ ——土地利用优势度指数; $P_i$ ——第*i*种土地利用类型占总面积比重(%); $n$ ——研究区的土地利用类型的总数; $H_{\max} = \ln N$  ( $N$ 即*n*)。

3.2.6 土地利用景观破碎度指数 该指数表示土地利用景观破碎化程度。能够反映景观空间结构的复杂性,采用单位面积上的地类斑块数表示。破碎度越大,风险越大。计算公式如下:

$$S_{Ni} = \sum_{i=1}^n N_i / A_i \quad (7)$$

式中: $S_{Ni}$ ——景观破碎化指数; $N_i$ ——第*i*类土地利用类型斑块个数; $A_i$ ——第*i*类土地面积( $\text{hm}^2$ ); $n$ ——研究区的土地利用类型的总数。

### 3.3 水资源利用生态风险评估

3.3.1 水资源供给保障率 水资源供给保障率用来描述地区供水保障能力,计算公式如下:

$$I_s = \frac{A}{D} \quad (8)$$

式中: $I_s$ ——水资源供给保障率; $A$ ——正常水平下区域可供水量(此值为地区多年平均可供水量,  $10^8 \text{ m}^3$ ); $D$ ——对应条件下区域水资源需求量( $10^8 \text{ m}^3$ )。一般情况下,水资源可供量取决于水资源丰富程度以及当地供水设施完善状况;水资源的需求量与地区的人口、经济发展、产业结构以及水资源管理密切相关。指标反映了自然因素与人为因素对水资源保障的综合影响。若  $I_s < 1$ ,则表示该地区水资源不能够满足需求,可能导致经济发展滞后或因过度开采地下水而引发一系列环境问题。

3.3.2 水资源风险保障率 该指标描述在出现一定随机概率风险时或在一定的保证率条件下,水资源能

否满足社会需求的能力,其主要反映水利设施、水资源管理等人为因素对地区水资源风险的影响。计算公式如下:

$$I_r = \frac{A_r}{D_r} \quad (9)$$

式中: $I_r$ ——水资源风险保障率; $A_r$ ——出现水资源短缺风险并在一定保证率条件下区域可供水量( $10^8 \text{ m}^3$ ); $D_r$ ——对应情况下水资源的需求量( $10^8 \text{ m}^3$ )。

根据长期从事水资源风险、水资源利用效应评估的高校及研究所不同专家意见, $r$ 的取值为各地当年水资源丰枯系数与区域社会经济结构决定的供水保障系数的平均值,例如凉州区(城市、农业均为主要供水对象): $r=(\text{丰枯系数}+85\% \text{供水保障系数})/2$ ;民勤县(农业灌溉为主): $r=(\text{丰枯系数}+75\% \text{供水保障系数})/2$ 。若 $I_r < 1$ ,则表示该地区出现缺水的风险大于可接受范围。

3.3.3 水资源利用率 该指标用来描述地区用水现状对水资源系统的影响程度及地区可开发的水资源潜力大小。计算公式为:

$$I_u = \frac{U}{Y} \quad (10)$$

式中: $I_u$ ——水资源利用率; $U$ ——地区多年平均用水量( $10^8 \text{ m}^3$ ); $Y$ ——地区可利用水资源总量( $10^8 \text{ m}^3$ ),包括境外调水。一般评价认为, $I_u > 40\%$ <sup>[19]</sup>,区域水资源紧缺较严重。

3.3.4 水资源利用效益指数 该指标反映地区水资源利用经济效益获取程度以及工业农业节水能力水平。计算公式为:

$$I_e = \frac{\alpha P_A + \beta P_B}{P_A + P_B} \quad (11)$$

式中: $I_e$ ——水资源利用效益指数; $\alpha$ ——农业用水有效系数(采用农业GDP百分比与农业用水量百分比的相对比值计算); $\beta$ ——工业用水有效系数(采用工业GDP百分比与工业用水量百分比的相对比值计算); $P_A$ ——农业用水占总用水量的比例; $P_B$ ——工业用水占总用水量的比例。若 $I_e$ 较低,表示该地区用水效益偏低,且工农业节水能力不足。

