

文章编号: 1004- 4574(2007)05- 0009-07

甘肃中部地区生态安全评价

张 兵^{1,2}, 金凤君¹, 胡德勇³

(1. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2 中国科学院 研究生院, 北京 100039
3. 北京师范大学 资源学院, 北京 100875)

摘要: 在 PSR 模型框架下, 利用熵法确定权重, 采用 1986年 Landsat TM 和 2000年 ETM + 影像确定模型中的自然组分数据, 结合社会经济统计数据, 对生态安全过程进行景观格局判定, 较好地得出了 15 年来甘肃中部地区生态安全的变化状况。研究表明: 2000 年甘肃中部地区生态安全状况整体较差, 15 年来, 人类活动加速了自然组分的退化, 逐步弱化了景观中的稳定成分, 促进形成了异质性程度低、格局粗粒化、稳定性差的景观格局, 其中, 快速城市化、水资源减少和耕地、林地等重要土地资源的快速转化是整个地区生态安全状态弱化的主要原因。

关键词: 甘肃中部; 生态安全; 景观生态格局; 土地利用

中图分类号: Q 146 X826

文献标识码: A

Assessment of ecological security in middle part of Gansu Province

ZHANG Bing^{1,2}, JIN Feng-jun¹, HU De-yong³

(1. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS Beijing 100101, China
2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences Beijing 100039, China
3 College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract Using two sets of TM /ETM images acquired on July 31, 1986 and May 23, 2000 respectively, and the PSR model and information entropy to select the weight of the index, this paper gets the ecology security situation in the middle part of Gansu Province from 1986 to 2000. With the important factors, the landscape ecological index and land-use change, the paper obtains the change of the ecological security assessment in the middle part of the Gansu Province. In 2000, the ecology system is not safe in the middle part of Gansu Province; from 1986 to 2000, the ecological security had become a little worse although the main cities in the province such as Lanzhou, Baiyin and Dingxi had become better. In the recent 15 years, the nature factors had a little influence on the change of ecological security, but the human activities had taken a serious negative influence on the natural ecology, weakened the landscape factors' stability, accelerated the deterioration of landscape in study region.

Keywords middle part of Gansu Province; ecological security; landscape ecology pattern; land use

生态安全是指在人的生活、健康、安乐、基本权利、生活来源保障、必要资源、社会秩序和人类适应环境变化的能力等方面不受威胁的状态; 主要表征区域生态的安全状态与格局变化, 是为国内外学者研究的热点^[1-4], 而中尺度的西北内陆干旱半干旱区的生态安全研究更是目前生态脆弱区重要的研究命题之一。目前国内学者多对狭义生态系统(自然或半自然生态系统安全)进行关键因子的选取与评价, 而广义生态系统生态安全评价因子赋值多采用 AHP、特尔菲法等方法, 具有很大的主观性。本文采用 PSR 模型框架^[5], 充分

收稿日期: 2006- 03- 01 修订日期: 2006- 06- 10

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(40131010); 国家社会科学基金项目(04BSH027)

作者简介: 张兵(1974-)男, 博士研究生, 主要从事区域可持续发展研究。E-mail: zhangb04l@igsnrr.ac.cn

利用遥感影像数据,采用熵法进行客观赋值,从 1986–2000 年对甘肃中部地区进行生态安全状态进行分析,并利用景观生态指数对状态 ~ 格局过程进行判定,得出 15 a 来生态环境变化的总体趋势和主要影响因素,较好揭示研究区域生态安全的变化内在机理,同时也能更为深刻的反映本地区之间人地关系,为研究区域可持续发展的基础和建立和谐社会与环境友好型社会的提供有益建议。

