

# 基于熵权可拓物元模型土地利用系统健康诊断

——以河西走廊为例

路正,陈英,魏苹,王东

(甘肃农业大学资源与环境学院,甘肃兰州730070)

**摘要:**通过构建PSR模型的指标体系,运用熵权可拓物元模型对河西走廊的土地利用系统健康进行评价。研究结果:2000—2014年这15年期间,根据可拓物元模型经典域取值区间,河西走廊整体土地利用系统健康水平处于 $N_{03}$ ,健康等级为临界状态,健康水平保持稳定;河西走廊的土地系统健康水平分布具有一定的规律性,呈现出由中间向两边逐渐降低的趋势;河西走廊生态环境脆弱,森林覆盖率、水土流失程度和土壤盐渍化率是制约土地利用系统健康水平提升的重要因素。研究表明,将熵权可拓物元模型应用于土地利用系统健康评价,可以有效地避免人为因素的干扰,客观地评价研究区域土地利用系统健康的各要素之间的关系,揭示各个指标的水平状态,挖掘土地利用系统健康存在的具体问题,适用于土地利用系统健康的评价。

**关键词:**土地利用;可拓物元模型;熵权法;健康诊断;河西走廊

**中图分类号:**F301.24 **文献标志码:**A

## Health diagnosis of land use system based on entropy-weighted extentic matter-element model

——A case study of Hexi Corridor

LU Zheng, CHEN Yin, WEI Ping, WANG Dong

(College of Resources and Environmental Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** By constructing the index system based on PSR model, we used entropy-weighted extentic matter-element model to evaluate the health of land use system in Hexi Corridor. The results are as follows: (1) According to the extension of the classical domain values of matter element model, the overall land use system in Hexi Corridor in  $N_{03}$ , health level of "critical state", health level to maintain stability from 2000 to 2014. (2) The health level of the land system in the Hexi Corridor has a certain regularity, showing a trend of decreasing gradually from the middle to both sides. (3) The Hexi Corridor ecological environment fragile. Forest coverage rate and the degree of soil and water loss and soil salinization rate important factor which restricts the healthy level of land use system. It was concluded that entropy-weighted extentic matter-element model can be applied to land use system health evaluation. It can effectively avoid the interference of human factors, and objectively evaluate the relationship between the various factors of regional land use system health, reveal the level of each index, and mine specific health problems in land use system.

**Keywords:** land use; matter-element model; entropy-weighted; health diagnosis; Hexi Corridor

随着人地矛盾的日益突出,生态环境的恶化和自然生态的失衡,影响了土地资源的可持续利用。土地利用系统是一个以土地利用为基础的资源环境、人类活动、社会经济复合系统,其较为能够集中地反映人口增长、经济发展与资源短缺三者之间的矛盾。为此,土地利用系统健康是随之兴起的重点

研究内容之一<sup>[1]</sup>。结合我国人多地少、土地资源退化较为普遍的实际情况,开展土地利用系统健康研究,为土地资源可持续利用提供理论基础和实践指导,是中国土地资源管理的一项紧迫任务<sup>[1-2]</sup>。

近年来,土地利用系统健康方面的研究尚处于起步阶段,其研究内容主要集中在土地利用系统健

收稿日期:2016-01-10

基金项目:国家自然科学基金“村民关联度与农地利用的关系研究”(71263003)

作者简介:路正(1991—),男,河南安阳人,硕士研究生,主要研究方向为土地资产管理。E-mail:461256165@qq.com。

通信作者:陈英(1969—),男,甘肃武威人,副教授,主要研究方向为土地资产管理。E-mail:cheny@gsau.edu.cn。

康的内涵、评价和影响因素等几个方面。蔡为民等较为全面地界定了土地利用系统健康的内涵,并相应地构建了土地利用系统健康评价的框架与指标<sup>[3]</sup>。郭杰等诊断了兰州市的土地利用系统健康的状态<sup>[4]</sup>。郑华伟等运用物元分析法诊断了四川省的土地利用系统健康状况并分析该区域的土地利用系统健康的影响因素<sup>[5]</sup>。以上学者的研究取得了一定的成果,但也存在以下不足之处:定性分析多、定量研究少;评价指标较多侧重于资源与环境状况,较少考虑人类活动、社会经济等方面对土地利用系统健康的作用;评价指标权重多采用主观赋权法,主观性较强,缺乏客观性和科学性。

