

黄河源区玛多县湿地生态健康评价

赵串串, 张愉笛, 张 藜, 王 媛

(陕西科技大学环境科学与工程学院, 西安 710021)

摘 要: 玛多县作为“母亲河”黄河的发源地, 其健康状况直接影响全国范围内生态系统的正常运作, 近年来, 出现大量生态问题, 如水土流失。以黄河源区玛多县为研究对象, 获取 1988 年与 2013 年 LANDSAT 遥感影像, 运用景观格局理论, 基于 ENVI、ArcGIS 和 FRAGSTATS 等软件完成 NDVI 提取, 湿地类型分类, 景观格局指数计算等操作, 最后, 构建活力-组织力-弹力-生态系统服务功能组成的评价指标体系, 采用层次分析法对各指标进行权重赋值, 计算 1988 年与 2013 年景观生态健康值, 并进行分析。结果表明: (1) 玛多县 2013 年健康值为 0.53, 低于 1988 年健康值, 处于亚健康状态; (2) 玛多县 2013 年活力指标大幅度下降, 植被覆盖度减少, 多样性降低, 使得玛多县生态系统的物质基础薄弱, 影响其生态健康; (3) 玛多县景观组织破碎化严重, AI 与 CI 发生不同程度降低, 影响生态系统物质交换和能量循环; (4) 玛多县近年来湿地萎缩明显, 蓄水总量降低, 加之黄河出现断流, 亟需采取措施进行改善。

关键词: 黄河源区; 玛多县; 生态健康; 评价; 景观格局指数; 层次分析

中图分类号: X826

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2017)01-0108-06

Ecological health evaluation of Madoi county, the source region of the Yellow River

ZHAO Chuanchuan, ZHANG Yudi, ZHANG Li, WANG Yuan

(School of Environmental Science and Engineering, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021)

Abstract: Madoi is the cradle of the Yellow River, playing a pivotal role in the operation of nationwide ecosystem. In recent years, a large number of the ecological problems including soil erosion occurred in Madoi county. Based on the remote sensing images that were taken in 1988 and 2013 and the landscape theory, NDVI extraction, wetland classification, and calculation of landscape pattern indices of Madoi county were completed using ENVI, ArcGIS and Fragstats. An evaluation system consisted of vigor, organization, resilience and services was constructed to (AHP in index' weight given value) calculate and analyze the landscape ecological health values in 1988 and 2013. The results were as follows: (1) the health value of Madoi county was 0.53 in 2013, lower than that in 1988, being in a sub-health state; (2) compared with 1988, the vigor index of Madoi county was sharply decreased in 2013, and the coverage of vegetation and the diversity index were reduced, which made the material basis of Madoi county weaker, affecting its ecological health; (3) the fragmentation degree of landscape organization was severe in Madoi county, with AI and CI reduction to some extent, affecting the material exchange and energy circulation; (4) in recent years, the wetlands shrunked significantly in Madoi county, the total amount of water was reduced, and the Yellow River drying up; therefore, an appropriate action is urgent to address the serious situation.

Key words: Source region of Yellow River; Madoi county; ecological health; evaluation; landscape pattern index; AHP(analytic hierarchy process)

湿地是发育于水陆过渡地带的独特生态系统, 与森林、海洋并列为全球三大生态系统, 有“自然之肾”之称。湿地的功效极大丰富, 具有调节气候、净化水源、预防侵蚀及调控灾害等功效^[1]。近年来,

随着人类活动加剧, 植被退化、水土流失、湿地萎缩和水位下降等一系列生态问题接踵而至, 引起景观格局变化。玛多县作为黄河源头县, 是黄河流域的主要产流区和水源涵养区, 是黄河中下游地区可

收稿日期: 2015-12-29

基金项目: 青海省公益林监测横向项目资助。

作者简介: 赵串串, 副教授。E-mail: sxkjdxzcc@126.com

持续发展的重要生态屏障^[2]。本研究以黄河源区玛多县为研究对象, 对其进行景观格局分析与生态健康评价, 明确湿地自然生态状况, 为管理者和政府决策者提供参考和依据, 为后续进行生态状况模拟、生态规划和生态恢复提供前提。