3.3.5 水资源维持能力指数 这一指标反映各地区实际蓄水能力,即当地的水利设施完善程度,其计算公式如下:

$$I_p = \frac{X}{M} \quad (12)$$

式中: $I_p$ ——水资源维持能力指数; $X$ ——年末主要水库蓄水量( $10^8 \text{ m}^3$ ); $M$ ——当年区域水资源总量

( $10^8 \text{ m}^3$ )。该指标没有明确的标准,越小则说明地区蓄水能较弱,水利设施有待完善。

### 3.4 水资源利用风险评估体系

根据公式(8)~(12)计算指标系数,对计算结果值进行主观值域的划分,并进行指标组合。其中,“+”代表相应指标值较高,“=”代表中等水平指标数值,“-”代表指标数值较低。结合指标含义及研究区实际情况,依次对应划分为I,II,III,IV及V共5个生态风险等级,分别代表水资源利用低度、偏低度、中度、次高度、高度生态风险,由此建立水资源利用生态风险识别及评估体系(表1)。

表1 武威市水资源利用生态风险识别及评估体系

指标组合	$I_u^-$		$I_u^+$		$I_e^+$		$I_e^-$	
	$I_e^+$	$I_e^-$	$I_e^+$	$I_e^-$	$I_e^+$	$I_e^-$	$I_e^+$	$I_e^-$
$I_r^+$ $I_s^+, I_p^+$	I	I	I	II	II	II	II	II
$I_r^-$ $I_s^+, I_p^+$	I	I	II	II	III	III	III	III
$I_r^-$ $I_s^-, I_p^-$	II	II	II	III	III	III	IV	IV
$I_r^+$ $I_s^-, I_p^-$	III	III	III	III	IV	IV	IV	IV
$I_r^-$ $I_s^-, I_p^-$	IV	IV	IV	V	V	V	V	V
$I_r^-$ $I_s^+, I_p^+$	V	V	V	V	V	V	V	V

## 4 结果与分析

### 4.1 土地景观生态风险空间分析

根据公式(1)计算得到1987,2010年武威市土地利用类型景观风险指数。在ArcGIS 9.2软件数据分级功能支持下,将风险指数分为低风险、较低风险、中等风险、较高风险、高风险5个等级(图1)。由图1可知,研究期内武威市土地覆被景观生态风险主要集中在耕地、牧草地和未利用地,且分布面积不断扩展,1987,2010年高风险景观面积分别占全市总面积的52.3%和57.52%。

借助ArcGIS 9.2软件空间分析功能,对武威市1987,2010年土地利用覆被类型的风险等级进行统计,得到不同风险等级的面积分布(表2)。研究期内,武威市各区县景观生态风险呈不断增长的趋势。高生态风险主要涉及武威市广大的耕地、牧草地集中分布区以及缺少植被覆盖的未利用地区。由此可见,人类农业生产及社会经济活动对干旱区特殊的生态环境影响显著。零星分布的水域面积较小,一直处于低生态风险区;被自然植被覆盖的林地,生态系统稳定性较好,风险等级相对较低。1987年,武威市建设用地属于较低风险等级,到2010年,随着中心城区及周边建设用地区域的扩展,人类活动越加频繁,其生态风险发生的几率也明显增加。