因此,本文通过构建 PSR(Pressure - State - Response)模型建立土地利用系统健康评价指标体系,可以综合地考虑社会、经济、资源与环境对土地利用系统健康的作用。同时,引入熵权法和可拓物元模型对河西走廊进行实证研究,通过计算单个指标与各标准等级的关联系数得到综合评价结果,准确全面地分析河西走廊土地利用系统健康的障碍因子,有效挖掘土地利用系统存在的具体问题,为可持续性管理和合理利用土地利用系统提供依据。

## 1 研究方法

### 1.1 评价指标体系的构建

借鉴 PSR 指标体系模型的基础上,结合河西走廊的特点及实际情况,对 PSR 模型进行了改进,建立了适合河西走廊土地利用系统健康评价的评价体系。在 PSR 模型土地利用系统健康评价体系中,P 为系统压力,即社会经济发展和人口活动对土地利用系统的压力;S 为系统状态,即人类开发资源和社会经济活动对土地利用系统结构与功能状态的影响;R 为系统压力,即土地利用系统根据系统压力和系统状态所作出的反应,并反馈到社会经济的发展过程中,从土地利用系统健康评价指标体系的基本框架出发,遵循指标选取的科学性、系统性、可比性和可获取性等原则,在参考相关文献<sup>[6]~[8]</sup>的基础上,结合河西走廊的特点及实际情况,构建土地利用系统健康评价指标体系。

### 1.2 熵权法确定权重系数

熵值法是一种客观赋权法,其根据各项指标观测值的不确定性来确定指标权重。通过对传统的熵值法进行修正,将土地利用系统作为一个研究系统,各个评价指标作为其子系统,各被评价对象在该指标(子系统)下的取值则视为子系统的可能出现结果,若其概率可以确定,则该指标的熵权就能计算出

来<sup>[9]</sup>。

### 1.3 可拓物元评价模型

运用物元分析的理念,建立可拓物元模型对土地利用系统健康进行诊断,同时采用改进的熵值法确定指标的权重,可以比较全面客观地对土地利用系统健康状况进行诊断,主要步骤如下<sup>[10-12]</sup>:

(1) 确定土地利用系统健康物元;(2) 确定土地利用系统健康的经典域;(3) 确定土地利用系统健康的节域;(4) 确定待评物元;(5) 确定关联函数及关联度;(6) 确定权重;(7) 计算综合关联度确定评价等级。

## 2 实证分析

### 2.1 研究区概况和数据来源

河西走廊位于甘肃省西北部,通常指乌鞘岭以西、甘肃和新疆两省交界处以东地区,祁连山、合黎山南北对峙,东西长约 1 100 km,南北宽约几公里到数百公里。包括张掖、酒泉、嘉峪关、金昌和武威 5 个地级市,总面积约 27.6 万 km<sup>2</sup>,占甘肃省总面积的 60.6%。

河西走廊气候干旱,许多地方年降水量不足 200 mm,但祁连山冰雪融水丰富,自东向西形成石羊河、黑河和疏勒河三大内流水系。三大水系均发源于祁连山,由冰雪融水和雨水补给。河水大部分渗入戈壁滩形成潜流,或被绿洲利用灌溉,较大河流的下游注入终端湖。河西走廊是西北地区最主要的商品粮基地和经济作物集中产区。

土地利用系统健康评价指标数据主要来源于《甘肃发展年鉴》<sup>[13]</sup>、《甘肃农村年鉴》<sup>[14]</sup>、《中国统计年鉴》<sup>[15]</sup>、《中国国土资源年鉴》<sup>[16]</sup>和甘肃省土地利用变更数据等。

### 2.2 模型应用

2.2.1 指标体系的构建 在 PSR 概念模型的基础上,根据河西走廊的实际情况,确定了其土地利用系统健康的评价指标,再结合改进的熵值法确定各评价指标的权重(表 1)。

2.2.2 土地利用系统健康评价经典域、节域确定

经典域(评价等级的取值区间)的确定是可拓物元模型的基础。本研究依据土地利用系统健康的可拓性,将其划分为 5 个等级,即  $N_{01} \rightarrow N_{05}$ ,定性描述为:健康 $\rightarrow$ 亚健康 $\rightarrow$ 临界状态 $\rightarrow$ 不健康 $\rightarrow$ 病态。评价经典域的确定主要参考国家地方行业及国际相关标准,研究区域本底背景值,全国平均水平等<sup>[6,17]</sup>,具体取值见表 2。

