

DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2015-0502

张颖, 钞振华, 杨永顺, 徐维新, 马赫. 基于 PSR 模型的青海湖流域生态环境保护效果评价. 草业科学, 2016, 33(5): 851-860.

Zhang Y, Chao Z H, Yang Y S, Xu W X, Ma H. Effects of ecological environmental protection in Qinghai Lake basin based on PSR model. Pratacultural Science, 2016, 33(5): 851-860.

基于 PSR 模型的青海湖流域 生态环境保护效果评价

张颖^{1,2}, 钞振华¹, 杨永顺³, 徐维新⁴, 马赫¹

(1. 南通大学地理科学学院, 江苏 南通 226007; 2. 常州市金坛区不动产登记交易中心, 江苏 常州 213200;

3. 青海省环境监测中心站, 青海 西宁 810007; 4. 青海省气象科学研究所, 青海 西宁 810001)

摘要: 由于受人类活动与自然环境变化等综合因素的影响, 青海湖流域内生态环境的调节和自我恢复能力大幅下降, 流域生态安全问题严重。本研究利用 2002—2010 年的 MODIS NDVI 产品、青海湖流域气象数据、流域社会数据构建了“压力—状态—响应(PSR)”模型, 对青海湖流域生态环境保护效果进行评价研究。在此基础上, 利用层次分析法分析了青海湖流域自然资源和社会资源数据, 结果显示: 1) 2002—2008 年, 青海湖流域生态环境保护形势严峻, 植被退化面积是植被恢复面积的 2 倍以上。2008—2010 年, 环境治理工程实施之后, 恶化形势有所缓解, 恶化面积减少至与植被恢复面积持平。2) 实施治理工程之后, 青海湖流域的生态环境有所好转, 但是局部地区生态环境仍处于退化状态, 甚至有恶化趋势。天峻县和共和县分别有 3 415.36 和 2 324.57 km² 地区出现警戒状态, 分别占当地陆地面积的 25% 和 38%。较严重的是, 海晏县有 284.98 km² 地区的生态安全处于重度危险状态, 占当地陆地面积的 18%, 剩余地区都处于轻度危险状态。根据青海湖流域生态环境安全指数评价研究, 提出了减缓生态环境恶化的可行性措施和改进环境治理规划的建议。

关键词: 青海湖流域; 生态环境评价; PSR 模型; MODIS NDVI

中图分类号: X171.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-0629(2016)5-0851-10*

Effects of ecological environmental protection in Qinghai Lake basin based on PSR model

Zhang Ying^{1,2}, Chao Zhen-hua¹, Yang Yong-shun³, Xu Wei-xin⁴, Ma He¹

(1. College of Geographical Science, Nantong 226007, China;

2. Jintan Real Estate Registration Transaction Center, Changzhou 213200, China;

3. Qinghai Province Environmental Monitoring Centre, Xining 810007, China;

4. Institute of Qinghai Meteorological Science Research, Xining 810001, China)

Abstract: Due to human activities and the effects of natural factors such as environmental changes, ecological environmental regulation and self-recovery capability in Qinghai Lake basin, the ecological security problem was become seriously. Using MODIS NDVI product, meteorological data of four counties in Qinghai Lake basin and social data in 2010, this study built a “pressure—state—response (PSR)” model to evaluate the effect of the ecological environment protection of Qinghai Lake basin between 2002 and 2010. On this basis, this study extracted 11 natural resources and social resources data in Qinghai Lake basin to analyze the composite index by the analytic hierarchy process. The main conclusions are as follows. The ecological environment protection of

* 收稿日期: 2015-09-04 接受日期: 2016-01-04

基金项目: 国家自然科学基金项目“青藏高原植被变化空间异质性及其对气候变暖响应的模拟”(41061002); 南通市科技计划项目“基于 Web-GIS 和 Flex 架构的气象信息发布系统研究(BK2014058)”; 南通大学自然科学基金项目“基于 RS 和 GIS 的江苏省植被覆盖状况研究”

第一作者: 张颖(1993-), 女, 江苏常州人, 本科. E-mail: 443568303@qq.com

通信作者: 钞振华(1977-), 男, 河南新野人, 教授, 博士, 主要从事生态遥感研究. E-mail: chaozhenhua@ntu.edu.cn

Qinghai Lake basin was in serious condition, vegetation degradation area was more than 2 times of vegetation restoration area between 2002 and 2010. After the implementation of environmental engineering from 2008 to 2010, the situation was on the turn and the deterioration area reduced to the same as the vegetation restoration area. The ecological environment of Qinghai Lake basin had improved, but the regional ecological environment was still in degradation, or even worsen. The 3 415.36 km² area of Tianjun County was in alert status. The 2 324.57 km² area of Gonghe County was in alert status. They occupied a land area of 25% and 38%, respectively. More serious situation was found in Haiyan County, where 284.98 km² area region was in severe danger of ecological security and occupying a land area of 18%, the rest was in a state of mild risk. Finally, according to the results of evaluation, we put forward some suggestions to slow the progress of the ecological environment deterioration and improve the environmental governance planning advice.

Key words: Qinghai Lake basin; ecological environment evaluation; ‘P—S—R’ framework model; MODIS NDVI

Corresponding author: Chao Zhen-hua E-mail: chaozhenhua@lzb.ac.cn

青海湖位于青海省东北部的青海湖盆地内,是中国最大的内陆高原咸水湖,是维系青藏高原东北部生态安全的重要水体,控制着西部荒漠化向东蔓延的天然屏障^[1-4]。由于受人类活动与自然环境变化等综合因素的影响,青海湖流域内生态环境的调节和自我恢复能力大幅下降,引发了严重的流域生态安全问题^[5-7],主要表现为沼泽和湿地面积萎缩、草地退化及沙化现象严重等。青海湖流域的生态环境特征及其演变在很大程度上反映了青藏高原整体生态环境的变化趋势。国内外众多学者就青海湖流域的生态环境问题展开了深入研究,并提出了减缓环境恶化的可行性措施^[8-9]。白艳芬等^[10]从生态环境脆弱性的影响因子和脆弱性形成的结果表现入手,通过遥感与GIS技术提取了植被指数等8项生态因子作为评价指标,计算并评价了环青海湖地区综合脆弱度。展秀丽等^[11]开展了基于环境变化的流域综合整治类型区的多级划分,提出各类型区生态与环境治理的基本思路与方向。但针对青海湖流域生态环境的评价研究,主要采用定性描述与综合评价为主,对生态环境的认识具有片面性,也无法深入了解青海湖流域的生态环境问题。