近年来, 湿地生态健康评价已成为生态环境领域的热点问题, 研究方法多样, 蒋卫国等^[3]、朱卫红等^[4]和王树功等^[5]均运用压力-状态-响应模型建立指标体系; 吴良冰等人基于生态系统现状, 追踪其变化动态, 调查其生态功能, 展开评价^[6]; 崔保山等^[7]和付爱红等^[8]将其作为生态-经济-社会复合体开展研究, 卢媛媛等人采用内外层次综合法研究^[9], 孙才志等人从污染物流向层面研究其生态健康性^[10], 均从外界因素考虑。2006年, Vugteveen 提出一个健康的生态系统应既能维持系统结构稳定和功能完整, 又能满足社会需求^[11]。马克明在研究中提出生态系统不仅为人类提供了自然资源, 更提供了生存环境方面的各种服务功能, 而一个生态系统只有保持了结构的稳定性和功能的完整性, 并面对干扰具有抵抗能力和受到干扰后具有恢复能力, 才能长期为人类所用^[12]。方庆等人基于该理论, 构建了区域生态系统健康评价指标体系^[13]。本研究尝试从玛多县景观状态格局内在因素出发, 构建活力-组织力-弹力-系统服务评价指标体系, 开展生态健康评价。

1 研究区概况

玛多县地处 33°50'~35°40'N, 96°55'~99°20'E 之间, 位于青藏高原三江源核心区, 青海省南部, 是黄河的发源地, 其境内有 3 000 多个湖泊, 有“千湖之县”的美誉, 全县面积约 2.5 万 km², 平均海拔在 4 200 m 以上, 地势平坦, 空气稀薄, 气候寒冷, 年平均温度 -4℃, 年均降水量 305 mm 左右, 植被类型以草甸居多, 是一个纯牧业县^[14]。经统计全国第 2 次湿地普查数据, 玛多县包含湖泊湿地、河流湿地、沼泽湿地等湿地类型, 湖泊面积约占 75%, 是玛多县的主要成分, 主要包括扎陵湖、鄂陵湖和冬给措那湖等。

2 资料与方法

2.1 数据准备

本研究采用 1988 年与 2013 年 LANDSAT 遥感影像, 青海省 DEM 数据, 玛多县行政区划图, 玛多县水系分布图以及实地监测获取的相关数据。其中对于 LANDSAT 遥感影像, 筛选分布于 1988 年和 2013 年 6 月—8 月, 云量低于 10, LANDSAT5

和 LANDSAT8 数据分辨率均为 30 m, 便于比较。DEM 数据选用 SRTM90 mDEM 数据。

2.2 景观格局分析

利用行政区划图对 2 期影像分别进行预处理, 获得玛多县的遥感影像图。结合全国第 2 次湿地普查结论, 黄河源区玛多县共包括 3 种湿地类型, 同时鉴于玛多县经济方式以畜牧业为主, 因此将植被作为一个组成要素, 因此将玛多县划分为湖泊湿地、河流湿地、沼泽湿地、陆生植被和其他水体 5 个湿地类型, 利用 ArcGIS 软件基于 NDVI 公式数字化处理遥感影像, 获得玛多县斑块类型分布图, (图 1)。



图 1 玛多县斑块类型分布图

Figure 1 The distribution bitmap of Maduo county plaque type

基于 ENVI 软件, 提取玛多县 NDVI 数据, 运用 ArcGIS 中 zonal 控件将其输入图 1, 获得其中每一类斑块所对应的 NDVI 数据。

经研究, NDVI 具有显著划分不同地面覆盖物的功效, 当 $NDVI > 0$ 时, 表示覆盖物为植被; 当 $NDVI = 0$ 时, 表示覆盖物为岩石, 当 $NDVI < 0$ 时, 表示覆盖物为水体或者雨、雪等。但是在统计其中 NDVI 值时发现水体的 NDVI 值不完全小于 0, 通过建立 $NDVI_{max} < \text{某个值}$, 探究水体与植被的分界线, 利用从 -0.1~0.1 之间以 0.01 为一步运用试错法划分区界, 结果表明当该值为 0.08 时, 能显著区分主

要湖泊与干流，具体分类依据见表 1。同时利用 NDVI 指数能显著区分水体与非水体的特性，建立水体与非水体分类，对比分析 $NDVI=0.08$ 作为阈值的准确性，结果表明二者符合度高，可区分植被类型和水体类型。