表 1 土地利用系统健康评价指标体系和权重

Table 1 The evaluation index system and weight of health on land use system

目标层 Target layer	准则层 Rule layer	因素层 Factors layer	评价层 Index layer	评价函数 Evaluation function	权重 Weight
土地利用系统健康 Land use system health	系统压力 System pressure	人口活动水平 Population activity level	$x_1$ 人口密度/(人·km <sup>-2</sup> ) Population density(person·km <sup>-2</sup> )	总人口/土地面积 Total population/land area	0.0399
			$x_2$ 人口自然增长率 Natural population growth rate	—	0.0400
		社会经济 发展压力 Social and economic development pressure	$x_3$ 城市化水平/% Urbanization level	非农业人口/总人口 Non agricultural population/total population	0.0463
			$x_4$ GDP 增长率 GDP growth rate	当年 GDP/(前一年 GDP - 1) The year GDP/(last year GDP - 1)	0.504
			$x_5$ 固定资产投资增长率 Fixed asset investment growth rate	当年固定资产投资/(前一年固定资产投资 - 1) The year fixed asset investment / (last year fixed asset investment - 1)	0.0401
		土地利用强度 Land use intensity	$x_6$ 土地复垦率 Land reclamation rate	耕地面积/土地总面积 Cultivated land area/land area	0.0421
	$x_7$ 复种指数 Multiple crop index		农作物总播种面积/耕地总面积 Sown area of crops/cultivated land area	0.0420	
	$x_8$ 建设用地比例 Proportion of construction land		建设用地规模/土地总面积 Construction land scale/land area	0.0425	
	系统状态 System state	社会经济 发展水平 Social and economic development level	$x_9$ 人均 GDP Capita GDP	GDP/总人口 GDP/total population	0.0401
			$x_{10}$ 第三产业在 GDP 中的比例 The proportion of the third industry in GDP	第三产业产值/GDP Total value of the third industry/GDP	0.0398
			$x_{11}$ 城镇居民人均可支配收入 Per capita disposable income of urban residents	—	0.0404
			$x_{12}$ 农民人均纯收入 Per capita net income of farmers	—	0.0402
土地集约 利用状况 Land intensive use situation		$x_{13}$ 地均 GDP Land average GDP	GDP/总面积 GDP/land area	0.0402	
		$x_{14}$ 人均耕地面积 Per capita arable land area	耕地面积/总人口 Cultivated land/ total population	0.0432	
系统响应 System response	生态环境质量 Ecological environment quality	$x_{15}$ 人均建设用地面积 Construction land per capita area	建设用地面积/总人口 Construction land scale/total population	0.535	
		$x_{16}$ 森林覆盖率 Percentage of forest cover	森林面积/土地总面积 Forest area/land area	0.0492	
		$x_{17}$ 水土流失程度 Degree of soil and water loss	水土流失面积/土地总面积 Area of soil and water loss /land area	0.0508	
	$x_{18}$ 土壤盐渍化率 Soil salinization rate	干土中土壤含盐总量 Total salt content of soil in dry soil	0.0551		
	政策管理水平 Policy management level	$x_{19}$ 土地市场配置程度 Land market allocation	土地一级市场配置程度与土地二级市场配置程度加权求和 The level of land market allocation and the degree of land market allocation of two degree of weighted sum	0.0430	
	$x_{20}$ 水土流失治理率 Soil and water loss control rate	水土流失治理面积/水土流失面积 Water and soil erosion control area/area of soil and water loss	0.0456		
环境保护力度 Environmental protection efforts	$x_{21}$ 工业废水排放达标率 Discharge standard rate of industrial waste water	达标工业废水排放量/工业废水总排放量 Industrial waste water discharge standard/ total discharge of industrial waste water	0.0522		
	$x_{22}$ 环保投资强度 Environmental protection investment intensity	环保投资量/财政支出总量 Environmental protection investment/total fiscal expenditure	0.0531		
	$x_{23}$ 教育投资强度 Education investment intensity	教育支出量/财政支出总量 Educational expenditure/total fiscal expenditure	0.0497		

表 2 土地利用系统健康评价指标经典域和节域的取值范围

Table 2 The valuing range on the classic field and section domain of evaluation index of land use system