1 研究区概况

甘肃中部地区包括兰州市、白银市、临夏州、定西市等 19 个县市(区),是兰州都市圈核心区域的生态保护区域。本地区属于黄土高原、青藏高原、内蒙古高原三大高原交接处,兼有厚积的黄土丘陵、湿润的石质山地及河谷阶地、川台平地组合条件,地形破碎。年降水量自南向北由 600 mm 过渡到 150 mm,降水变率高达 40%^[6]。植被稀少,荒漠半荒漠化草原居多,小部分干草原,部分山地分布有亚高山灌木草甸群落及寒漠冷生群落。

2 研究方法 with 数据指标

2.1 研究方法

PSR 模型深刻反映了生态系统在自然生态系统、社会经济系统之间的相互作用机理,从整体上体现了可持续发展、扰动 – 质量响应、人地和谐的理念^[5]。自然组分指标的选取重点考虑水资源、土地因子、植被因子为西北干旱半干旱地区生态系统的主要约束因子,人类社会影响指标重点考虑农牧业和城市化因子等人类活动,指标选取原则重点体现前瞻性和超前性、综合性和因子的主导性、敏感性、客观性、技术先进性等原则;指标体系共包括 3 个分系统,10 个子系统,23 个指标(图 1)。

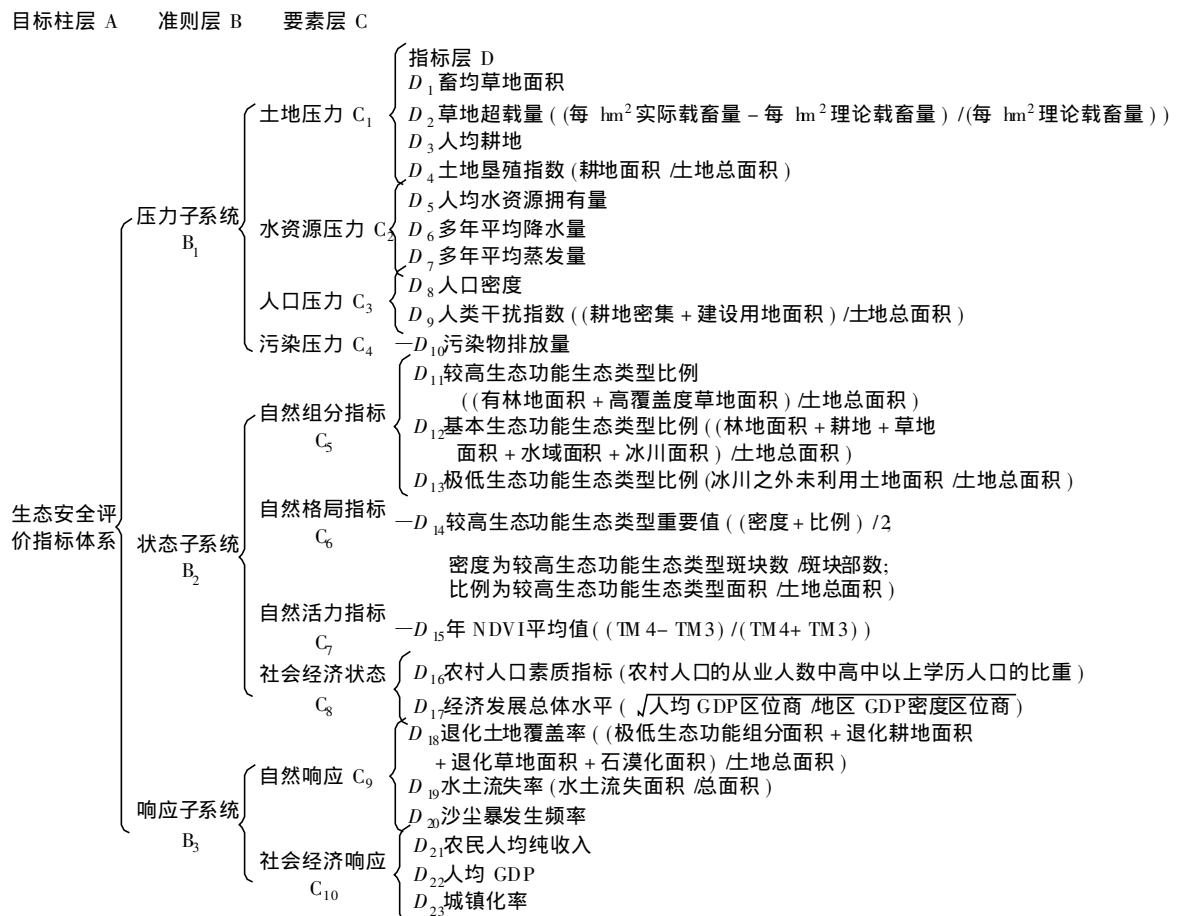


图 1 生态安全指标体系图

Fig 1 Index system of ecological security

赋值方法采用熵值法:

信息论中, 信息熵是系统无序程度的度量, 信息是系统有序程度的度量, 二者绝对值相等, 符号相反。某项指标的指标值变异程度越大, 信息熵越小, 该指标提供的信息量越大, 相应权重也越大, 反之, 权重越小。根据各项指标的变异程度, 可以客观的计算出各指标的权重, 为多指标综合评价提供依据。

赋值过程: 选定评价对象指标 I_1, I_2, \dots, I_m , P_j 表示第 j 个信息的不确定度, 整个信息不确定性度量用熵 Q_j 来表示:

$$Q_j = -k \sum_{j=1}^m p_{ij} \log p_{ij}$$

其中, k 为正常数。设评价对象 S_i 在评价指标 I_j 下的取值为 X_{ij} , 用 p_{ij} 表示指标 I_j 下对象 S_i 的总贡献度, 用熵 E_i 来表示所有的评价对象对指标 I_j 的总贡献度 E_j ; 常数取值为 $1/\log n$, 保证 $0 \leq E_i \leq 1$ 。

