

基于 RS/GIS 和 AHP-GPCA 模型的 青藏高原生态环境变迁综合评价

张继承, 潘新春

(国家海洋局 海洋咨询中心, 北京 100860)

摘要: 运用层次分析和全局主成分分析结合的综合统计评价模型(AHP-GPCA 模型), 以县域和流域为评价单元, 以气温、降水、归一化差异植被指数(NDVI)、冰川密度、湿地密度、湖泊率、人口密度、荒漠化率等数据为评价指标基础, 基于 RS/GIS 对 20 世纪 70 年代末期至 2000 年青藏高原生态环境变迁进行综合评价, 并探讨了研究区生态环境总体变化和空间分异特征。结果表明: 从 20 世纪 70 年代末期到 2000 年, 青藏高原生态环境变迁较为剧烈, 重度—中度恶化面积占青藏高原总面积的 31.8%, 轻度恶化面积占 14.5%, 好转的地区面积占 13.5%, 反映青藏高原地区生态环境自 20 世纪 70 年代末期以来总体恶化, 仅有部分县域生态环境好转; 依据全局主成分分析得到的三个主成分分别是荒漠化、冰川密度和 NDVI, 其累计贡献率超过 70%, 基本能够代表最初获取的 8 个指标; 生态环境退化程度最为严重的流域主要在青藏高原腹地、柴达木盆地以及环青海湖地带, 恶化最为严重的流域为格尔木地区, 生态环境好转程度最大的流域为藏东南地区; 青藏高原环境变迁呈现由边缘地区向腹地恶化的多层次结构, 并呈现向两个极端方向发展的特征, 其中生态环境转好的县域多分布在冰川较为集中的地区, 反映了从 20 世纪 70 年代末期到 2000 年在冰川变迁影响下部分县域的局地气候、生态环境、水资源变化的复杂性。最后探讨了 RS/GIS 和 AHP-GPCA 模型进行综合评价的优势, 认为该方法兼顾了评估主客观权重, 减少了信息重复, 使结果具有直观化的特点。

关键词: AHP-GPCA 模型; 遥感; 地理信息系统; 生态环境变迁; 综合评价; 青藏高原

中图分类号: X87; P66 文献标志码: A 文章编号: 1672-6561(2011)04-0434-07

Comprehensive Assessment for Change of Ecological Environment in Qinghai-Tibet Plateau Based on RS/GIS and AHP-GPCA Model

ZHANG Ji-cheng, PAN Xin-chun

(National Oceanic Consultation Center, State Oceanic Administration, Beijing 100860, China)

Abstract: Based on the comprehensive statistical assessment model with analytical hierarchy process and global principal component analysis (AHP-GPCA model) and RS/GIS, the changes of ecological environment in Qinghai-Tibet Plateau from late 1970s to 2000 were comprehensively assessed, and then the change of ecological environment and its spatial distribution were discussed. The assessment units were county and river basin, the assessment indicators were temperature, precipitation, normalized difference vegetation index (NDVI), glacier density, marsh density, lake ratio, population density and desertification ratio. The results showed that the change of ecological environment in Qinghai-Tibet Plateau was strong from late 1970s to 2000, and the environment of most counties deteriorated; the area of environmental deterioration in serious and middle levels were 31.8% of the total area of Qinghai-Tibet Plateau, and the area in light level were 14.5%, and the area of environment improved was 14.5%; the three principals were desertification ratio, glacier density and NDVI by global principal component analysis, and the accumulative contribution rate of them was more than 70%, so they could stand for the above eight assessment indicators; the river basin with serious environmental deterioration was mainly heartland of Qinghai-Tibet Plateau, Tsaidam Basin and the zone around Qinghai Lake, the most serious was Golmud and the most improved was

收稿日期: 2011-01-08

基金项目: 中国地质调查局项目(1212010510218)

作者简介: 张继承(1981-), 男, 内蒙古赤峰人, 工程师, 工学博士, 从事生态环境评估研究。E-mail: skipjack@126.com

southeast areas of Tibet; the change of ecological environment showed the multi-level structure from the edge to heartland and the extreme development trend to different directions; the counties with the ecological environment improved mostly distributed in the regions with glacier concentrated, and the local climate, ecological environment, change of water resource in part counties were very complicated under the influence of glacier change from late 1970s to 2000. Finally, the advantages of comprehensive assessment with AHP-GPCA model and RS/GIS were discussed. The method could give consideration on both subjective and objective weights, decrease the duplicate information, and visualize the results.