评价指标 Evaluation index	经典域取值区间 Classic field					节域取 值区间 Section domain
	N <sub>01</sub>	N <sub>02</sub>	N <sub>03</sub>	N <sub>04</sub>	N <sub>05</sub>	
x <sub>1</sub>	[0, 150)	[150, 350)	[350, 500)	[500, 800)	[800, 1500)	[0, 1500)
x <sub>2</sub>	[0, 3)	[3, 8)	[8, 15)	[15, 25)	[25, 50)	[0, 50)
x <sub>3</sub>	[70, 100)	[40, 70)	[20, 40)	[10, 20)	[0, 10)	[0, 100)
x <sub>4</sub>	[0, 6)	[6, 12)	[12, 18)	[18, 24)	[24, 30)	[0, 30)
x <sub>5</sub>	[0, 5)	[5, 10)	[10, 20)	[20, 30)	[30, 50)	[0, 50)
x <sub>6</sub>	[30, 50)	[20, 30)	[15, 20)	[10, 15)	[0, 10)	[0, 50)
x <sub>7</sub>	[95, 100)	[85, 95)	[75, 85)	[65, 75)	[30, 65)	[30, 100)
x <sub>8</sub>	[0, 3)	[3, 7)	[7, 12)	[12, 18)	[18, 30)	[0, 30)
x <sub>9</sub>	[20000, 35000)	[15000, 200000)	[10000, 15000)	[5000, 10000)	[0, 5000)	[0, 35000)
x <sub>10</sub>	[40, 60)	[30, 40)	[20, 30)	[10, 20)	[0, 10)	[0, 60)
x <sub>11</sub>	[16000, 20000)	[12000, 16000)	[8000, 12000)	[4000, 8000)	[0, 4000)	[0, 20000)
x <sub>12</sub>	[6000, 10000)	[3500, 6000)	[2500, 3500)	[1500, 2500)	[0, 1500)	[0, 10000)
x <sub>13</sub>	[15, 30)	[5, 15)	[2, 5)	[1, 2)	[0, 1)	[0, 300)
x <sub>14</sub>	[0.100, 0.200)	[0.085, 0.100)	[0.075, 0.085)	[0.053, 0.075)	[0, 0.053)	[0, 0.2)
x <sub>15</sub>	[0, 150)	[150, 170)	[170, 190)	[190, 210)	[210, 300)	[0, 300)
x <sub>16</sub>	[40, 60)	[30, 40)	[20, 30)	[10, 20)	[0, 10)	[0, 60)
x <sub>17</sub>	[0, 15)	[15, 30)	[30, 45)	[45, 60)	[60, 100)	[0, 100)
x <sub>18</sub>	[0, 0.3)	[0.3, 0.5)	[0.5, 1.0)	[1.0, 2.0)	[2.0, 3.0)	[0, 3)
x <sub>19</sub>	[65, 100)	[50, 65)	[30, 50)	[15, 30)	[0, 15)	[0, 100)
X <sub>20</sub>	[80, 100)	[60, 80)	[40, 60)	[20, 40)	[0, 20)	[0, 100)
X <sub>21</sub>	[95, 100)	[80, 95)	[65, 80)	[50, 65)	[0, 50)	[0, 100)
x <sub>22</sub>	[0.20, 0.35)	[0.15, 0.20)	[0.10, 0.15)	[0.05, 0.10)	[0, 0.05)	[0, 0.35)
x <sub>23</sub>	[35, 50)	[20, 35)	[10, 20)	[5, 10)	[0, 5)	[0, 50)

### 2.3 结果与分析

将整理出的河西走廊土地利用系统健康评价指标数据组成的待评物元代入可拓物元模型,得到河西走廊土地利用系统健康的综合评价结果。

从河西走廊整体土地利用系统健康的变化来看,2000—2014年河西走廊土地利用健康系统状况变化不大,一直处于临界状态。因此可以看出,该区域一方面经济得到了发展,同时不断加强生态环境保护建设,加强了对土壤盐渍化和水土流失的治理,并没有继续使生态环境持续恶化,该区域的土地利用系统健康水平一直处于临界状态。

从空间上分析,该区域的土地系统健康水平分布具有一定的规律性,即河西走廊的土地利用健康水平由中间向两边逐渐降低的趋势。亚健康 and 临界状态主要分布在张掖市和金昌市;临界状态 and 不健康主要分布在嘉峪关市、酒泉市和武威市。