$$P_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad E_j = -k \sum_{i=1}^n \log p_{ij}$$

当某个指标下各个对象的贡献度趋于一致时, E_j 趋于 1, 而贡献度一致, 说明该指标在评价所有的对象时可有可无, 当 $E_i = 1$ 时, 则指标权重为 0 定义 d_j 为指标下 I_j 的贡献度一致性: $d_j = 1 - E_j$ (其中 $j = 1, 2, \dots, m$), d_j 是指标 I_j 对识别起作用大小的“确定性”度量, 称 d_j 是指标 I_j 的峰值。当 $d_j = 0$ 时, 一致性程度最高, 指标 I_j 的权重取为 0 其他指标可用 W_j° 公式求得权重, 权重为客观权向量: $W^\circ = (W_1^\circ, W_2^\circ, \dots, W_m^\circ)$ 。

$$W_j^\circ = d_j / \sum_{i=1}^m d_i$$

2.2 数据来源与处理

遥感数据处理: 生态安全评价中自然组分和景观生态指数所用土地类别指标数据来自于两期遥感影像, 包括 1986年 Landsat TM 2, 3, 4和 2000年 Landsat ETM + 2, 3, 4波段组合的标准假彩色合成影像, 时相为夏季, 包含了足够的地表植被、水文、土质、地形地貌等信息。遥感影像处理过程: 首先将 1974年出版的国家标准全要素地形图《甘肃省地形图》进行扫描叠加, 影像经过正射纠正形成折射影像, 取 1:10万图幅为单位的小幅影像, 以 ARC/INFO 为交互式解译界面进行数字化, 勾绘土地利用类型的矢量数据, 再修改逻辑错误、创建拓扑关系, 从而得到研究区域所需景观生态土地类别信息动态变化数据, 精度为 0.5个像元 (每个像元为 30m × 30m), 由于研究范围涉及 19个县市, 精度足够保障研究使用。解译分为两级, 一级包括耕地、林地、草地、水域、城乡工矿建设、未利用土地 6类, 并在此基础上按照土地经营方式、性质、辨别难易程度、覆盖特征等区分二级土地 29类, 论文采用第一级别 6大类数据。