Key words: AHP-GPCA model; RS; GIS; change of ecological environment; comprehensive assessment; Qinghai-Tibet Plateau

0 引言

主成分分析(PCA)综合评价是依据原始指标数据所包含的方差信息量大小来对主成分施行客观赋权,其局限性在于没有考虑原始评价指标重要性的差异。而层次分析(AHP)与主成分分析结合的评价模型(AHP-PCA 模型)基于层次分析确立的权重赋予到经标准化的数据中,使评价系统较为重要的因子通过数据方差扩大而得到更大的权数,从而将层次分析确定的主观权数与主成分分析确定的客观权数有机结合起来;与单独的层次分析或主成分分析相比,该模型的评价结果更加符合综合评价问题的实际情况。AHP-PCA 模型已用于水质富营养化、可持续发展等方面的综合评价中^[1-4],取得了较好的效果;但 AHP-PCA 模型作为一种静态评估方式,无法进行动态评估。基于此,笔者充分利用 AHP-PCA 模型的优势,将其推广至用于多维、动态数据评价的层次分析与全局主成分分析(GPCA)结合的评价模型(AHP-GPCA 模型),选取 20 世纪 70 年代末期到 2000 年的两期动态评价指标,对青藏高原生态环境进行综合评价,并基于 RS/GIS 将评估结果及影响因子空间化,直观分析评价结果的具体影响因素。

1 AHP-GPCA 评价模型

全局主成分分析是基于主成分分析的一种多元统计方法,通过对时序立体数据表进行主成分分析,保证对多个时间序列样本进行系统分析的统一性、整体性和可比性。笔者建立的 AHP-GPCA 模型是采用王晓鹏等提出的 AHP-PCA 综合评价框架为基础,推广至对时序立体数据表进行加权的全局主成分分析方法,理论基础详见文献[5]。

2 评价流程

AHP-GPCA 模型评价流程可分为数据处理、

层次分析、AHP 加权、综合评价和 RS/GIS 结果分析 5 个部分(图 1)。其中数据处理是运用 ArcGIS 和 Excel 分析指标数据,并建立时序数据表;层次分析是依据建立的指标体系,建立层次结构,并确定指标权重;AHP 加权是对指标数据进行主客观权数复合;综合评价是加权数据在 SPSS 软件中进行协方差矩阵主成分分析;结果分析是应用 ArcGIS 将主成分分析评价值空间化,与地理底图数据、流域或地貌等数据进行叠加,结合专业背景知识,进行生态环境现状和变迁时空分异、驱动力分析等。

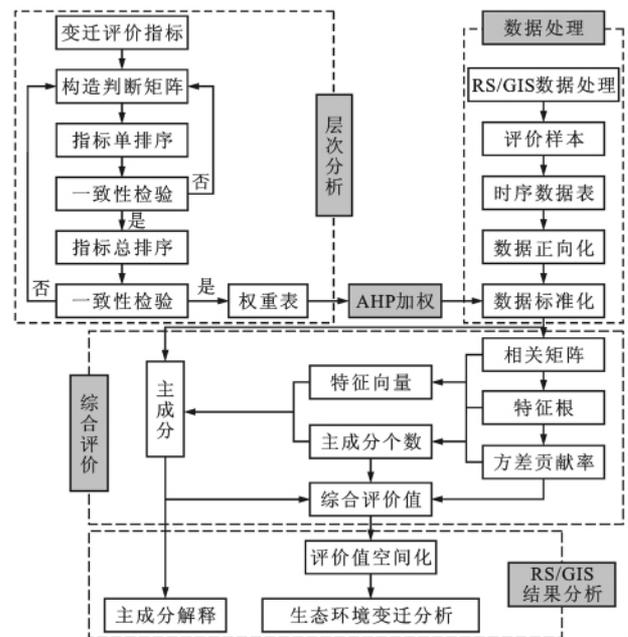


图 1 AHP-GPCA 模型评价流程

Fig. 1 Assessment Flow of AHP-GPCA Model

3 基于 RS/GIS 和 AHP-GPCA 模型的青藏高原生态环境变迁评价

3.1 指标体系、标准和数据获取

3.1.1 评价体系

青藏高原生态环境变迁评价指标体系以气候变化、人口变迁和遥感数据提取的生态环境因子为基

础,选取 20 世纪 70 年代末期到 2000 年能够获取的对青藏高原生态环境变迁影响作用较大的自然、生态和社会因子:年代平均气温(C_1)、年代平均降水(C_2)、归一化差异植被指数(NDVI)(C_3)、冰川密度(C_4)、湿地密度(C_5)、湖泊率(C_6)、人口密度(C_7)、荒漠化率(C_8)。根据研究区内县域评价单元数据(217 个)、指标个数(8 个)和时间序列(2 个)构成 $217 \times 8 \times 2$ 的时序立体数据表,作为 AHP-GPCA 模型进行综合评价的数据基础。