作为连接气象因素、水和土壤的自然纽带,植被在土壤保持、大气调节、气候维护和整个生态稳定性等方面作用显著。地表植被覆盖的变化影响区域生态系统平衡,因此,研究植被覆盖变化是生态环境保护的基础^[12],遥感已成为植被动态变化监测最为重要和最有效的工具^[13-15]。青海湖流域属于高寒草地生态系统,草地退化状况是反映该流域生态环境状况的有效指标,以青海湖流域退化草地为对象进行的时空变化研究相对较少^[16],此外,Harris^[17]认为,目前实行的监测

计划主观性太强且缺乏详尽的记录,所以包括青海湖流域在内的青藏高原草地退化程度和量级仍然不是很明确。自2000年以来,在青海湖流域实施了退耕还林还草和生态环境保护与综合治理项目,生态保护效果显著,但缺乏对生态环境保护定性和定量相结合的深入评价。Pressure(压力)—State(状态)—Response(响应)模型主要用于评估自然资源利用和可持续发展的模式,以压力指标、状态指标和响应指标3类指标表征,能全面系统地反映生态系统中自然、经济、社会之间相互作用的因果关系,已成功用于不同的空间尺度和生态范畴研究^[18-20]。在PSR模型中,压力指标表征了人类活动对环境的破坏和扰动作用;状态指标表征特定时间阶段的环境状态和环境变化情况;响应指标主要表征了人类活动对环境不利现状所作出的积极响应及对已经发生的不利因素进行补救的措施。采用遥感技术、地理信息系统以及数据分析工具三者结合的综合研究方法,能很好地解决人类对生态安全的深入认识和评价精度之间的矛盾^[21]。因此,本研究收集MODIS植被指数产品、气象数据及社会数据等,利用压力—状态—响应(PSR)框架模型评价青海湖流域生态环境保护效果。

1 研究区概况

青海湖流域地处36°15′—38°20′N,97°50′—101°20′E,西北高、东南低,包括天峻、刚察全县和海晏县南部、共和县北部地区(图1),总面积为29 661 km²,海拔在3 194~5 174 m。该流域位于我国东南部暖湿季风区和西北部寒流区的交汇地带,同时也受西南部高寒区的影响,并有青海湖自身的水体效

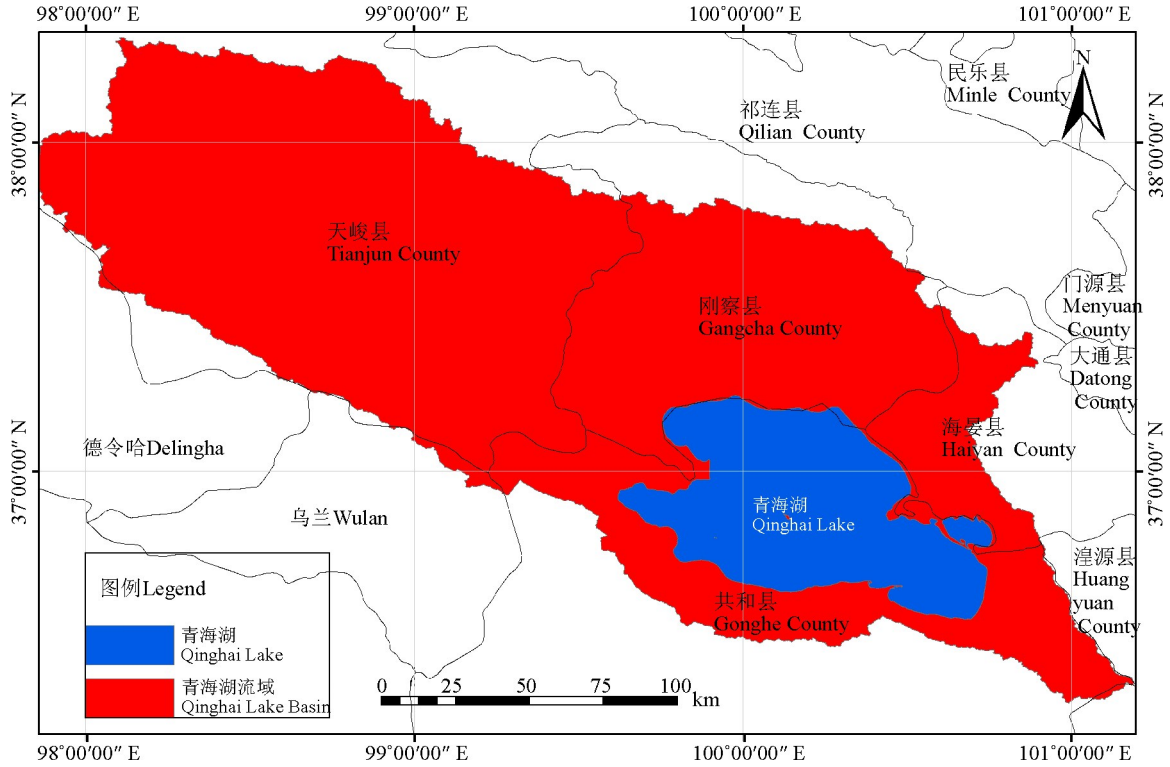


图 1 研究区地理位置

Fig.1 Location of the Qinghai Lake basin

应,形成寒冷期长、温暖期短、四季不分明、干旱少雨、太阳辐射强烈、气温日较差大等气候特征。

2 数据与研究方法

2.1 数据

2.1.1 MODIS NDVI 遥感数据 本研究下载了 2002、2004、2007、2008 和 2010 年空间分辨率为 250 m 的 MODIS NDVI 16 d 合成产品,产品获取时间分别为每年 7 月 12 日、7 月 28 日,其中 2004 和 2008 年的获取时间分别延后一天(http://modis.gsfc.nasa.gov/),将两期 16 d 合成产品进行平均值处理得到这 5 个年份 7 月平均 NDVI 数据,以有效去除云层等干扰造成的数据失真。在此基础上,以 2002 年为参考基准分别将 2004、2007、2008 和 2010 年 7 月平均 NDVI 数据与之相减,得到青海湖流域草地的时空变化。