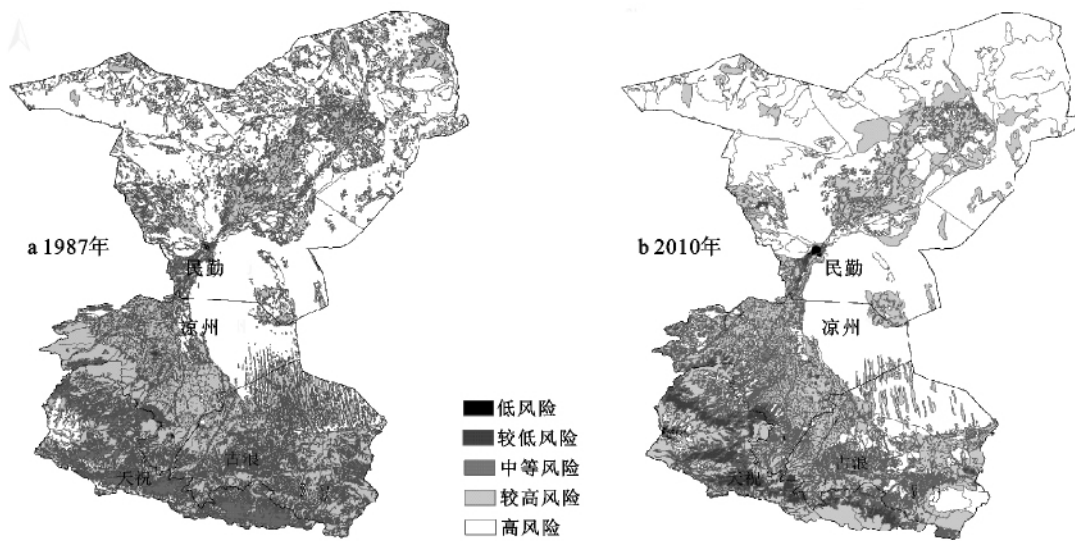


图 1 武威市 1987,2010 年土地景观生态风险空间等级

表 2 武威市 1987,2010 年土地景观生态风险等级与面积分布

年份	生态风险等级	生态风险指数	面积/hm <sup>2</sup>	占总面积/%	主要土地类型
1987	低风险	0~0.000 8	6 122. 80	0. 19	水域
2010		0~0.003 3	23 865. 92	0. 73	水域
1987	较低风险	0.000 8~0.004 8	24 434. 44	0. 75	建设用地
2010		0.003 3~0.005 8	134 529. 33	4. 14	林地
1987	中等风险	0.004 8~0.007 1	176 894. 56	5. 44	林地
2010		0.005 8~0.006 9	31 324. 11	0. 96	建设用地
1987	较高风险	0.007 1~0.053 2	1 343 448. 55	41. 32	耕地、牧草地
2010		0.006 9~0.056 7	1 188 309. 10	36. 54	牧草地、耕地
1987	高风险	0.053 2~0.314 2	1 700 791. 01	52. 30	未利用地
2010		0.056 7~0.357 3	1 873 662. 60	57. 52	未利用地

#### 4.2 土地利用生态风险动态评价

根据式(2)~(7)计算出武威市各县区 1987, 2010 年各类土地利用指标和土地组合指标。参照相关学者研究结论<sup>[20]</sup>分析可知:土地利用综合指数、耕地垦殖指数、植被覆盖指数、多样性、优势度指数越

大,风险程度越小,因此计算风险指数时取负号;破碎度指数越大,风险越大,取正号。结合地区实际情况与相关文献研究,分别赋予各指标一定权重,将指标归一化后,加权得到综合风险指数如表 3 所示。

表 3 武威市 1987,2010 年各县区土地利用风险度指标体系

地区名	年份	土地利用程度指数(-)	耕地垦殖系数(-)	植被覆盖指数(-)	多样性指数(-)	优势度指数(-)	破碎度指数(+)	风险指数(∑)
古浪县	1987	2.041	0.185	0.641	1.863	-1.018	0.168	-0.714
	2010	1.905	0.281	0.297	1.716	-0.871	0.196	-0.631
民勤县	1987	1.310	0.081	0.136	1.067	-0.221	0.142	-0.443
	2010	1.307	0.099	0.096	0.960	-0.115	0.076	-0.445
天祝县	1987	1.894	0.091	0.694	1.904	-1.059	0.210	-0.672
	2010	2.026	0.095	0.805	1.396	-0.551	0.224	-0.714
凉州县	1987	2.359	0.399	0.516	1.552	-0.667	0.190	-0.793
	2010	2.075	0.386	0.195	1.768	-0.923	0.207	-0.665
武威县	1987	1.680	0.166	0.319	1.719	-0.873	0.161	-0.574
	2010	1.720	0.177	0.230	1.661	-0.816	0.164	-0.566
权重系数		0.22	0.15	0.18	0.16	0.15	0.14	1

由表 3 分析, (1) 武威市土地利用程度指数 23 a 间有所增加, 地区受人类社会影响不断加深。(2) 古浪、民勤以及天祝县的垦殖系数均呈增长趋势。绿洲农业区位大背景保障了一定的耕地面积比重。凉州区耕地面积比重的下降反映出城市扩张使城区周边大量耕地转为其他土地类型, 尤以农用地转建设用地为主。(3) 近年来国家积极推进“退耕还林还草”以及“三北防护林”多期工程, 天祝县东部、南部一带林地面积明显增加。(4) 多样性指数总体范围内随着时间的推移不断减小, 反映出地区景观异质性程度随之降低, 相对生态风险增加。(5) 凉州区优势度指数 2010 年较 1987 年降低了 0.256, 表明优势景观或少数地类景观主导作用被削弱, 各景观地类比例差异不明显。分析可知, 这主要由于城区的扩展提高了城镇用地的比例, 各地类表现出趋于均衡的景观控制作用。民勤、古浪、天祝地区不断增加的优势度, 则突出了个别地类景观的主导作用, 一定程度上抑制了土地利用的生态风险。(6) 破碎度指数越大, 风险越大。从地类分析, 林地、牧草地和水域的破碎度在增加, 耕地、未利用地的破碎度在减小, 建设用地破碎程度基