3.1.2 评价标准

生态环境的评价标准一般选取国家以及行业和地方规定的标准、背景或本底值、科学研究已判定的生态效应等^[6]。本次综合评价采用的指标因子多数通过 RS、GIS 等获取,其评价标准在理论上尚处于探索阶段,现有国家、行业标准以及法律、法规文件尚无可选择的参考。因此,实际综合评价中主要采用的评估标准为:①根据统计学方法对研究区内生态环境评价价值进行分级,采用相对比较的方式作为综合评价价值;②以一个时期的生态环境评价作为背景或本底值,另一时期作为变化研究值。这两种方式不是严格意义上的标准,但在宏观区域生态环境评价中具有较强的实际意义。

3.1.3 数据获取

年代平均温度和年代平均降水指标主要据研究区及周边测点 1995—2002 年和 1970—1980 年多年平均温度进行“回归方程计算+空间残差”的方式进行插值后^[7-8],分县提取平均值;NDVI 选用 2003 年美国国家航天航空局推出的全球植被指数变化数据,采用最大值合成法求取 1982—1985 年和 1999—2002 年 2 个时期的 NDVI;冰川密度、湿地密度、湖泊率、荒漠化率数据源于“青藏高原生态地质环境遥感调查与监测”项目,由 20 世纪 70 年代末期 MSS、2000 年 ETM 遥感图像数据人工交互解译后,依据生态因子的不同级别及类型加权计算经分县提取;人口密度数据源于 1982 年中华人民共和国第三次人口普查数据及青藏高原各省区 2000 年统计年鉴。以上数据获取和处理的流程详见文献^[9-12](表 1)。

3.2 综合评价

采用基于层次分析法和时序立体数据表的因素分析方法-层次分析-全局主成分分析(AHP-GPCA)模型作为研究手段,进行青藏高原生态环境变迁评价分析。将指标权重(表 2)依据加权公式对评价样本进行数据加权,扩大相对重要指标样本的方

表 1 生态环境变迁评价指标获取数据

评价指标	数据处理方法/数据来源
年代平均气温(C_1)	采用“回归方程计算+空间残差”的方式 ^[7-8] ;气象数据源于国家气象局提供的研究区 151 个测站月平均温度和降水值,数字高程模型(DEM)
年代平均降水(C_2)	采用美国地质调查局的 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ GTOPO30 DEM
NDVI(C_3)	美国国家航天航空局 Pathfinder AVHRR 陆地数据集 8 km 的 NDVI,通过最大值合成法获得青藏高原多年 NDVI
冰川密度(C_4) 湿地密度(C_5) 湖泊率(C_6) 荒漠化率(C_8)	源于“青藏高原生态地质环境遥感调查与监测”项目,由 20 世纪 70 年代末期 MSS、2000 年 ETM 遥感图像数据人工交互解译后形成
人口密度(C_7)	源于中华人民共和国第三次人口普查数据和青藏高原各省区 2000 年统计年鉴

表 2 生态环境变迁评价指标权重

指标	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	W_j
C_1	1	1/3	1/5	1/5	1/3	3	3	1/5	0.053
C_2		1	1/5	1/5	1/3	2	3	1/5	0.066
C_3			1	2	3	3	3	1/2	0.218
C_4				1	2	3	3	1/2	0.174
C_5					1	2	3	1/3	0.111
C_6						1	2	1/5	0.048
C_7							1	1/5	0.036
C_8								1	0.294

注:矩阵最大特征值为 8.78;矩阵的一致性检验指标为 0.111;平均一致性指标为 1.410;随机一致性比值为 0.079; W_j 为指标权重。

差,从而进行评价因子主客观权、量值关系权与相对重要性权的合成。运用 SPSS 软件对时序立体数据表进行全局主成分分析,提取特征值大于 1 的前 3 个变量,3 个全局主成分累计贡献率超过 70%,因此这 3 个主成分基本能够代表最初的 8 个指标来分析青藏高原生态环境变迁。

运用 SPSS 软件进行全局主成分分析,提取主成分,计算因子系数,以每个主成分所对应的特征值占所提取总特征值之和的比例作为权重计算主成分综合模型^[13-15],得到全局主成分分析综合模型为

$$F = 0.078Z(x_1) - 0.10Z(x_2) + 0.16Z(x_3) - 0.17Z(x_4) + 0.10Z(x_5) + 0.82Z(x_6) + 0.073Z(x_7) + 0.19Z(x_8)$$

式中: F 为指标计算值; $Z(x_i)$ 表示经过指标正向化、标准化后第 i 个的样本数据。

3.3 基于 RS/GIS 的综合评价结果分析

3.3.1 基于 RS/GIS 和 AHP-GPCA 模型的综合评价结果

对计算结果空间化后,运用 ArcGIS 软件进行分级显示(图 2)。从综合评价结果发现,从 20 世纪 70 年代中期到 21 世纪初,青藏高原生态环境变迁较为剧烈,重度—中度恶化面积占青藏高原总面积的 31.8%,轻度恶化面积占总面积的 14.5%,生态环境恶化的县域面积共 45.3%,轻度好转、中度好转、重度好转的地区共占 13.5%,反映青藏高原地区生态环境自 20 世纪 70 年代以来总体恶化,仅有部分县域生态环境好转。