2.1.2 青海湖流域的边界数据 本研究使用的青海湖流域边界数据主要来源于青海湖流域生态环境科学数据平台的数据共享(http://deep.qherc.org/)。

2.1.3 气象和社会数据 2002、2004、2007、2008 和 2010 年,青海湖流域刚察县、海晏县、共和县和天峻县逐日气温数据和降水量数据均来源于青海湖流域生态环境科学数据平台。2010 年流域内四县农牧民人口

密度、畜均草地面积、人均牲畜头数、湿地面积、沙化面积和农牧民人均纯收入、封山育林面积、环境污染治理投资等数据均来源于青海湖流域生态环境保护与综合治理工程 2010 年监测报告^[22]。

2.2 研究方法

在 PSR 框架中,以压力因子、状态因子和响应因子为目标层,分别将社会条件、经济要素、生态环境系统等方面选做指标类,本研究共选用了 11 项指标并在 P-S-R 框架上建立了青海湖流域生态环境评价指标体系(表 1)。

利用层次分析法(AHP)确定了 PSR 模型中各个指标的权重,定量评价青海湖流域生态环境保护效果。

3 研究区生态环境评价指标提取

3.1 草地变化信息提取

草地退化具体表现为草地生态系统的基本结构和固有功能的破坏或丧失,生物多样性下降,稳定性和抗逆能力减弱,草地系统生产力下降,但目前对草地退化的评估指标没有统一的体系和标准^[16]。参照李博^[23]和马玉寿等^[24]的研究成果,本研究从遥感监测草地变化的角度出发,结合青海湖流域草地类型实际情况,将 2002-2004 年、2002-2007 年、2002-2008

表1 青海湖流域生态环境评价指标体系

Table 1 The evaluation index system for ecological environment of the Qinghai Lake basin

目标层 Target layer	要素层 Feature layer	指标层 Indicator layer	生态因子 Ecological factor
青海湖流域生态环境 评价指数 Ecological environment of Qinghai Lake basin safety index evaluation	压力因子(P) Pressure	经济压力 Economic pressure	农牧民人口密度 Farmers and herdsmen population density
		资源压力 Resource pressures	畜均草地面积 Livestock are grassland area 人均牲畜头数 Per capita livestock
	状态因子(S) State	自然状态 Natural state	年平均气温 Annual average temperature 年降水量 Annual precipitation
		资源状态 Resource state	植被变化面积 Changes in vegetation area 湿地面积 Wetland area 沙化面积 Desertification area
	响应因子(R) Response	经济响应 Economic response	农牧民人均纯收入 Per capita net income of farmers and herdsmen
		环境响应 Environmental response	封山育林面积 Forest conservation area 环境污染治理投资 Environmental pollution control investment

年和2002—2010年青海湖流域的草地变化分为5个类别(表2),得到近年来青海湖流域植被覆盖空间变化情况(图2)。在此基础上,测算出不同草地变化类别面积的统计结果(图3)。

3.2 气象数据和社会统计数据

青海湖地处季风边缘地带,是气候变化响应的敏感区域,本研究收集统计了PSR框架中自然状态的气温和降水数据,即2002—2010年青海湖流域刚察县、海晏县、共和县和天峻县逐日气温数据和降水量数据(图4)。将收集整理的数据提取分类成压力和响应指标格式,利用ArcGIS软件生成与PSR模型相适应的数据格式。

3.3 指标评价

层次分析法(Alytic Hierarchy Process,简称AHP)把研究对象作为一个系统,按照分解、比较判断、综合的思维方式进行决策,它的一个重要特点就是用两两重要性程度之比的形式表示出两个方案的相应重要性程度等级。本研究主要利用层次分析法(AHP)确定了PSR模型中各个指标的权重,主要步骤如下。

3.3.1 数据标准化 由于数据来源不同,本研究对各类数据采用统一的量纲来衡量计算,采用了极差标准化和专家(青海省环境监测中心专家)认定方法处理指标。将草地变化分级为重度退化、轻度退化、基本不

表2 青海湖流域草地变化分级标准

Table 2 Classification criteria for the vegetation change in the Qinghai Lake Basin

植被变化等级 Vegetation change level	分级标准 Grading	植被变化程度 Vegetation in the degree of change
1	$-4\ 000 \leq NDVI < -1\ 500$	重度退化 Severe degradation
2	$-1\ 500 \leq NDVI < -150$	轻度退化 Mild degeneration
3	$-150 \leq NDVI < 150$	基本不变 Basically unchanged
4	$150 \leq NDVI < 1\ 500$	轻微好转 Slight improvement
5	$1\ 500 \leq NDVI \leq 6\ 000$	显著好转 Significant improvement

注:分级标准主要依据MODIS NDVI值。

Note: The grading standards are based primarily on MODIS NDVI values.