以青海省林业规划院提供的湿地类型分布图为基准，将本研究所获得的湿地类型分类与其进行对比，以部分湿地类型为例，进行形状对比和面积对

比，其面积对比见表 2。

经验证，分类误差低于 15%。将该研究方法推广到青海湖周围，下载 1 景能包括青海湖全貌的影像进行水体与植被分界线的探究，建立 $NDVI_{max} <$ 某个值，进行从 $-0.1 \sim 0.1$ 之间以 0.01 为一步的试错法进行探究，结果表明当 $NDVI_{max} < 0.08$ 时，刚好区分出青海湖全貌，验证结果表明 0.08 作为阈值来划分三江源区水体与植被的方法具备可操作性。

表 1 玛多县湿地斑块分类

Table 1 Basis of Madio County wetland sort

斑块类型 Class of patches	分类依据 Classification basis
湖泊 Lakes	人工解译 Artificial visual interpretation
河流 Rivers	人工解译 Artificial visual interpretation
沼泽化草甸 Swamp	$NDVI_{min} < 0.08, NDVI_{max} > 0.08$
高覆盖植被（简称植被）Vegetation	$NDVI_{min} > 0.08, NDVI_{max} > 0.08$
其他水体 Other water bodies	$NDVI_{min} < 0.08, NDVI_{max} < 0.08$

表 2 玛多县湖泊湿地提取面积与实地面积对比

Table 2 The comparison table of extracted area of lake and the actual areas of lake

斑块名称 Plaque name	提取面积/hm ² Extraction area	实地面积/hm ² Field area	误差/% Error
扎陵湖 Zhaling Lake	53 180	53 243	1
鄂陵湖 Eling Lake	67 630	59 623	13
隆热错湖 Longrecuo Lake	1 851	1 919	4
阿涌贡玛错 Ayonggongmacuo Lake	2 893	2 738	6
阿涌哇玛错 Ayongwamacuo Lake	3 025	3 528	14
阿涌尕玛错 Ayonggamacuo Lake	2 228	2 134	4
岗纳格玛错 Gangnagemacuo Lake	3 276	3 520	7
日格错岔玛 Rigecuochema Lake	1 479	1 589	7
尕拉拉错 Galalacuo Lake	2 237	2 213	1
冬给措纳湖 Donggecuona Lake	23 622	23 494	8

注：实地面积由青海省林业局提供。Note: The data of the actual areas were provided by Qinghai Province Forestry Bureau.

2.3 景观生态健康评价

2.3.1 评价指标体系的构建 景观生态健康评价的对象是由多种生态系统在地域空间上构成的景观镶嵌体，并非单一的系统，因此景观格局指数适用于评价景观生态健康。本研究在美国生态学家 Rapport 提出的生态系统健康八大指标基础上^[15]，结合玛多县生态环境现状，包括人口数量等，采用活力-组织力-弹力-生态系统服务构成评价指标体系。其中活力揭示了整个生态系统的初级生产力，是生态系统最基本的物质基础^[16]，主要选用与光合作用具有极大相关性的 NDVI 数据来表征；组织力反映生态系统结构的复杂性，采用聚合度指数等景观格局指数来表征；弹力是指景观镶嵌体在胁迫下维持其原状结构与功能的能力，选用恢复力等指数表征；由于