3.3.2 基于 RS/GIS 和 AHP-GPCA 模型的生态环境变迁影响因素分析

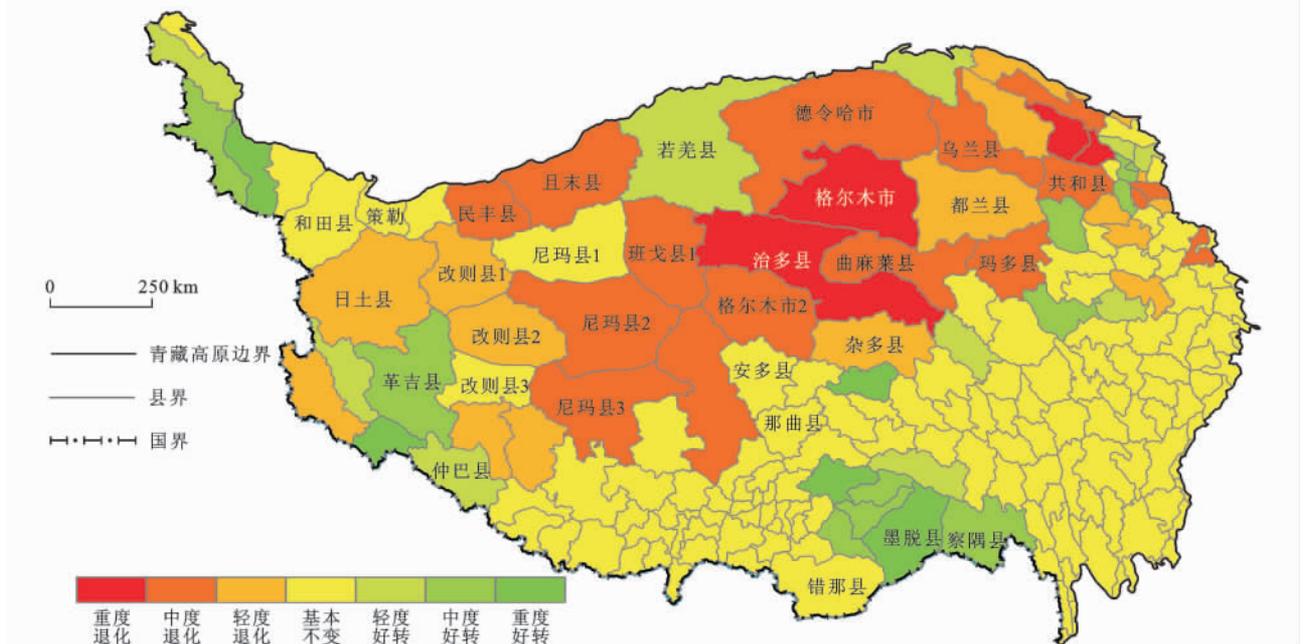
依据全局主成分分析得到的 3 个主成分,分别是荒漠化率、冰川密度、NDVI;对青藏高原地区 20 世纪 70 年代末期到 2000 年生态变迁较大的县域通过因子分析提取的主成分变迁含义来解释生态环境变迁原因。

由图 3~5 的 3 个主成分信息变迁的空间分布可以看出,格尔木以及长江源区治多县、曲麻莱县等生态环境重度恶化的地区主要受到第一、二主成分影响,即湿地和冰川变迁;羌塘高原地区的尼玛县中部、青海湖周边地区生态环境重度恶化主要受到第一、三主成分影响,即荒漠化增加和 NDVI 减

少;藏东南地区生态环境重度好转受到第一、二主成分影响,即荒漠化减少和冰川退缩相对较轻;西昆仑山地区生态环境重度好转主要受到第一、三主成分影响,即荒漠化减少和植被增加。其他县域的生态环境变迁也可以用各自县域的主成分变迁来分析。

3.3.3 流域生态环境变迁分析

借鉴李森等流域分区划分的研究成果^[16],运用 AHP-GPCA 模型进行基于流域分区的生态环境变迁分析。图 6 中数字代表生态环境变化的排序,1 代表生态变迁最为恶化的流域,25 代表生态环境最为好转的流域。生态环境退化程度最为严重的流域主要在青藏高原腹地、柴达木盆地、环青海湖地带,恶化最为严重的流域由重到轻的排序依次为格尔木地区、德令哈地区、青海湖环湖地区、长江源区;恶化较为严重的流域由重到轻依次排序为藏北高原中部区、共和盆地、都兰地区、昆仑山中部区、阿里高原区;生态环境好转程度最大的流域,由大到小排列为藏东南地区、西昆仑地区、藏北高原东部区、雅鲁藏布江上游区。据科技部发布的《气候变化国家评估报告》^[17],未来 20~100 年中国地表气温将明显增加,与 2000 年比较,2020 年中国年平均气温将增加 1.1℃~2.1℃,2030 年将增加 1.5℃~2.8℃,2050 年将增加 2.3℃~3.3℃,而柴达木盆地、江河源区等本底生态环境较差的高原腹地区域对气候变