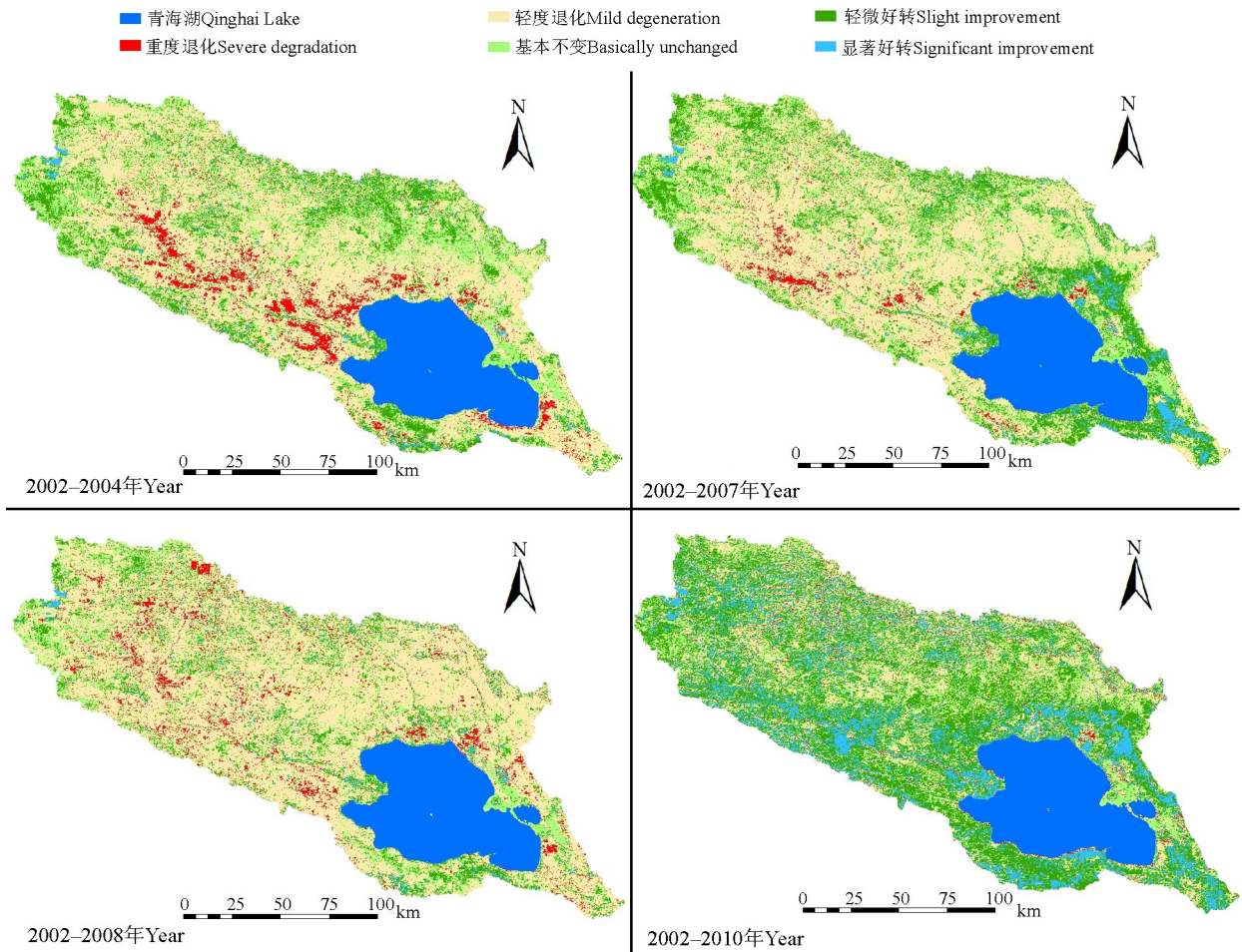


图 2 2002—2010 年青海湖流域植被覆盖空间变化图

Fig.2 Spatial variation of the vegetation in Qinghai Lake basin from 2002 to 2010

变、轻微好转、显著好转,分别赋值为 0、3、5、7、9。

极差标准化对指标的处理分为两部分:对生态环境有积极作用的指标,采用公式(1);对生态环境有消极作用的指标,采用公式(2)。

$$Y = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \times 10 \quad (1)$$

$$Y = \frac{X_{\max} - X_i}{X_{\max} - X_{\min}} \times 10 \quad (2)$$

其中,Y 代表标准化处理后的数据; X_i 表示各指标对应的各项数据; X_{\max} 表示各指标对应的数据最大值; X_{\min} 表示各指标对应的数据最小值。

除去草地变化是专家认定外,畜均草地面积、年平均气温、年降水量、湿地面积和封山育林面积 5 个指标是积极因素,值越大,生态环境安全指数就越高;余下的 5 个指标为消极因素,值越大表示流域内生态环境越糟糕。

3.3.2 构造 PSR 模型各指标的判断矩阵及计算层次总排序权重 目标层与准则层的判断矩阵如表 3。经

计算,该判断矩阵的最大特征根为 3.018 3,CI 为 0.009 1,CR 为 0.015 8,小于 0.1,满足判断矩阵的一致性,3 个指标的权重分别为 0.14、0.62 和 0.24(其中,CI 为检验判断矩阵的一致性指标,指标数值越大,表示判断矩阵的一致性越差;CR 为 CI 与同阶的平均随机一致性指标 RI 的比值,若数值小于 0.01,认为判断矩阵具有令人满意的一致性,否则需要调整判断矩阵,直至满意)。在压力层中 3 个指标进行相对重要性判断,以农牧民人口密度为基准点,农牧民人口密度、人均牲畜头数、畜均草地面积的重要性之比为 1 : 1/2 : 1/3。以人均牲畜头数为基准点,畜均草地面积与农牧民人口密度的重要性之比为 1 : 1。经计算,3 个指标的权重分别为 0.17、0.39 和 0.44。

在状态层中 5 个指标构造相应判断矩阵,根据各指标两两对比得到相对重要性判断。经计算,5 个指标分别为年平均气温、年降水量、植被变化量、湿地面积和土地沙化面积,对应的权重为 0.08、0.10、0.31、0.27 和 0.24。