从时间跨度来看,该区域的土地利用系统健康水平变化情况不一。在2000—2014年这15年期间,嘉峪关市、酒泉市和金昌市土地利用系统健康水

平呈现上升趋势,这主要是由于城市化水平、固定资产投资率、土地复垦率、复垦指数、第三产业比重、工业废水排放达标率和环保投资强度等指标有所上升的趋势。张掖市土地利用系统健康水平并没有太大变化,一直处于亚健康状态,说明张掖市经济发展的同时,不断加强生态环境保护建设。而武威市的土地利用系统健康水平却出现下降趋势,一方面是因为土地利用程度粗放,人均GDP和地均GDP的健康水平均处于病态,另一方面生态环境极其脆弱,森林覆盖率低,水土流失和土壤盐渍化严重,虽然武威市一直致力于水土流失及土壤盐渍化的综合治理,但由于易水土流失区域较大且土壤盐渍化严重,且存在反复的现象,因此还需加大治理力度,有效保护土地资源。

### 3 结论与讨论

1) PSR模型可以有效地将社会经济与资源环境有机结合起来,其指标体系更加完善,通过分析资源环境、人类活动、社会经济等之间的关系,更准确

表 3 土地利用系统健康评价结果

Table 3 Evaluation results of health on land use system

城市 City	年份 Year	$N_{01}$	$N_{02}$	$N_{03}$	$N_{04}$	$N_{05}$	级别 Level
嘉峪关 Jiayuguan	2000	-1.7756	-2.0913	-1.0557	-0.9398	-2.0816	不健康 Unhealthy
	2005	-2.4740	-2.0076	-1.1391	-0.7748	-1.6837	不健康 Unhealthy
	2010	-1.5744	-1.5397	-1.3798	-1.4880	-3.1073	临界状态 Critical state
	2014	-2.6077	-2.8902	-0.8487	-1.5823	-3.2130	临界状态 Critical state
金昌 Jinchang	2000	-1.6082	-1.0628	-0.8913	-1.3704	-2.0856	临界状态 Critical state
	2005	-2.3454	-0.7455	-0.1873	-2.1279	-1.4564	临界状态 Critical state
	2010	-1.8586	-0.5098	-0.9344	-1.9464	-2.1008	亚健康 Subhealthy
	2014	-1.8577	-0.6601	-1.1898	-2.2524	-2.4254	亚健康 Subhealthy
酒泉 Jiuquan	2000	-1.9874	-1.6994	-1.1743	-1.4770	-2.1203	不健康 Unhealthy
	2005	-1.9738	-1.0419	-0.7575	-2.1602	-2.1355	不健康 Unhealthy
	2010	-2.5801	-1.7669	-1.3863	-2.1005	-2.3654	临界状态 Critical state
	2014	-1.9535	-1.6824	-1.4744	-1.8350	-2.7471	临界状态 Critical state
张掖 Zhangye	2000	-2.0407	-0.8394	-0.9745	-2.9914	-2.6783	亚健康 Subhealthy
	2005	-1.5575	-0.8451	-1.4125	-2.3749	-2.2466	亚健康 Subhealthy
	2010	-1.3647	-0.5808	-1.4255	-2.4040	-2.4557	亚健康 Subhealthy
	2014	-1.3254	-0.8525	-1.7570	-2.3578	-2.6796	亚健康 Subhealthy
武威 Wuwei	2000	-1.8025	-0.9734	-0.7726	-1.6205	-1.8662	临界状态 Critical state
	2005	-2.4740	-2.0076	-0.8168	-1.1602	-1.7165	临界状态 Critical state
	2010	-1.5745	-1.5398	-1.4218	-1.5092	-3.1402	临界状态 Critical state
	2014	-2.6078	-2.8902	-1.6243	-0.8698	-3.2458	不健康 Unhealthy
河西走廊 Hexi Corridor	2000	-1.4347	-1.1654	-0.7788	-1.0815	-1.6308	临界状态 Critical state
	2005	-1.8534	-1.1605	-0.5801	-1.2446	-1.3984	临界状态 Critical state
	2010	-1.5175	-1.1562	-0.9612	-1.3872	-2.1427	临界状态 Critical state
	2014	-1.8054	-1.6246	-1.0274	-1.3079	-2.3263	临界状态 Critical state