其他数据来源: 多年平均降水量和多年平均蒸发量, 来自于甘肃省 57个站点 1961-1990年的观测数据在 ARCGIS 下进行空间插值, 把点的数据转换成面状数据; 水土流失率根据《甘肃省水土流失防治规划》《甘肃省水土保持区划》内数据和图表在 GIS 下综合提取得到; 其他经济数据来源于各年甘肃统计年鉴和各地统计年鉴, 其中, 1986年社会经济数据不够完整, 采用相关指标代替: 人均 GDP 采用人均工农业生产总值代替, 1986年农村人口素质中采用初中以上人口在农村就业中的比重来代替; 另外, 2000年的城镇化率与 1986年有所不同。

2.3 权重计算和指标分级

数据标准化中: 指标对研究区域数值越大越能体现安全值采用: $Y_i = (X_i - \min X_i) / (\max X_i - \min X_i)$; 指标对研究区域数值越小越能体现安全值采用: $Y_i = (\max X_i - X_i) / (\max X_i - \min X_i)$ 。数据标准化后采用以下公式得出评价地区的生态安全评分:

$$p = \sum_{i=1}^{23} W_i \times Y_i$$

式中, Y_i 为各个因子标准化后分值

利用熵值, 得到表 1所示因子权重:

表 1 因子权重得分

Table 1 Weight value of assessing indices

指标	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8	D_9	D_{10}	D_{11}	D_{12}
W_i	0.047	0.028	0.055	0.031	0.059	0.048	0.052	0.041	0.036	0.033	0.049	0.035
指标	D_{13}	D_{14}	D_{15}	D_{16}	D_{17}	D_{18}	D_{19}	D_{20}	D_{21}	D_{22}	D_{23}	
W_i	0.052	0.032	0.039	0.034	0.065	0.062	0.052	0.028	0.042	0.039	0.041	

在生态安全评价中,对评价标准广泛征求专家意见,分为理想、良好、一般、较差和恶劣 5个等级(表 2),将各级结果作为生态安全评价与预警的主要度量基础,各子系统按照相应比例 5等分,得到各子系统的生态安全评分。

表 2 生态安全状况分级标准

Table 2 Gradation criteria of ecological security

等级(分值)	状态	指标特征
I (< 0.4)	重警、巨警状态 (恶劣状态)	生态系统服务功能几近崩溃,生态过程很难逆转。生态环境受到严重破坏,生态系统结构残缺不全,功能丧失,生态恢复与重建很困难,生态环境问题很大并经常演变成生态灾害
II (0.4~ 0.6)	中警状态 (较差状态)	生态系统服务功能严重退化。生态环境受到较大破坏,生态系统结构破坏较大,功能退化且不全,受外界干扰后恢复困难,生态问题较大,生态灾害较多
III(0.6~ 0.8)	预警状态 (一般状态)	生态系统服务功能已有退化。生态环境受到一定破坏,生态系统结构有变化,尚可维持基本功能,受干扰后易恶化,生态问题显现,生态灾害时有发生
IV(0.8~ 0.9)	较安全状态 (良好状态)	生态系统服务功能较为完善。生态环境较少受到破坏,生态系统结构尚完整,功能尚好,一般干扰下可恢复,生态问题不显著,生态灾害不大
V (≥ 0.9)	安全状态 (理想状态)	生态系统服务功能基本完整。生态环境基本未受干扰破坏,生态系统结构完整,功能性强,系统恢复再生能力强,生态问题不显著,生态灾害少

3 生态安全评价

3.1 2000年生态安全状态评价

表 3 2000年甘肃中部地区生态安全状况

Table 3 Situation of ecological security in middle part of Gansu Province in 2000