注:底图源于国家基础地理信息系统提供的中国 1:250 000 地形数据,青藏高原边界线为海拔 3 000 m 的近似轮廓线,下同。

图 2 20 世纪 70 年代末期至 2000 年青藏高原县域尺度生态环境变迁

Fig. 2 Change of Ecological Environment in Qinghai-Tibet Plateau from Late 1970s to 2000 in County Scale

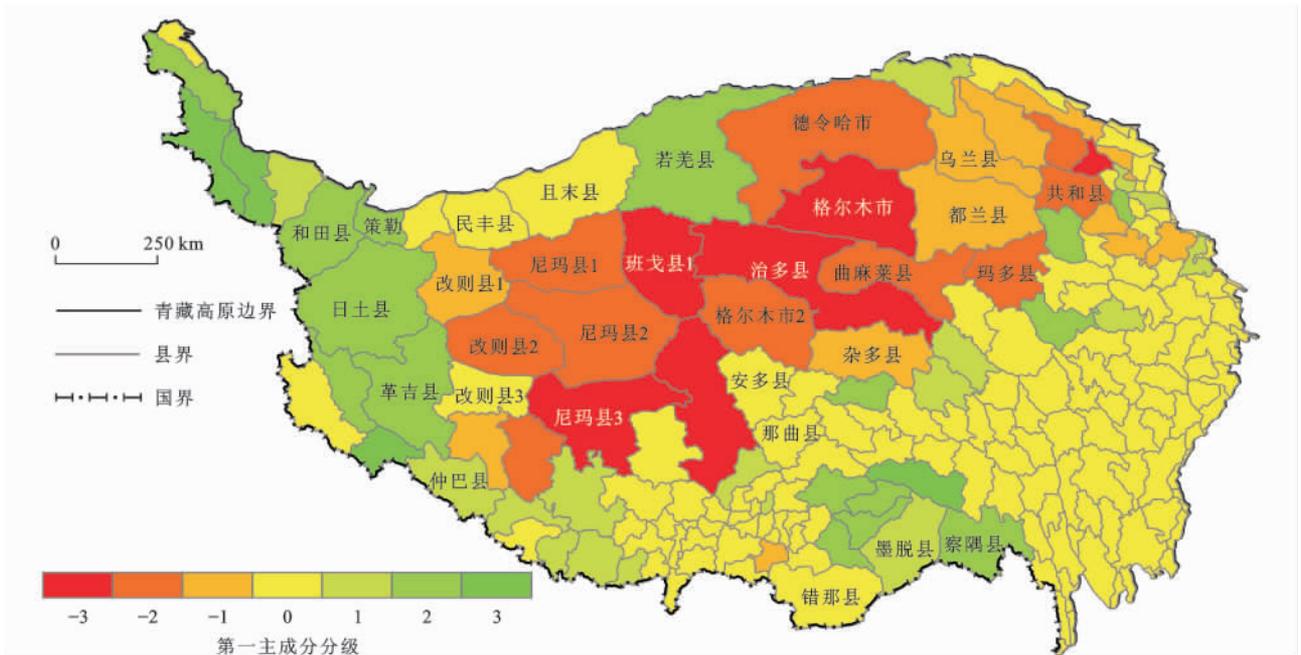


图 3 第一主成分对生态环境变迁影响

Fig. 3 Effect of the First Principal on the Change of Ecological Environment

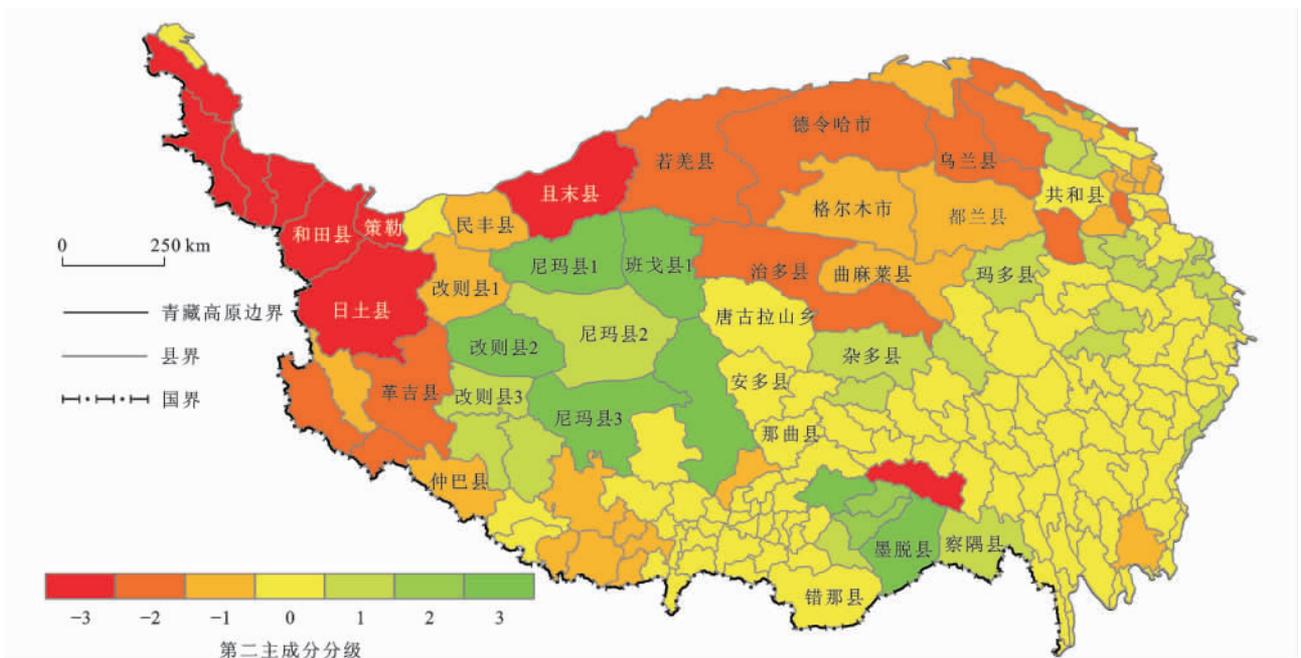


图 4 第二主成分对生态环境变迁影响

Fig. 4 Effect of the Second Principal on the Change of Ecological Environment

化的响应最敏感,且气候变迁和波动幅度比其他地区更大,预计高原腹地升温可能超过预测值 2.5 °C^[18-19]。因此,青藏高原温度上升剧烈,与之对应的干旱加剧、水资源减少、湿地退化等生态环境退化现象进一步加剧,另一方面,据评估结果显示,西藏东南部部分地区生态环境好转,这一现象可能反映了全球气候变化对青藏高原生态环境带来的不同影响,由于升温带来了热量资源增加,降

水少量增加,植物生长期的变化^[20-21],气候可能会变得更加适宜。

4 评价方法探讨

(1)PCA 和 AHP 是两种成熟的评价方法,两者在生态环境综合评价中应用广泛,都具有较强的数学基础、较为成熟的理论和实践应用的支持。AHP-GPCA 模型一定程度上兼顾了 AHP 与 GP-