本不变。民勤县东、北、西三面沙漠边缘地带的零星牧草地逐渐被沙化“吞并”, 未利用地趋于集中成片。而凉州区在城市化的作用下, 不断展开来的城镇用地割裂了原来集中连片的耕地、草地、林地或未利用地, 土地利用逐渐趋于破碎化。古浪和天祝地区则主要由于荒漠化, 致使未利用地大面积增加, 造成原有集中连片的林地、草地不断趋于分散。

综上所述, 武威市 2010 年的土地利用综合风险研究期内有所增加。处于脆弱的绿洲生态环境中, 如何安排好各类土地利用的布局及地类转换, 维护土地生产功能及环境功能, 是各地区实现未来经济与生态环境平衡发展的重要途径。

#### 4.3 水资源利用风险评估

根据公式(8)~(12), 计算出武威各区县 2003 年与对比年份 2009 年的水资源利用各类风险指标值, 根据指标的取值范围, 将其分为 3 个等级: “+”、“=”和“-”, 分别代表较高指标数值、中等指标数值和较低指标数值。将各区县指标计算结果对应到风险识别及评估体系表(表 1)中, 得到不同年份不同区县水资源利用生态风险动态变化情况(表 4)。

表 4 武威市 2003, 2009 年各区县水资源利用生态风险评估

指标组合	古浪县		天祝县		民勤县		凉州区	
	2003 年	2009 年	2003 年	2009 年	2003 年	2009 年	2003 年	2009 年
$I_s$ 评估值	0.24	0.56	0.87	0.55	0.19	0.28	0.45	0.46
等级	=	+	+	+	-	=	=	=
$I_r$ 评估值	0.08	0.03	0.07	0.05	0.02	0.04	0.09	0.07
等级	=	-	=	=	-	-	=	=
$I_u$ 评估值	0.33	0.40	0.19	0.31	0.25	0.27	0.28	0.51
等级	+	+	=	+	=	=	=	+
$I_e$ 评估值	0.42	0.44	0.19	0.21	0.30	0.36	0.24	0.28
等级	+	+	-	-	-	-	-	-
$I_p$ 评估值	0.009	0.009	0.020	0.021	0.004	0.010	0.011	0.013
等级	=	=	+	+	-	=	=	=
风险等级变化	III	IV	II	III	V	V	III	IV

对比不同研究时期结果得出: (1) 武威市总体水资源生态风险等级程度不断加深。其中, 作为研究区行政中心与人口、经济、产业活动集聚地, 凉州区水资源利用生态风险由中度演变为次高度。在城市化发展进程中, 凉州区应科学控制水资源需求量并积极推广节约用水。此外, 完善供水设施、实现跨流域调水与合作以及合理配置产业结构能够进一步有效地提高供水能力。(2) 研究期内, 上游古浪、天祝县农业灌溉区的水资源利用生态风险均有所加深, 并持续处于偏中度风险等级。这一地区长年发展绿洲灌溉农

业经济, 水资源需求巨大, 加之农业技术相对落后, 生产生活用水效率偏低, 浪费现象越加严重。为了防止其向重度风险等级演变, 大力发展节约高效用水的现代化农业生产成为大势所趋。(3) 研究期内下游民勤县一直处于水资源利用高度风险等级。一方面, 上游来水量不能保证该地区工农业对水资源的巨大需求; 近年来, 石羊河上游祁连山水源涵养能力下降, 中游用水激增, 造成该地区地表水量锐减, 荒漠边缘以每年 3~4 m 的速度向绿洲推进; 另一方面, 民勤县东、西、北三面被腾格里和巴丹吉林大沙漠包围, 特殊

的区位及自然气候等因素也在一定程度上促成了民勤县“水—地—社会发展”不尽协调的现实矛盾。石羊河流域是一个地域、经济有机整体,解决下游缺水问题,关键是要协调好上中游与下游的用水配置,并实行流域统一管理 with 监督。

## 5 结论

本文基于土地、水资源利用效应过程这一研究视角,结合干旱区内陆河流域特殊的自然、人文社会背景,动态分析了武威市1区3县水土资源利用生态风险形成及演变的过程。从空间尺度上看,中下游地区水土资源生态风险明显大于上游地区,对此提出以下措施:

(1) 大力推进节约用水,协调工、农、企业用水平衡;扩大城镇集中供水区域;全面普及农业常规节水技术,提高用水质量标准,增强居民与农户节水环保意识,全面建设节水型社会。