地名	总得分	压力子系统	状态子系统	响应子系统	评价
兰州市	0.520	0.193	0.156	0.171	较差状态
永登县	0.530	0.227	0.212	0.091	较差状态
皋兰县	0.633	0.360	0.182	0.090	一般状态
榆中县	0.586	0.314	0.196	0.076	较差状态
白银市	0.514	0.242	0.156	0.116	较差状态
靖远县	0.554	0.290	0.174	0.091	较差状态
会宁县	0.525	0.279	0.182	0.065	较差状态
景泰县	0.581	0.338	0.135	0.108	较差状态
天祝藏族自治县	0.527	0.292	0.161	0.074	较差状态
定西市	0.533	0.261	0.208	0.064	较差状态
临洮县	0.528	0.262	0.199	0.068	较差状态
临夏市	0.383	0.202	0.105	0.076	恶劣状态
临夏县	0.511	0.321	0.142	0.048	较差状态
康乐县	0.477	0.286	0.145	0.045	较差状态
永靖县	0.612	0.411	0.146	0.055	一般状态
广河县	0.438	0.289	0.106	0.043	较差状态
和政县	0.461	0.295	0.121	0.046	较差状态
东乡族自治县	0.547	0.361	0.142	0.044	较差状态
积石山保安族东乡族撒拉族自治县	0.511	0.348	0.126	0.038	较差状态

2000年甘肃中部地区生态安全处于中警状态,发展具有不可持续性,这和国内学者采用生态足迹

得出的研究结果相一致^[7-8]。其中,皋兰县和永靖县处于预警状态,临夏市仅 0 382 6 处于重警状态(图 1)。结合人均水资源和 NDVI 指数分析,整体排序体现了经济状况相对较好、农业比较良好、绿化覆盖率较高、水资源相对丰富的县市生态安全性高。在区域内部生态安全分析具有以下特征:(1)核心城镇生态安全低于非核心城镇,兰州市区、白银市区、临夏市都处于甘肃中部地区整体得分中较差水平;(2)少数民族地区生态安全能力低于汉族地区,临夏州城镇除永靖外,大多处于生态安全较低层次,天祝藏族自治县为 0.5272 处于较差地区;(3)农业为主地区生态安全好于牧业地区,主要原因是牧业为主地区,多数处在流域上游山地丘陵地区,主要是林地质量较好,草地质量较低,畜牧业没有形成产业化,农民人均纯收入并不高,远远低于农业发达地区;(4)工矿业城市生态安全等级低于农业为主地区,白银市区是工矿业城市,对周边环境生态环境工业污染影响较大,城市环境质量较差。

压力子系统中,兰州市和临夏市面临巨大的人口、污染压力;永靖、皋兰、东乡生态压力较小,水体的贡献率明显,其余地区均存在过度垦殖和草地大量超载的生存压力,其中康乐、广河、和政的草地严重超载;状态子系统中,永登、榆中、定西、临洮处于良好状态,永登吐鲁沟,榆中兴隆山天然林地的大面积分布,农村人口素质水平和临近兰州市区使农村经济得到较快发展是其状态较好的主要原因,天祝林地较多,但农村居民生活整体水平较低,状态影响明显,临夏市园林绿地面积太少,广河农村经济严重滞后造成状态较差。

响应子系统中兰州市区处于理想状态,积石山为恶劣状态,整体上大多数地区处于较差状态。水土流失是整个区域最为严重的问题,水蚀模数一般在 2 000~6 000 t/km²,定西、临夏州部分地区高达 3 000~7 000 t/km²,其中,兰州市、白银市、定西市、靖远南部水土流失率达到 98.22%;积石山、东乡同时成为泥石流灾害多发地带。面域经济中,2000年临夏州人均 GDP 仅 1 435元,多数地区农牧业粗放经营,对自然环境依赖性大;同时,人均 GDP 西固区是东乡县的 35.2 倍,兰州市是临夏州的 7.5 倍,严峻的自然状态、区域发展的极度不均造成了区域灾害抵御能力空间不平衡和生态响应能力弱化。