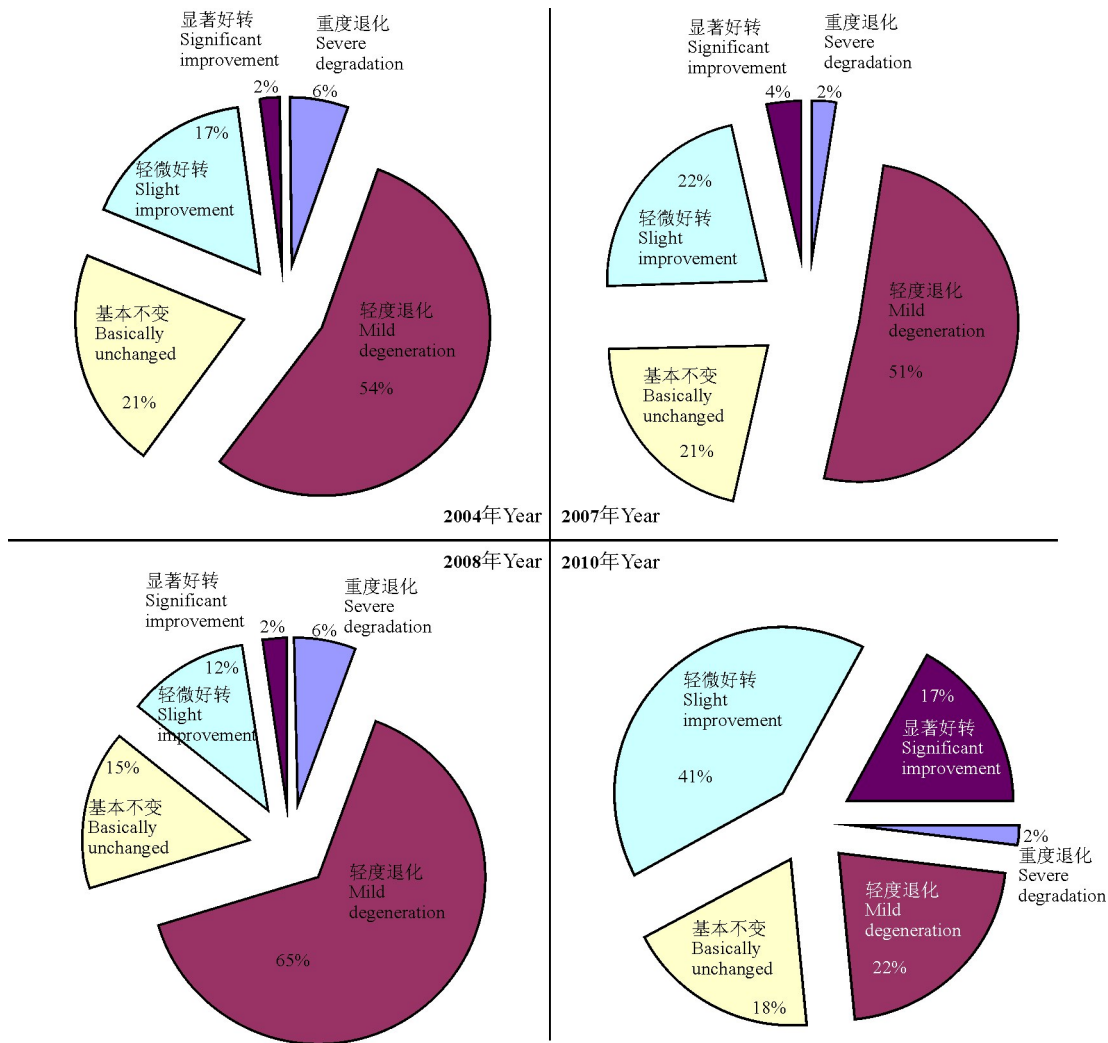


图3 2002—2010年青海湖流域植被变化情况统计

Fig.3 Statistical analysis of vegetation change in the Qinghai Lake Basin from 2002 to 2010

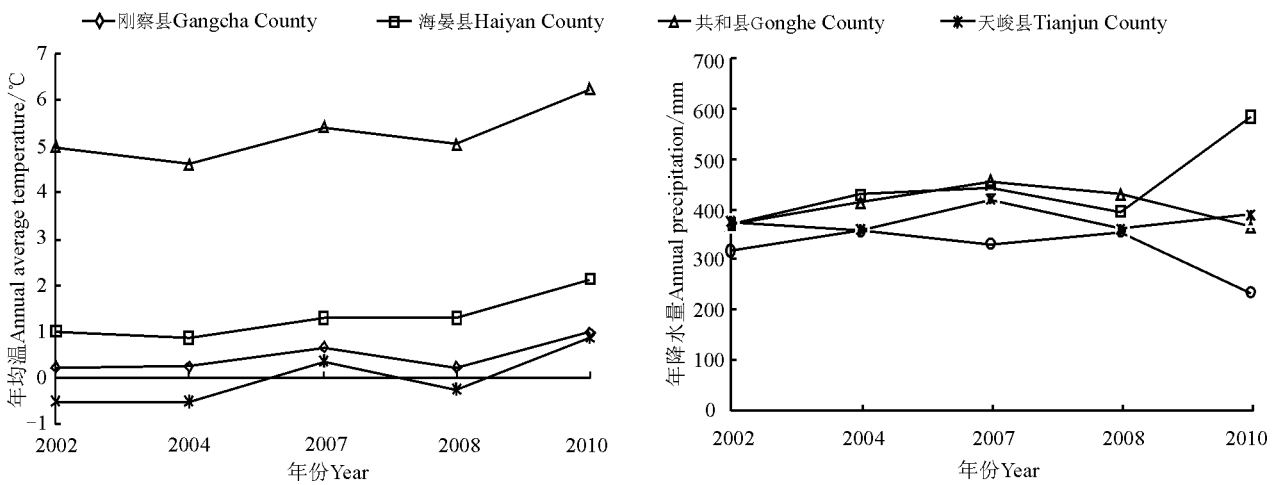


图4 2002—2010年青海湖流域四县年均温及年降水量变化

Fig.4 Air temperature and precipitation change of the four counties in the Qinghai Lake Basin from 2002 to 2010