(2) 合理调整产业经济结构,优化资源配置,促使水土资源需求与绿洲城镇适度发展规模相匹配;大力发展流域小城镇,调整人口布局;优化农业生产结构,增加林、草种植面积,形成水土资源优化配置与产业结构调整彼此促进的互动机制。

(3) 适度实施生态移民和劳务输出工程,合理控制外流域向石羊河流域移民;大力发展第三产业,控制人口规模,减轻地区人口压力。同时,完善水利设施,加强水资源维护功能;积极开发雨水、再生水等非传统水源,提高水资源供给能力。

(4) 实施保护与建设相结合,坚持“南护水源,北治风沙,中建绿洲”的综合治理方针,围绕“三北”四期、“退耕还林”等工程,实施水土资源、小流域的立体综合治理,同时做好环境污染防治工作。

(5) 实现水资源的合理开发、优化配置、有效保护和高效利用是石羊河流域综合治理的核心。今后要切实加强全流域水资源的统一管理、监测和评价,实现上中下游的统一调度,确保有限的水土资源得到充分合理利用。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 郑辛酉,贾铁飞,倪少春. 基于土地利用变化的区域城市化生态效应分析[J]. 资源科学, 2006, 28(6): 146-153.
- [2] 史培军,潘耀忠,陈晋,等. 深圳市土地利用/覆盖变化与生态环境安全分析[J]. 自然资源学报, 1999, 14(4): 293-299.
- [3] 袁艺,史培军,刘颖慧,等. 快速城市化过程中土地覆盖格局研究:以深圳市为例[J]. 生态学报, 2003, 23(9): 1832-1840.
- [4] 王雪军,杨建新,孙玉军. 晋陕蒙接壤地区土地利用格局动态遥感研究与预测[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 58-61.
- [5] 方创琳,黄金川,步伟娜. 西北干旱区水资源约束下城市化过程及生态效应研究的理论探讨[J]. 干旱区地理, 2004, 27(1): 1-7.
- [6] 陈东景,徐中民. 西北内陆河流域生态安全评价研究:以黑河流域中游张掖地区为例[J]. 干旱区地理, 2002, 25(3): 219-224.
- [7] 常兆丰. 民勤人工绿洲的形成、演变及其可持续性探讨[J]. 干旱区研究, 2008, 25(1): 1-8.
- [8] 袁平,沈珍瑶,杨志峰,等. 石羊河流域水资源短缺风险敏感因子的确定[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(2): 81-86.
- [9] Li Yu, Qi Xiaoming, Dong Suocheng, et al. Farmland use changes in oasis areas in the middle and lower reaches of Shiyang River Basin, Gansu Province of China [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(4): 117-121.
- [10] 宋冬梅,肖笃宁,张志城,等. 甘肃民勤绿洲的景观格局变化及驱动力分析[J]. 应用生态学报, 2003, 14(4): 535-539.
- [11] 刘引鸽. 基于土地利用的陕西省生态风险评价[J]. 水土保持通报, 2011, 31(3): 180-189.
- [12] 李丽娟,姜德娟,杨俊伟,等. 陕西大理河流域土地利用/覆被变化的水文效应[J]. 地理研究, 2010, 29(7): 1233-1243.
- [13] 满苏尔·沙比提,努尔卡木里·玉素甫. 塔里木河流域绿洲耕地变化及其河流水文效应[J]. 地理研究, 2010, 29(12): 2251-2260.
- [14] 马金珠,朱中华,于保静. 石羊河流域水环境演化与水资源可持续利用[M]. 兰州:兰州大学出版社, 2005: 1-36.
- [15] 汪权方,李家永,陈百明. 基于地表覆盖物光谱特征的土地覆被分类系统:以鄱阳湖流域为例[J]. 地理学报, 2006, 61(4): 359-368.
- [16] 杨永峰,孙希华,王百田. 基于土地利用景观结构的山东省生态风险评价[J]. 水土保持通报, 2010, 30(1): 232-236.
- [17] 莫宏远,任志远. 风沙过渡区土地生态价值及生态风险动态研究:以陕北神木县为例[J]. 中国沙漠, 2010, 30(2): 357-362.
- [18] 刘纪远. 中国资源环境遥感宏观调查与动态研究[M]. 北京:中国科学技术出版社, 1996: 7-10.
- [19] Alcamo J, Henrichs T, Rosch T. World water in 2025: global modeling and scenario analysis[M]// Rijsberman F R. World Water Scenarios Analyses. London, UK: Earthscan Publications, 2000.
- [20] 刘勇,张红,尹京苑. 基于土地利用变化的太原市土地生态风险研究[J]. 中国土地科学, 2009, 23(1): 52-57.