3.2 1986-2000年生态安全格局变化

3.2.1 1986-2000年生态安全格局整体状况变化如下(图 2)。

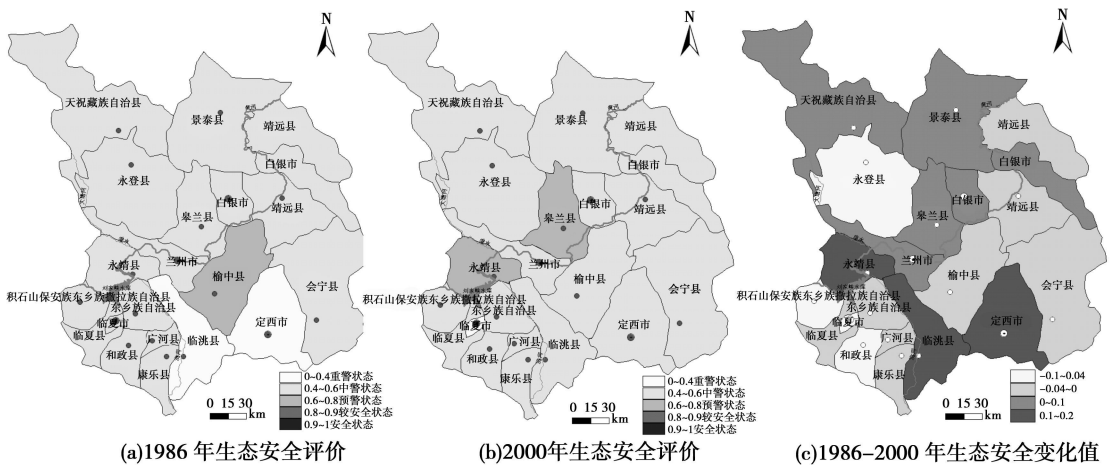


图 2 1986-2000年生态安全状态变化示意图

Fig. 2 Change of ecological security situation from 1986 to 2000

1986-2000年,兰州中部地区生态安全状态变化不大,出现弱恶化的趋势(19个县市中,11个县市生态安全状况有微小恶化趋势)。优化最显著的是定西市、临洮县和永靖县,得分增加 0 145 6 0 130 2和 0 109 0 恶化显著的为临夏回族自治州的县市,其中临夏市、积石山达到 -0 093 6 -0 066 9 空间分布上核心城市兰州市、白银市、定西市出现了生态安全得到优化,核心城市边缘,景泰县、天祝藏族自治县和皋兰县的生态安全状况同时得到好转,对兰州都市圈外围生态环境的建设提供较好的示范效应。

压力子系统中,1986年土地压力、水资源压力和污染压力明显小于 2000年,临夏市、兰州市压力较 2000年减轻 0 023和 0 037,变化显著;状态子系统各类指数社会经济指数分别下降了 0 02~0 05 在响应子系统中,整体上响应得分略为提高,主要集中在农民纯收入、人均 GDP 增长和城镇化率的提高。

子系统各要素中,皋兰、景泰、康乐、广河、东乡和积石山的非农人口增幅达到 100%~200%,榆中、皋兰、景泰县、靖远县农民人均收入增加了几乎 4~6 倍,现代农业的快速发展逐步改变这些地区以往的粗放的

生产方式。15 a来人均水资源拥有量、草地超载量没有得到显著的改善,定西、会宁、康乐的人均水资源分别减少 20~ 50 m³,水资源紧张状况愈加明显;与此同时,官兴岔、石家岔、关川河流域及九华沟综合治理,黄冶工程、国债项目以及国家生态环境建设项目明显改善水土流失状况,到 2000年,定西市 52.3%的水土流失面积得到初步治理,但整个地区水土流失状况依旧十分严峻。