地体现出土地利用系统健康的各要素之间的关系。运用改进的熵值法,通过数据本身所反映的信息无序化效用值来计算权重系数,可以有效地避免人为因素的干扰,提高权重的客观性。同时,可拓物元模型可以获得单个指标的诊断结果,以揭示各指标的水平状态,揭示系统健康问题的具体原因。可以看出,熵权可拓物元模型适用于土地利用系统健康诊断,有利于促进土地利用系统健康状况改善。

2) 实证结果表明,2000—2014年河西走廊土地利用系统健康水平处于稳定状态,且一直处于“临界状态”,尤其是嘉峪关市、酒泉市和武威市土地利用系统健康水平堪忧。森林覆盖率、水土流失程度和土壤盐渍化率是制约土地利用系统健康状况改善的关键因素。因此,加大环境治理力度,加强生态安全保护,通过有效地控制水土流失程度和土壤盐渍化,持续改善土地利用系统健康状况。同时,优化产业结构,转变经济发展方式,提高土地集约利用程度,降低经济增长对土地资源的过度消耗。

3) 运用改进的熵权可拓物元模型对土地利用系统进行健康评价,在土地健康评价领域属有益尝试,但由于土地利用系统本身的复杂性,所选择的评价指标不够完善,因此评价指标还有待进一步检验和深入研究。

#### 参考文献:

- [1] 陈美球,刘桃菊.土地健康与土地资源可持续利用[J].中国人口资源与环境,2003,13(4):64-67.
- [2] 陈美球,吴次芳.土地健康研究进展[J].江西农业大学学报,2002,24(3):324-329.
- [3] 蔡为民,唐华俊,陈佑启,等.土地利用系统健康评价的框架与指标选择[J].中国人口·资源与环境,2004,14(1):31-35.
- [4] 郭杰,吴斌.土地利用系统健康评价[J].中国土地科学,2011,25(4):71-77.
- [5] 郑华伟,张锐,刘友兆.基于物元分析的土地利用系统健康诊断[J].中国土地科学,2012,26(11):33-39.
- [6] 郑华伟,张锐,杨兴典,等.基于PSR模型的土地利用系统健康评价及障碍因子诊断[J].长江流域资源与环境,2012,21(9):1099-1105.