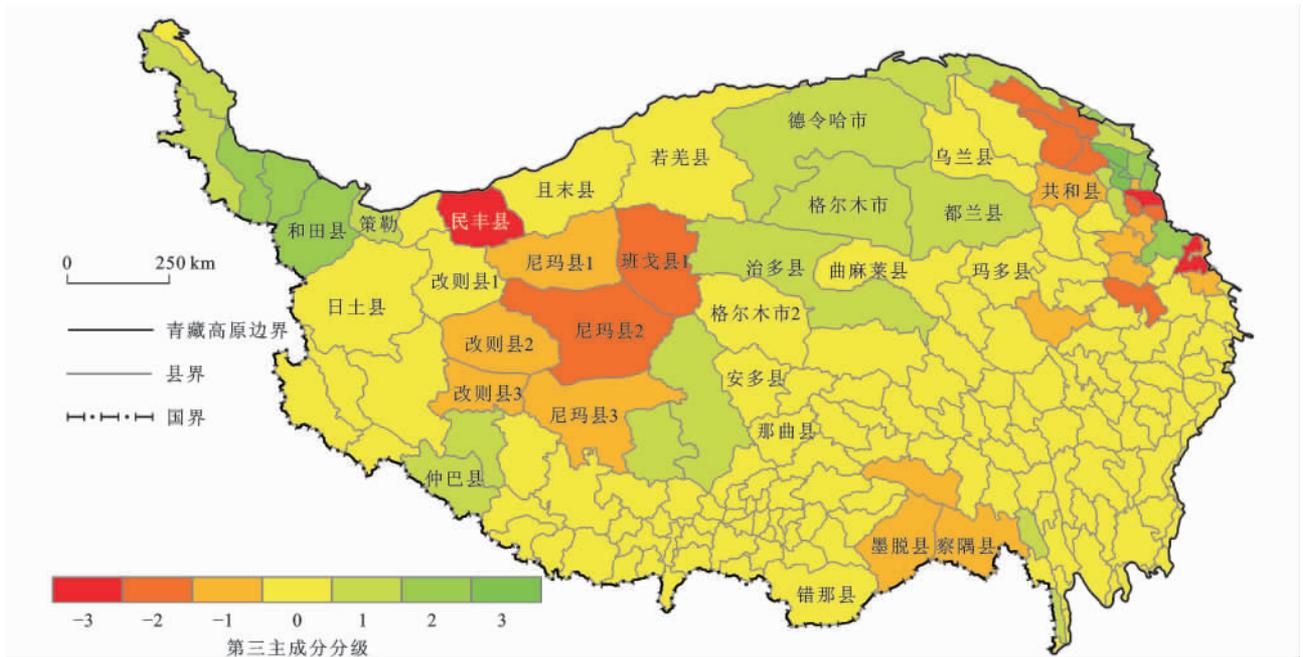


图 5 第三主成分变迁对生态环境变迁影响

Fig. 5 Effect of the Third Principal on the Change of Ecological Environment

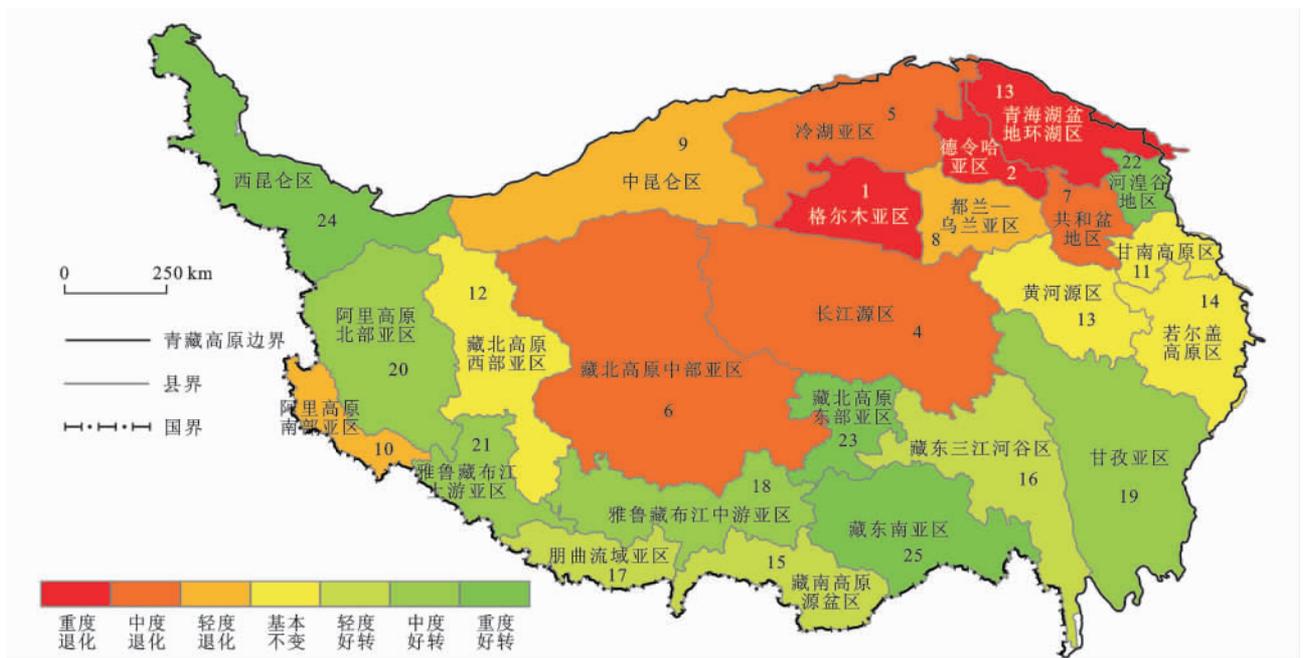


图 6 20 世纪 70 年代末期至 2000 年流域尺度的生态环境变迁

Fig. 6 Change of Ecological Environment in Qinghai-Tibet Plateau from Late 1970s to 2000 in River Basin Scale

CA 的局限性,避免了 AHP 中没有考虑数据本身的客观权和经典的 PCA 中权重无法调整的缺点,使评价结果更全面,更符合客观实际。

(2)在青藏高原生态环境综合评价过程中,由于历史、经济的原因,统计资料不全,可选用的指标因子较少,且已有部分指标间相关性较大,PCA 本身具有降维、消除因子相关性的作用,能够避免评价指标间信息重复导致的评价结果偏

差问题。

(3)基于 RS/GIS 和 AHP-GPCA 模型的综合评价方法,可以对主成分进行空间化,也可以选取不同评价单元(如县域和流域),两种方式结合能够灵活分析生态环境变迁中不同生态因子的主导作用以及不同评价单元下生态环境的变迁,从而发现影响评价单元生态环境现状和变迁的主导因素和驱动力。