3.2.2 景观生态格局变化对生态安全状况的解释

面域整体评分不能深入地反映整个地区的生态安全状况的变化的内在机理,土地利用变化和相应的景观指数变化为 15 a来甘肃中部地区的生态安全状态提供了进一步的辅助分析手段。其中,景观组分的变化反映了景观动态的总体特征,而景观结构的分析有助于理解和分析景观生态过程的变化。1986–2000年,土地利用转移概率矩阵中(表 4),城乡工矿建设用地、耕地、林地相应增加,其余类别不同程度的减少,变化幅度小,城乡工矿建设用地增加 87.765 km²,增长幅度达到 9.45%,耕地增加 32.563 km²,面积变化幅度为 0.21%,显示在城乡建设的进程中,耕地不但没有减少,而且稳中有升,通过置换耕地和荒地垦殖,切实做到了保护耕地。林地增加幅度为 0.20%。在甘肃中部地区林地和草地为主的植被响应减少 120 km²,对比谢高地^[9]等根据中国土地利用现状图(中国资源环境数据库,1996)得出的甘肃植被恢复重建面积,温带丛生禾草草原植被面积 7.92 × 10⁴ hm²,温带、亚热带落叶灌木、矮林 5.01 × 10⁴ hm²,温带山地丛生禾草草原植被 3.24 × 10⁴ hm²,温带矮半灌木荒漠植被 2.65 × 10⁴ hm²,植被减少面积数目惊人,主要开垦为耕地和城乡工矿居民用地的征用,不可忽视的是土地荒漠化造成草地绝对数量上的减少。水域减少 0.60 km²,比例为 0.13%,地下水位的下降和用水量的增加使水体的绝对数量减少。

表 4 1986–2000年甘肃中部地区土地利用变化

Table 4 Change of land use in middle part of Gansu Province from 1986 through 2000

1986年	2000年增加面积 /km ²					
	耕地	林地	草地	水域	城乡工矿建设	未利用土地
耕地	-	4.89	5.43	0.6	84.13	0
林地	0.9	-	1.99	0	1.16	0
草地	128.39	9.98	-	0.33	6.51	0
水域	2.6	0	1.72	-	0.86	0
城乡工矿建设	0	0	0	0	-	0
未利用土地	1.84	0	0	0	0.65	-

景观异质数指数表明(表 5):1986–2000年,耕地、林地、未利用土地、水域破碎度具有缓慢的增大趋势,耕地、草地、水域斑块面积总体面积的减小,斑块平均面积的增大,出现边界复杂化,分布分散化趋势,说明景观结构开始明显的退化,在景观中各生态系统之间具有的各种功能联系断裂或连接性减少的现象^[3],这在某种程度上引起外来物种的入侵、改变生态系统结构、影响物质循环、降低生物多样性,逐步降低景观的干扰抵抗和恢复能力;城乡建设工矿为面积大大增加,斑块复杂度减小,平均面积变大,表明人类活动对自然界影响变得显著,草地、耕地、林地的大面积转化为建设用地带来了整个地区生态安全的不稳定性。

表 5 甘肃中部地区景观异质性指数

Table 5 Landscape heterogeneity indices in middle part of Gansu Province

土地利用类型	1986年			2000年		
	破碎度	分维度	平均斑块面积 /hm ²	破碎度	分维度	平均斑块面积 /hm ²
耕地	0.2048	1.4656	144.9	0.2052	1.4662	144.8801
林地	0.0699	1.4246	118.4698	0.0707	1.4248	117.3229
草地	0.3691	1.4882	155.8569	0.3691	1.4883	155.1702
水域	0.009	1.4109	96.2857	0.0092	1.4114	94.3973
城乡工矿建设	0.1067	1.423	16.1293	0.1169	1.4258	16.2482
未利用土地	0.0247	1.395	78.1249	0.0247	1.395	78.088