湿地区最主要的生态功能是调洪蓄水^[17]，采用蓄水量表征其服务能力。评价指标体系，见图 2。

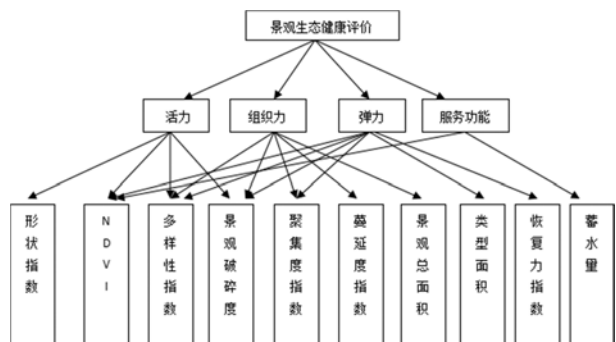


图 2 景观生态健康评价指标体系

Figure 2 Landscape ecological health evaluation system

表 3 景观格局指数解释
Table 3 Explanations for landscape indices

景观格局指数 Landscape index	公式 Formula	描述 Description
形状指数 (SI) Shape index	$S_i = P / \sqrt{\pi A}$	表示景观形状偏离圆形的程度
多样性指数 (SHDI) Diversity index	$SHDI = -\sum_{i=1}^m (P_i \times \ln P_i)$	表示景观中各类镶嵌体的复杂性和变异性
景观破碎度 (DIVISION) Fragmentation of landscape	$DIVISION = \left[1 - \sum_{j=1}^m \left(\frac{a_{ij}}{A} \right)^2 \right]$	表现为斑块数量增加而面积减少
蔓延度指数 (AI) Contagion index	$AI = \left[\frac{g_{ii}}{\max \rightarrow g_{ii}} \right] (100)$	表示斑块类型的聚集程度
聚集度指数 (CI) Cohesion index	$CONTAG = \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m (P_i) \left(\frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right)}{2 \ln(m)} \right] (100)$	景观里不同斑块类型的团聚程度或延展趋势
恢复力指数 Resilience index	$F = \sum_{i=1}^n \frac{S_i \times F_i}{S}$	表示各个斑块类型面对干扰的恢复能力
蓄水量 Water storage volume	$V = \sum_{i=1}^n S_i \times H_i$	玛多县湖泊蓄水深度为 10, 河流为 0.5, 沼泽为 1, 其他水体为 9.5

表 4 不同类型生态弹性赋值
Table 4 Flexible assignment of different ecological types of table

湿地类型 Wetland	分值 Score	说明 Explanation
湖泊 Lake	0.8~1	对维持生态系统弹性度、稳定性有极其重要的作用
河流 River	0.6~0.8	
其他水体 Other water bodies	0.4~0.6	
植被沼泽 Swamp vegetation	0.2~0.4	对维持生态系统弹性度有作用, 易退化导致弹性度下降
陆生植被 Land vegetation	0~0.2	

表 5 景观生态健康评价信息统计
Table 5 The results of landscape ecological health evaluation in 1988 and 2013

指标 Index	活力 Vigor	组织力 Organization	弹力 Resilience	服务功能 Service	总权重 Wi	指标取值 Value	
	0.5579	0.2633	0.1219	0.0569	Aggregate weighting	1988 年	2013 年
NDVI	0.5579	—	0.2538	0.25	0.3564	0.21	0.09
形状指数 Shape index (SI)	0.1219	—	—	—	0.068	1.28	1.27
多样性指数 Diversity index (SHDI)	0.2633	0.1344	0.0757	—	0.1915	1.04	0.72
破碎度指数 Fragmentation index (DIVISION)	0.0569	0.0348	0.0492	—	0.0469	0.89	0.79
聚集度指数 Cohesion index (AI)	—	0.5028	0.1189	—	0.1469	68.8	78.72
蔓延度指数 Contagion index (CI)	—	0.2602	—	—	0.0685	92.04	95.28
景观总面积/hm ² TA	—	0.0678	—	—	0.0178	251 123.22	195 042.87
恢复力指数 Resilience index	—	—	0.5023	—	0.0612	0.75	0.83
蓄水总量 Water reservoirs	—	—	—	0.75	0.0472	2 117 329.29	1 735 302.24
生态健康值 Ecosystem health						0.63	0.53