表 3 目标层与准则层的判断矩阵
Table 3 Judgement matrix between target layer and criterion layer

生态环境 Ecological environment	压力 Pressure	状态 State	响应 Response
压力 Pressure	1	1/4	1/2
状态 State	4	1	3
响应 Response	2	1/3	1

在响应层中 3 个指标构造相应的判断矩阵,以农牧民人均纯收入为基点,环境污染治理投资和封山育林面积相对的重要性之比为 1 : 1/2 : 1/2;而以环境污染治理投资为基点,封山育林面积与农牧民人均纯收入之比为 2 : 1,3 个指标的权重分别为 0.20、0.49 和 0.31。

在此基础上,各指标的层次总排序的计算如表 4。

表 4 各指标的层次总排序权重
Table 4 The weight level of the indices

总排序指标 Total sort index	压力(0.14) Pressure	状态(0.62) State	响应(0.24) Response	权重值 Weight
农牧民人口密度 Farmers and herdsmen population density	0.17			0.023 8
人均牲畜头数 Per capita livestock	0.39			0.054 6
畜均草地面积 Livestock are grassland	0.44			0.061 6
年平均气温 Annual average temperature		0.08		0.049 6
年降水量 Annual precipitation		0.10		0.062 0
植被变化量 Changes in vegetation area		0.31		0.192 2
湿地面积 Wetland area		0.27		0.167 4
土地沙化面积 Desertification area		0.24		0.148 8
农牧民人均纯收入 Per capita net income of farmers and herdsmen			0.20	0.048 0
环境污染治理投资 Environmental pollution control investment			0.49	0.117 6
封山育林面积 Forest conservation area			0.31	0.074 4

3.4 综合评价

利用公式(3)计算了青海湖流域生态环境安全指数。

$$A_i = \sum_{k=1}^n R_k \times W_k \quad (3)$$

其中, A_i 为第 i 个像元的生态环境安全指数; Y_k 表示各个指标标准化后的数据; W_k 表示各个指标对应的权重值。

将计算得到的流域生态环境安全指数依照表 5 的标准进行分级,在此基础上得到了青海湖流域 2010 年生态环境安全分类图(图 5)。

表 5 生态环境安全指数分级标准

生态安全分级指数 Ecological security classification index	生态安全程度 Ecological security
$A_i < 3.5$	重度危害 Serious infestation
$3.5 \leq A_i < 4.5$	轻度危害 Slight infestation
$4.5 \leq A_i < 5.5$	预警 Early warning
$5.5 \leq A_i < 6.5$	基本安全 Relative security
$A_i \geq 6.5$	非常安全 Reliable security

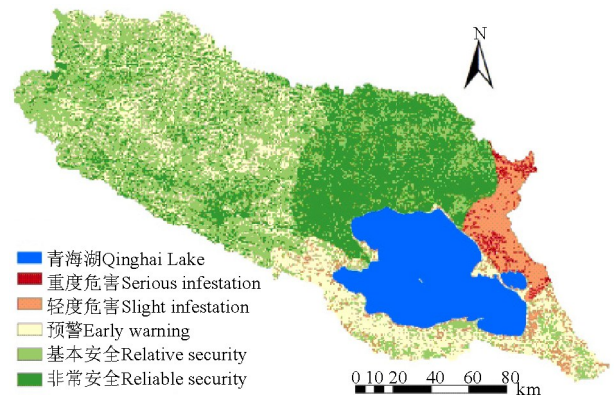


图 5 青海湖流域 2010 年生态环境安全分类
Fig.5 Eco-environment security classification of the Qinghai Lake Basin in 2010

4 青海湖流域生态环境综合评价

2002—2008 年,青海湖流域生态环境呈现退化状态,退化面积是植被恢复面积的两倍以上(图 2、3),生态压力明显。随着 2007 年底青海湖流域生态环境保护与综合治理工程的实施,该流域生态环境到 2010 年有了显著好转,植被的好转面积由 20% 上升至 50% 左

右。但环境治理政策的实施,仅使植被退化的面积刚好与植被恢复的面积大致相同,并没有实现生态环境安全。此外,2010年上半年,天峻县出现连续降雪且该地区海拔较高,气温偏低,积雪融化速度较慢,对牧草返青及生长极为不利;夏季,青海湖流域平均气温上升至10年来最高,流域北部及邻近地区出现中度干旱,农牧业生产受到明显影响,这些都导致该区域的生态环境仍处于高压态势。

根据青海湖流域植被覆盖的整体形势,本研究基于PSR模型结合近年来的遥感数据和气象数据与2010年的社会统计类数据来分析对流域生态环境的影响。在此基础上,得到了流域内以4个县行政区域为单位的生态环境安全评价图(图5、图6)。海晏县有284.98 km²地区的生态环境处于重度危险状态,占该县陆地面积的18%,剩余地区都处于轻度危险状态。从10类指标数据分析,对生态环境有积极作用的指标如湿地面积、封山育林面积等都表现为在四县中数值最小,相反,对生态环境有消极作用的指标如沙化面积、农牧民收入、环境治理投资等指标数值最大。海晏县虽然人口较少,但牧民的态度消极,盲目发展经济,生态环境破坏严重。相对而言,天峻和刚察县的生态

环境比较稳定,但仍有部分草地处于预警状态。年降水量少、温度高是共和县湿地面积减少和沙化面积增多的主要原因。过度放牧、人为破坏现象仍然突出,导致了整个青海湖流域植被退化,加速了沙化的进程。

由此可见,青海湖流域的草地变化是自然因素和人类活动共同作用的结果。

5 结论

本研究对青海湖流域近年来生态环境保护效果的研究,得出以下结论:

1)针对青海湖流域存在的主要生态问题,深入考虑生态问题的主要影响指标,并结合获取的现有数据,利用压力—状态—响应(PSR)模型,确定了影响青海湖流域生态环境的主要因素有农牧民人口密度、人均牲畜头数、年平均气温、年降水量、湿地面积以及封山育林面积环境污染治理投资。基于PSR模型建立的评价指标体系能全面地反映青海湖流域生态环境现状,有利于对现状的透彻分析,得到有效的治理措施,尽快恢复流域生态环境的质量。