注:①破碎度 = $(N_p - a) / N_c$,分维度 = $2 \lg(p/4) / \lg A$, N_p 为景观各类斑块的总数, N_c 为景观数据矩阵的方格网中的格子总数, p 为斑块的周长, A 为斑块的面积, a 为具体斑块②:破碎度描述景观生境类型在给定时间里和给定性质上的破碎化程度,分维度表示斑块的自我相似性程度,自我相似性程度愈强,受干扰的程度越大,分维介于 1~2 之间,分维值 > 1 值越大说明斑块越复杂。

15 a来,甘肃中部地区生态安全总体得分变化和景观生态格局指数表明:近 15 a人类活动力度对甘肃中部地区明显加大,逐步改变了景观中的稳定成分(如不同的植被类型之间的变化)与不稳定成分(如水土流失),主要表现为土地覆盖景观或土地镶嵌类型的变化,对这种异质性程度低、格局粗粒化、稳定性差的西北内陆干旱半干旱区的景观无疑具有较大影响,生态安全状况逐步退化的主要原因在于整体上脆弱的生态本底、粗放的农业经营方式和较快的城镇化进程。

4 结论与讨论

(1) 2000年甘肃中部地区生态安全状态整体较差,近 15 a来自然因子本身对安全状态没有较大的扰动,但人类活动加剧了自然状态的退化;虽然西部大开发带来的生态建设工程如退耕还林还草,以及节水农业、都市农业等,对当地环境保护和经济建设起到了一定积极的作用,但生态安全仍然显示进一步弱化趋势。

(2)景观指数表明,人类活动促使草地、耕地、林地的大面积转化为建设用地带来了整个地区生态安全的不稳定性,对异质性程度低、格局粗粒化、稳定性差的西北内陆干旱半干旱区的景观起到深远的影响,弱化了景观中的稳定因子和强化了不稳定因子(水土流失等)。

(3)景观生态评价中,影响区域生态安全的要素除景观退化状态、区域退化景观格局、外围区域生态状态之外,还需要涉及生态战略点(对区域生态有重要控制的地方,如水源地)、生态危害带(地质灾害多发区、风沙通道、污染物扩散路径等)之间的相互关系^[10],同时需要强化对不同层次的格局~尺度相互关系进行探讨,才能深入了解区域生态安全的内在机理。

参考文献:

- [1] 肖笃宁,陈文波,郭福良.论生态安全的基本概念和研究内容[J].应用生态学报,2002,13(3):354-358
- [2] 王根绪,程国栋,钱鞠.生态安全评价研究中的若干问题[J].应用生态学报,2003,14(9):1551-1556
- [3] 关文彬,谢春华,马克明,等.景观生态恢复与重建是区域生态安全格局构建的关键途径[J].生态学报,2003,23(1):64-73
- [4] 肖荣波,欧阳志云,韩艺师,等.海南岛生态安全评价[J].自然资源学报,2004,19(6):769-775
- [5] RANER WALZ. Development of environmental indicator systems experiences from germany[J]. Environmental Management, 2000, 25(6): 613-623.
- [6] 张秀英,赵传燕.基于GIS的陇中黄土高原潜在生态环境评价研究[J].兰州大学学报(自然科学版),2003,39(6):73-76
- [7] 徐中民,张志强,程国栋.甘肃1998年生态足迹计算与分析[J].地理学报,2000,55(5):607-616
- [8] 岳东霞,李自珍,惠苍.甘肃省生态足迹和生态承载力发展趋势研究[J].西北植物学报,2004,24(3):454-463
- [9] 谢高地,于贵瑞,冷允法,等.中国西部植被恢复重建空间格局分析[J].山地学报,2002,20(6):666-672
- [10] 张百平等.区域生态安全研究的科学基础与初步框架[J].地理科学进展,2005,24(6):1-7