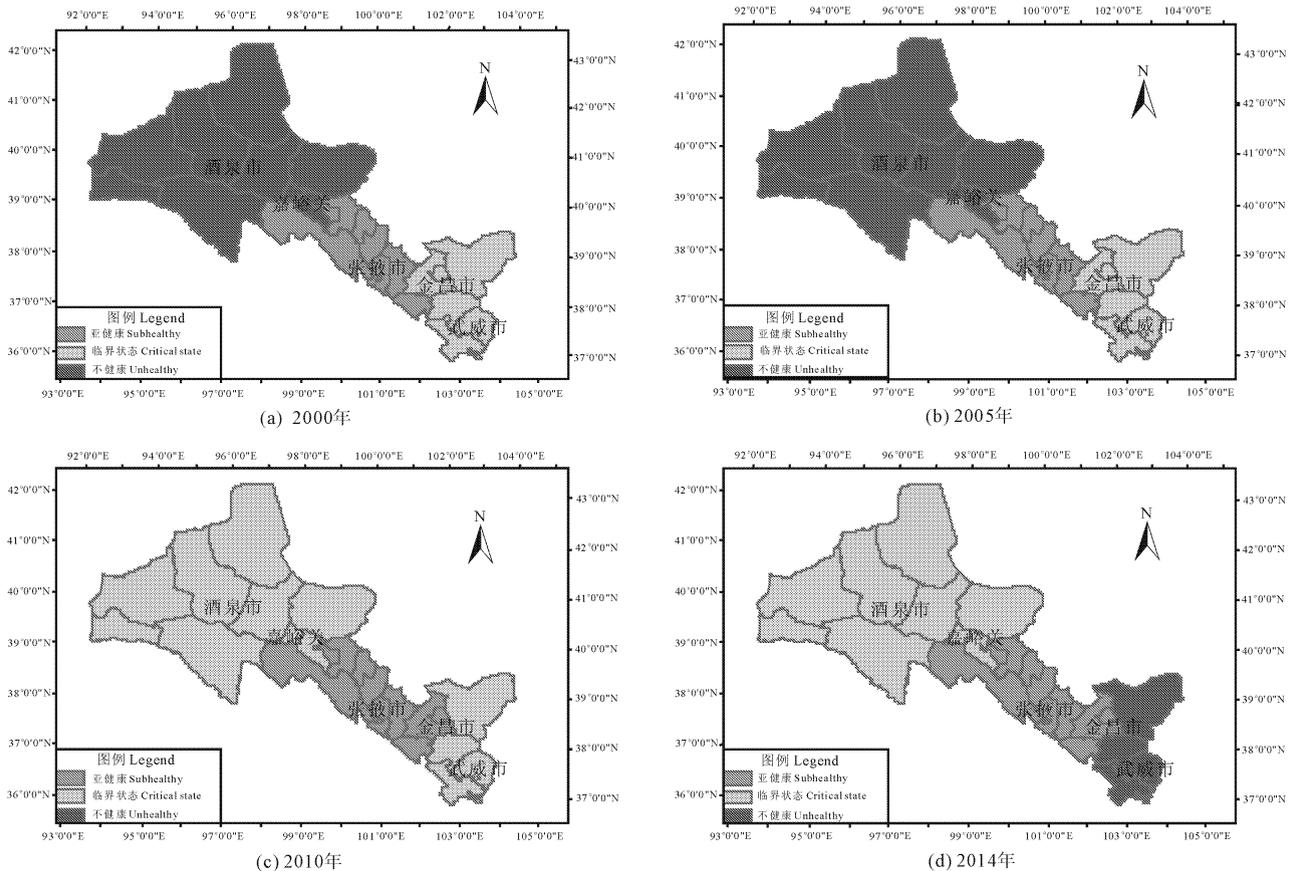


图1 2000—2014年河西走廊土地利用系统健康变化

Fig.1 Change of health level on land use system in Hexi Corridor from 2000 to 2014

- [7] 贺翔.上海市土地利用系统健康评价研究[D].武汉:华中农业大学,2007.
- [8] 李强,赵焯,严金明.城市化驱动机制下的农用地健康评价[J].农业工程学报,2010,26(9):301-307.
- [9] 吴冠岑,刘友兆,付光辉.基于熵权可拓物元模型的土地整理项目社会效益评价[J].中国土地科学,2008,22(5):40-46.
- [10] 罗文斌,吴次芳,杨剑.基于“流程逻辑”框架的土地整理项目绩效物元评价[J].中国土地科学,2010,24(4):55-61.
- [11] 张虹波,刘黎明,张军连,等.区域土地资源生态安全评价的物元模型构建及应用[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2007,33(02):222-229.
- [12] 张小虎,雷国平,袁磊,等.黑龙江省土地生态安全评价[J].

- 中国人口资源与环境,2009,19(1):88-93.
- [13] 甘肃发展年鉴编委会.甘肃发展年鉴[M].北京:中国统计出版社,2000—2014.
- [14] 甘肃农村年鉴编委会.甘肃农村年鉴[M].北京:中国统计出版社,2000—2014.
- [15] 国家统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2000—2014.
- [16] 中国国土资源年鉴编辑部.甘肃国土资源年鉴[M].北京:中国大地出版社,2000—2014.
- [17] 郑华伟,刘友兆.基于PSR模型的耕地集约利用空间差异分析——以四川省为例[J].农业系统科学与综合研究,2011,27(3):257-262.

(上接第232页)

- [12] 中华人民共和国农业部.新中国农业60年统计资料[M].北京:中国农业出版社,2009:111-119.
- [13] 中华人民共和国民政部.自然灾害情况统计制度[Z].北京:中华人民共和国民政部,2008.
- [14] 国家防汛抗旱总指挥部办公室.中国水旱灾害[M].北京:中国水利水电出版社,1997:305.
- [15] 许以平.1978年长江中下游夏季大旱的天气气候分析[J].气象杂志,1979,(2):16-19.
- [16] 卫捷,张庆云,陶诗言.1999及2000年夏季华北严重干旱的

- 物理成因分析[J].大气科学,2004,28(1):125-137.
- [17] 牟惟丰.1991年江淮暴雨洪涝环流形式异常的分析[J].气象,1992,18(8):16-21.
- [18] 黄荣辉,徐茂红,王鹏飞,等.1998年夏长江流域特大洪涝特征及其成因探讨[J].气候与环境研究,1998,3(4):13-16.
- [19] 李新周,马柱国,刘晓东.中国北方干旱化年代际特征与大气环流的关系[J].大气科学,2006,30(2):277-284.
- [20] 陈菊英.中国旱涝的分析和长期预报研究[M].北京:气象出版社,2010:16-19.