5 结语

(1) 通过 RS/GIS 和 AHP-GPCA 模型分析, 从大一中尺度的高原生态环境变迁空间特点来看, 生态环境严重恶化的地区主要分布在青藏高原腹地、柴达木盆地和青海湖周边地区, 如格尔木地区、治多县、尼玛县中部; 环境好转的地区多分布在高原南部、西北部边缘地区, 如墨脱县、工布达江县、叶城县, 呈现由高原边缘地区向腹地恶化的多层次结构特征。

(2) 20 世纪 70 年代末期到 2000 年生态环境变化朝着两个极端发展的趋势, 即本底生态环境较好的地区生态环境波动较小, 或朝向更加好转的方向发展, 本底生态环境较差的地区柴达木盆地、江河源区生态环境转为更加恶化。

(3) 从选择指标对评估结果影响来看, 对青藏高原生态环境总体变迁的评估结果受到较大影响的指标为冰川变化、植被变化和荒漠化, 而青藏高原生态环境转好县域很多分布在冰川较为集中的地区, 如昆仑山西段的大陆型冰川、冈底斯山西段、横断山系海洋冰川分布区, 反映了 20 世纪 70 年代末期到 2000 年部分县域受到冰川变迁影响下的局地气候、生态环境、水资源变化的复杂性。生态环境转好可能受到气候变暖与冰川和积雪融水补给水量短期加大、植被覆盖增加等条件影响; 而从长远来看, 生态环境好转是否可能只是在冰川、积雪、冻土等影响下水资源增加、气候好转的短期现象, 是青藏高原生态环境变迁研究的重要问题, 有待于进一步长期的科学考察和论证。

参考文献:

- [1] 黄玲花, 韦国燕. PCA 与 AHP 结合法在城市可持续发展评价中的应用[J]. 统计与决策, 2007(8): 149-150.
- [2] 王农跃, 李燕飞. 基于主成分分析的上海市综合竞争力实证研究[J]. 大众科学, 2007(22): 98-99.
- [3] 韩延玲, 高志刚. 基于组合评价的中国区域可持续发展研究[J]. 生态经济, 2007(7): 28-32.
- [4] 张淑娜. 基于 AHP-PCA 模型的于桥水库富营养化分析[J]. 环境与可持续发展, 2007(6): 8-10.
- [5] 王晓鹏, 曾永年, 曹广超, 等. 基于多元统计和 AHP 的青藏高原牧区可持续发展评价模型与应用[J]. 系统工程理论与实践, 2005, 25(6): 139-144.
- [6] 毛文永. 生态环境影响评价[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998.
- [7] 廖顺宝, 李泽辉. 积温数据栅格化方法的实验[J]. 地理研究, 2004, 23(5): 633-640.
- [8] 廖顺宝, 李泽辉. 气温数据栅格化中的几个具体问题[J]. 气象科技, 2004, 32(5): 352-356.
- [9] 张继承. 基于 RS/GIS 的青藏高原生态环境综合评价研究[D]. 长春: 吉林大学, 2008.
- [10] 张继承, 姜琦刚, 李远华, 等. 基于 RS/GIS 的西藏地区湖泊变化动态监测及气候背景[J]. 地球科学与环境学报, 2008, 30(1): 87-93.
- [11] 申晋利, 张军龙. 基于面向对象分类方法的查干湖地区生态环境变化遥感分析[J]. 地球科学与环境学报, 2009, 31(2): 212-215.
- [12] 于欢, 张树清, 赵军, 等. 基于 ALOS 遥感影像的湿地地表覆被信息提取研究[J]. 地球科学与环境学报, 2010, 32(3): 324-330.
- [13] 卢纹岱. SPSS for Windows 统计分析[M]. 北京: 电子工业出版社, 2000.
- [14] 徐浪, 马丹. 实际应用中主成分的选择及其经济意义[J]. 科技与管理, 2002, 4(2): 8-9.
- [15] 杨建平, 丁永建, 陈仁升, 等. 长江黄河源区生态环境变化综合研究[M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- [16] 李森, 董玉祥, 董光荣, 等. 青藏高原沙漠化问题与可持续发展[M]. 北京: 中国藏学出版社, 2001.
- [17] 中华人民共和国科学技术部. 《气候变化国家评估报告》解读[J]. 环境保护, 2007(11): 20-26.
- [18] 丁一汇. 中国西部环境演变评估第二卷: 中国西部环境变化的预测[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [19] 吴绍洪, 尹云鹤, 郑度, 等. 青藏高原近 30 年气候变化趋势[J]. 地理学报, 2005, 60(1): 3-11.
- [20] 王建兵, 杨文杰. 青藏高原东北部边坡地带气候变化及对牧草生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(26): 14535-14537.
- [21] 沈华东, 于革. 青藏高原兹格塘错流域 50 年来湖泊水量对气候变化响应的模拟研究[J]. 地球科学与环境学报, 2011, 33(3): 282-287.