2)通过MODIS NDVI遥感数据对青海湖流域植被变化的研究,得出2002—2008年,流域内植被退化形势严峻,退化面积是植被恢复面积的两倍以上。从2008年环境治理工程投入运行期间,减缓了植被的退化进程,促进了生态环境的好转。

3)利用2010年的社会统计数据,结合近年来植被的变化情况,评价国家实施该治理工程取得的实际效果。总体上看,青海湖流域生态环境得到了明显好转,但是还存在一些安全隐患。海晏县有284.98 km²的地区生态环境安全处于重度危险状态,占该县陆地面积的18%,剩余地区都处于轻度危险状态。天峻县和共和县分别有3 415.36和2 324.57 km²的地区出现预警状态,分别占该县陆地面积的25%和38%。针对整个青海湖流域生态环境现状,不仅要在治理措施上进行科学有效地改进,更重要的是,要提高当地居民自身的环保意识,要落实政府对农牧民生活的基本保障。

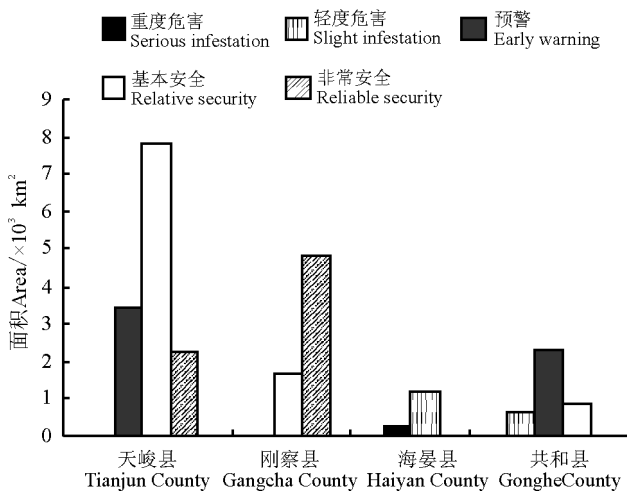


图6 青海湖流域生态环境安全评价
Fig.6 The eco-environmental protection effect for the four county

参考文献 References:

[1] 李广泳,李小雁,赵国琴,张志华,李岳坦.青海湖流域草地植被动态变化趋势下的物候时空特征.生态学报,2014,34(11): 3038-3047.

Li G Y, Li X Y, Zhao G Q, Zhang Z H, Li Y T. Characteristics of spatial and temporal phenology under the dynamic variation of

- grassland in the Qinghai Lake watershed. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(11): 3038-3047. (in Chinese)
- [2] 马贺平, 郭威, 谢骏驰. 青海湖流域牧草生长生产管理决策系统的设计与实现. *北京测绘*, 2015(2): 104-107.
Ma H P, Guo W, Xie J C. Design and implement of the management and decision-making system of pasture growth and production surrounding the Qinghai Lake areas. *Beijing Surveying and Mapping*, 2015(2): 104-107. (in Chinese)
- [3] Liu X J, Lai Z P, Fan Q S, Long H, Sun Y J. Timing for high lake levels of Qinghai Lake in the Qinghai-Tibetan Plateau since the Last Interglaciation based on quartz OSL dating. *Quaternary Geochronology*, 2010, 5(2-3): 218-220.
- [4] Wang H Y, Dong H L, Zhang C L, Jiang H C, Zhao M X, Liu Z H, Lai Z P, Liu W G. Water depth affecting thaumarchaeol production in Lake Qinghai, northeastern Qinghai-Tibetan plateau: Implications for paleo lake levels and paleoclimate. *Chemical Geology*, 2014, 368: 76-84.
- [5] 聂学敏, 李俊忠, 李志强, 张志军. 青海湖流域退牧还草工程绩效评价——以天峻县为例. *安徽农业科学*, 2013(5): 1978-1979.
Nie X M, Li J Z, Li Z Q, Zhang Z J. On grazing forbidden in Qinghai Lake basin with Tianjun County as example. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2013(5): 1978-1979. (in Chinese)
- [6] 张涛, 曹广超, 曹生奎, 陈克龙, 山中雪, 张静. 2000 — 2012 年青海湖流域 NPP 时空分布特征. *中国沙漠*, 2015, 35(4): 1072-1080.
Zhang T, Cao G C, Cao S K, Chen K L, Shan Z X, Zhang J. Spatial-temporal characteristics of the vegetation net primary production in the Qinghai Lake basin from 2000 to 2012. *Journal of Desert Research*, 2015, 35(4): 1072-1080. (in Chinese)
- [7] 曹军骥, 安芷生. 青海湖流域生态和环境治理技术集成与试验示范项目简介及主要进展. *地球环境学报*, 2012, 1(3): 158-161.
Cao J J, An Z S. Introduction and progress of the project for technology integration and experimental demonstration of ecological and environmental rehabilitation in Qinghai Lake basin. *Journal of Earth Environment*, 2012, 1(3): 158-161. (in Chinese)
- [8] 曹生奎, 曹广超, 陈克龙, 刘蔚, 陈志, 芦宝良, 张涛, 王记明, 张静. 青海湖高寒湿地生态系统服务价值动态. *中国沙漠*, 2014, 34(5): 1402-1409.
Cao S K, Cao G C, Chen K L, Liu W, Chen Z, Lu B L, Zhang T, Wang J M, Zhang J. Dynamic of alpine wetland ecosystem service values in the Qinghai Lake basin. *Journal of Desert Research*, 2014, 34(5): 1402-1409. (in Chinese)
- [9] Chen B X, Zhang X Z, Tao J, Wu J S, Wang J S, Shi P L, Zhang Y J, Yu C Q. The impact of climate change and anthropogenic activities on alpine grassland over the Qinghai-Tibet Plateau. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2014, 189: 11-18.
- [10] 白艳芬, 马海洲, 张宝成, 梁继, 李哲, 李宏毅, 郝晓华, 王建. 基于遥感和 GIS 技术的青海湖环湖地区生态环境脆弱性评价. *遥感技术与应用*, 2009, 24(5): 635-641.
Bai Y F, Ma H Z, Zhang B C, Liang J, Li Z, Li H Y, Hao X H, Wang J. Eco-environmental vulnerability analysis around Qinghai Lake based on RS and GIS technology. *Remote Sensing Technology and Application*, 2009, 24(5): 635-641. (in Chinese)
- [11] 展秀丽, 严平, 谭遵泉. 基于 GIS 技术的青海湖流域综合整治类型区划分及整治方向. *地理科学*, 2015, 35(1): 122-128.
Zhan X L, Yan P, Tan Z Q. Type Division of comprehensive management and administration way in the Qinghai Lake Watershed based on GIS technology. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(1): 122-128. (in Chinese)
- [12] Jiang W G, Yuan L H, Wang W J, Cao R, Zhang Y F, Shen W M. Spatio-temporal analysis of vegetation variation in the Yellow River basin. *Ecological Indicators*, 2015, 51: 117-126.
- [13] 马明国, 王建, 王雪梅. 基于遥感的植被年际变化及其与气候关系研究进展. *遥感学报*, 2006, 10(3): 421-431.
Ma M G, Wang J, Wang X M. Advance in the inter-annual variability of vegetation and its relation to climate based on remote sensing. *Journal of Remote Sensing*, 2006, 10(3): 421-431. (in Chinese)
- [14] Pouliot D, Latifovic R, Olthoff I. Trends in vegetation NDVI from 1 km AVHRR data over Canada for the period 1985 — 2006. *International Journal of Remote Sensing*, 2009, 30(1): 149-168.
- [15] 钞振华, 张培栋, 袁赛帅. 山东省 MODIS 遥感植被指数时空变化研究. *生态环境学报*, 2012, 21(10): 1660-1664.
Chao Z H, Zhang P D, Yuan S S. Temporal and spatial variation of MODIS vegetation index for Shandong Province. *Ecology and Environmental Sciences*, 2012, 21(10): 1660-1664. (in Chinese)
- [16] 骆成凤, 许长军, 游浩妍, 靳生洪. 2000 — 2010 年青海湖流域草地退化状况时空分析. *生态学报*, 2013, 33(14): 4450-4459.
Luo C F, Xu C J, You H Y, Jin S H. Analysis on grassland degradation in Qinghai Lake basin during 2000 — 2010. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(14): 4450-4459. (in Chinese)
- [17] Harris R B. Rangeland degradation on the Qinghai-Tibetan plateau: A review of the evidence of its magnitude and cause. *Journal*