2.3.2 评价指标数据的获取 将湿地类型分布图输入 FRAGSTATS 软件中计算以上 10 个景观格局指

数, 各指数计算公式及含义见表 3, 其中 P 表示斑块周长, S 为景观总面积, A 表示斑块面积, S_i 为 i

类型的面积, P_i 为类型 i 在整个景观中所占的比例, m 表示景观中所有的斑块数量, a_{ij} 表示斑块 ij 的面积, g_{ii} 表示单一类型 i 相邻的斑块数, g_{ik} 表示类型 i 与类型 k 之间相邻的斑块数, F_i 为 i 类型的弹性度分值, V 表示斑块类型蓄水总容量, H_i 为斑块类型 i 的蓄水深度。采用 ENVI 软件提取 NDVI 数据。根据各个斑块类型对维持生态系统弹性功能的作用强度取弹性值, 计算恢复力指数, 参考张帅等^[18]和刘明华等的研究^[19], 对黄河源区玛多县的弹性进行取值, 其结果见表 4。其中, 湖泊、河流和其他水体 3 部分占据黄河源区玛多县的主要部分, 其生态弹性状况与整体生态系统生态状况息息相关, 同时水体的生态弹性值相对于植被更具有稳定性, 因此本研究针对水体面积百分比顺序对湖泊、河流和其他水体进行赋值。而植被易退化, 且在源区中占据少数, 因此其对黄河源区玛多县弹性的贡献较小。

采用层次分析法对评价指标体系指标进行权重计算, 利用综合指数法将指数进行加权计算, 计算见公式 (1)。

$$E = \sum_{i=1}^n V_i \cdot W_i \quad (1)$$

其中, E 表示玛多县景观生态健康值, V_i 表示玛多县景观生态健康指标体系数值, W_i 表示玛多县景观生态健康指标体系指标权重。

3 结果与分析

3.1 景观生态健康评价

运用层次分析法计算权重, 与 1988 年与 2013 年指标数值加权得到玛多县 1988 年与 2013 年生态健康值 (表 5)。结果表明, 1988 年景观生态健康值为 0.63, 2013 年为 0.53。

参考国内外生态健康评价指标体系标准^[13,20], 确定研究区域景观生态健康评价标准, 共划分为 5 个等级, 分别是很健康 (>0.8)、健康 ($0.6 \sim 0.8$)、亚健康 ($0.4 \sim 0.6$)、不健康 ($0.2 \sim 0.4$)、病态 ($0 \sim 0.2$)。

对比评价标准, 1988 年玛多县处于健康状态, 景观生态结构较合理, 活力较强, 外界压力小, 系统尚稳定, 功能较完善。2013 年玛多县景观生态处于亚健康状态。不同指标在 1988 年与 2013 年变化明显。相比 1988 年, 2013 年聚集度指数和恢复力指数有所增加, 其他指数均在减少, 玛多县处于退化阶层。

对于不同指标权重, 玛多县景观生态健康评价指标体系中, NDVI 的权重值最高, 植被是陆地表

面最突出的土地覆盖类型, 其变化对物质生物化学循环以及能量循环产生重要影响, 因此 NDVI 对于活力、组织力、恢复力、服务功能四大指标均有显著作用。多样性指数和聚集度指数的贡献度, 权重仅次于 NDVI。

3.2 生态健康状况影响因素分析

玛多县景观生态健康评价通过活力-组织力-弹力-生态系统服务四个指标完成。

(1) 活力: 2013 年陆生植被 NDVI 值为 0.09, 明显低于 1988 年数值 0.21, 植被发生严重退化, 覆盖度大大降低, 由于玛多县是一个纯牧业县, 放牧是其主要生产经营活动, 近年来的过牧现象, 对其草甸生长造成严重破坏, 另一方面, 近 30 年来, 玛多县气温不断升高, 降水量逐渐减少, 影响植被正常生长; SHDI 由 1.04 降至 0.72, 不同景观类型之间相互作用强度逐渐减弱, 物质交换与能量循环衰退。总体而言, 活力指数下降明显, 物质基础趋向薄弱。

(2) 组织力: CI 减小, 说明玛多县整体聚合度降低, 排布趋向于分散, 不利于生态过程与景观活动正常进行。与 1988 年相比, 2013 年针对斑块类型的植被 AI 值增大, 水体 AI 值减小, 由于牧民放牧范围与强度的增大, 造成种子传播力度变大; 另一方面, 近几年玛多县湿地萎缩严重, 均造成组织结构的破碎化。

(3) 弹力: 水体面积增多, 植被面积减少, 综合加权乘积增大, 恢复力指数增大, 但植被类型面积减少过多, 弹性较小, 亟需改善。

(4) 生态系统服务: 2013 年蓄水总量相比 1988 年大幅度减少, 生态服务功能降低显著, 近年来, 黄河断流现象不断出现, 与蓄水量降低显著相关, 迫切需要进行改善。