- of Arid Environments, 2010, 74(1): 1-12.
- [18] 颜利,王金坑,黄浩.基于PSR框架模型的东溪流域生态系统健康评价.资源科学, 2008, 30(1): 107-113.
Yan L, Wang J K, Huang H. An assessment of ecosystem health in Dongxi River basin based on PSR framework. Resources Science, 2008, 30(1): 107-113. (in Chinese)
- [19] 陈美球,许莉,刘桃菊,黄宏胜.基于PSR框架模型的赣江上游生态系统健康评价.江西农业大学学报, 2012, 34(4): 839-845.
Chen M Q, Xu L, Liu T J, Huang H S. Ecosystem health assessment of Gan River upstream based on PSR model. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2012, 34(4): 839-845. (in Chinese)
- [20] 张锐,郑华伟,刘友兆.基于PSR模型的耕地生态安全物元分析评价.生态学报, 2013, 33(16): 5090-5100.
Zhang R, Zheng H W, Liu Y Z. Evaluation on cultivated land ecological security based on the PSR model and matter element analysis. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(16): 5090-5100. (in Chinese)
- [21] 李军,曹明明,邱海军,胡胜,郝俊卿,刘闻.基于GIS的西安市土地生态环境敏感性评价研究.西北大学学报:自然科学版, 2014, 44(1): 121-127.
Li J, Cao M M, Qiu H J, Hu S, Hao J Q, Liu W. The assessment of GIS-based land Eco-environmental sensitivity of Xi'an City. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2014, 44(1): 121-127. (in Chinese)
- [22] 葛劲松.青海湖流域生态环境保护与综合治理工程2010年监测报告.西宁:青海省环境监测中心站, 2011.
- [23] 李博.中国北方草地退化及其防治对策.中国农业科学, 1997, 30(6): 1-10.
Li B. The rangeland degradation in north China and its preventive strategy. Chinese Agricultural Sciences, 1997, 30(6): 1-10. (in Chinese)
- [24] 马玉寿,郎百宁,李青云,施建军,董全民.江河源区高寒草甸退化草地恢复与重建技术研究.草业科学, 2002, 19(9): 1-5.
Ma Y S, Lang B N, Li Q Y, Shi J J, Dong Q M. Study on rehabilitating and rebuilding technologies for degenerated alpine meadow in the Changjiang and Yellow river source region. Pratacultural Science, 2002, 19(9): 1-5. (in Chinese)

(责任编辑 王芳)

2016年第5期《草业科学》审稿专家

安沙舟	包爱科	曹文侠	柴琦	陈先江	董世魁	段廷玉	甘磊
郭正刚	侯扶江	胡龙兴	胡自治	黄晓东	解新明	孔祥斌	李东坡
李飞	李建龙	李金花	李志华	林慧龙	林森	刘文献	刘兴元
刘志鹏	龙明秀	毛培胜	尚占环	沈禹颖	孙洪仁	唐红	田沛
王成章	王丽佳	王明利	王文恩	翁秀秀	武高林	谢文刚	许立新
杨惠敏	姚军虎	姚拓	于应文	鱼小军	张德罡	张吉宇	张守仁

承蒙以上专家对《草业科学》期刊稿件的审阅,特此表示衷心的感谢!