4 讨论与结论

2013 年玛多县生态健康值为 0.53, 低于 1988 年, 整体处于亚健康状态。与 1998 年数据相比, 玛多县活力指数下降明显, 其中 NDVI 指标下降显著, 香农多样性指数降低, 不同景观类型相互作用减弱, 使得生态系统物质基础薄弱, 组织结构破碎化严重, AI 指数与 CI 指数发生不同程度的降低, 影响生态系统物质交换和能力循环, 同时生态系统服务功能有减弱趋势。另一方面, 玛多县近年来湿地萎缩明显, 蓄水总量降低, 加之黄河出现断流, 急需采取措施进行改善。

对此, 有关部门应合理规划水库等地理位置,

在特定季节增加河流径流量, 大力开展植树造林活动, 增加源区植被面积, 有效调控源区水资源分布和植被分布, 同时构造湿地类型优势斑块, 进而在源区涵养水源, 调节小气候等方面发挥功效。

参考文献:

- [1] 韦翠珍, 张佳宝, 周凌云. 沿黄河下游湖泊湿地植物群落演替及其多样性研究[J]. 生态环境学报, 2011, 20(1): 30-36.
- [2] 师江澜, 史纪安, 杨改河, 等. 黄河源区玛多县土地利用时空格局分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(5): 147-153.
- [3] 蒋卫国, 李京, 李加洪, 等. 辽河三角洲湿地生态系统健康评价[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 408-414.
- [4] 朱卫红, 郭艳丽, 孙鹏, 等. 图们江下游湿地生态系统健康评价[J]. 生态学报, 2012, 32(21): 6609-6618.
- [5] 王树功, 郑耀辉, 彭逸生, 等. 珠江口淇澳岛红树林湿地生态系统健康评价[J]. 应用生态学报, 2010, 21(2): 391-398.
- [6] 吴良冰, 张华, 孙毅, 等. 湿地生态系统健康评价研究进展[J]. 中国农村水利水电, 2009(10): 22-26.
- [7] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态系统健康评价指标体系 I. 理论[J]. 生态学报, 2002, 22(7): 1005-1011.
- [8] 付爱红, 陈亚宁, 李卫红. 塔里木河流域生态系统健康评价[J]. 生态学报, 2009, 29(5): 2418-2426.
- [9] 卢媛媛, 郭红娟, 吕晋, 等. 武汉市浅水湖泊生态系统健康评价[J]. 环境科学与技术, 2006, 29(9): 66-68.
- [10] 孙才志, 刘玉玉. 地下水生态系统健康评价指标体系的构建[J]. 生态学报, 2009, 29(10): 5665-5674.
- [11] VUGTEVEEN P, LEUVEN R, HUIJBREGTS M A J, et al. Redefinition and elaboration of river ecosystem health: perspective for river management[J]. Hydrobiologia, 2006, 565: 289-308.
- [12] 马克明, 孔红梅, 关文彬, 等. 生态系统健康评价: 方法与方向[J]. 生态学报, 2001, 21(12): 2106-2116.
- [13] 方庆, 董增川, 刘晨, 等. 基于景观格局的区域生态系统健康评价—以滦河流域行政区为例[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(6): 37-41.
- [14] 田蓉, 曹春香, 马广仁, 等. 玛多县高原湿地变化及其驱动因素分析[J]. 湿地科学, 2011, 9(1): 61-68.
- [15] RAPPORT D J, COSTANZA R, MCMICHAEL A J. Assessing ecosystem health[J]. Trends Ecol Evol, 1998, 13(10): 397-402.
- [16] 张猛. 基于景观格局的生态系统健康评价-以洞庭湖湿地系统为例[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2014.
- [17] 王利花. 基于遥感技术的若尔盖高原地区湿地生态系统健康评价[D]. 长春: 吉林大学, 2007.
- [18] 张帅, 邵全琴, 刘纪远, 等. 黄河源区玛多县草地覆被变化分析[J]. 资源科学, 2008, 30(10): 1547-1554.
- [19] 刘明华, 董贵华. RS和GIS支持下的秦皇岛地区生态系统健康评价[J]. 地理研究, 2006, 25(5): 930-938.
- [20] 杨志峰, 隋欣. 基于生态系统健康的生态承载力评价[J]. 环境科学学报, 2005, 25(5): 586-594.