

DOI: 10.5846/stxb201804030758

王丽春, 焦黎, 来风兵, 张乃明. 基于遥感生态指数的新疆玛纳斯湖湿地生态变化评价. 生态学报, 2019, 39(8): - .

Wang L C, Jiao L, Lai F B, Zhang N M. Evaluation of ecological changes based on a remote sensing ecological index in a Manas Lake wetland, Xinjiang. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(8): - .

## 基于遥感生态指数的新疆玛纳斯湖湿地生态变化评价

王丽春<sup>1,2</sup>, 焦黎<sup>1,2,\*</sup>, 来风兵<sup>1,2</sup>, 张乃明<sup>2</sup>

1 新疆师范大学 新疆维吾尔自治区干旱区湖泊环境与资源重点实验室, 乌鲁木齐 830054

2 新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054

**摘要:**以 2000、2006 和 2016 年 3 期的 Landsat 遥感影像为基础数据源, 结合前人研究成果和实地考察, 借助 RSEI 指数, 对玛纳斯湖湿地生态环境进行监测和评价。结果表明: 利用主成分分析技术集成植被指数、湿度分量、地表温度和土壤指数建立的 RSEI 指数具有一定的适用性, 可较好的对玛纳斯湖湿地生态环境质量状况及其时空变化进行监测和评价。2000、2006 和 2016 年 RSEI 指数均值分别为 0.227、0.183、0.234, 对 RSEI 指数进行分级处理后, 发现流域生态环境质量“较差”等级居于主导地位, “优”等级有所增加, 湿地生态环境质量向好的方向发展。气候变化和人类活动共同作用于玛纳斯湖湿地产生的生态环境效应, 日益增强的人类活动是湿地退化的主要原因, 多年来粗放型的农业发展使玛纳斯河流域人口、经济与生态环境之间的关系严重失调。从优化水资源配置角度提出对主要源流流域水土资源大规模开发的同时, 应重视尾间湖泊湿地的生态价值与可持续发展。

**关键词:**生态环境; RSEI; 玛纳斯湖湿地; 主成分分析

## Evaluation of ecological changes based on a remote sensing ecological index in a Manas Lake wetland, Xinjiang

WANG Lichun<sup>1,2</sup>, JIAO Li<sup>1,2,\*</sup>, LAI Fengbing<sup>1,2</sup>, ZHANG Naiming<sup>2</sup>

1 Key Laboratory of lake environment and resources, arid area of the Xinjiang Uygur Autonomous Region, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China

2 College of geographical science and tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China

**Abstract:** Wetlands are important, unique, multi-functional ecosystems formed by the interaction between land and water on the earth. They are an important habitat for human beings, with one of the highest productivity and richest biodiversity in the natural world. In the past 50 years, with the large-scale development of land resources in the Manas River Basin, the agricultural production water in the upper and middle reaches has reached downstream ecological habitats, resulting in a loss of biodiversity in the Manas Lake wetland and increased desertification at the lakeside. The ecological environment is the material basis for the survival and development of humans, and ecological environmental quality has a profound impact on global change and regional sustainable development. The remote sensing ecological index (RSEI), integrates multiple indicators that reflect the most intuitive ecological environment based on natural factors, and can quickly monitor and evaluate the regional ecological environment. Based on Landsat remote sensing images from 2000, 2006, and 2016, this study used the RSEI index to monitor and evaluate the ecological environment quality of the wetland at Manas Lake. The results showed that the RSEI index established by integrating the vegetation index, humidity, land surface temperature, and

**基金项目:**新疆维吾尔自治区科技计划项目(201533109);新疆维吾尔自治区重点实验室“新疆干旱区湖泊环境与资源实验室”开放课题准格尔盆地西南缘玛纳斯湖湿地恢复研究(XJDX0909-2015-04)

收稿日期:2018-04-30; 网络出版日期:2018-00-00

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jiaolixjsd@sina.com

soil index using the principal component analysis technique has certain applicability, and could effectively be used to monitor and evaluate the ecosystem quality and its spatio-temporal changes in this wetland. In 2000, 2006, and 2016, the average RSEI index was 0.227, 0.183, and 0.234, and after ranking the RSEI index, it was found that the “lower” grade of the ecological environment in the river basin was dominant. The “excellent” level has increased, and the eco-environmental quality in the basin has improved. Climate change and human activities play a role in the eco-environmental effects produced in the Manas Lake wetland; increasing human activity is the main cause of wetland degradation, and extensive agricultural development over time has severely misaligned the population, economic, and ecological environment of the Manas River Basin. In the new century, under the “Five in One” modernization of the country to optimize the allocation of water resources, this paper focused on the large-scale development of water and land resources in major river basins, with the primary aim of determining the ecological value and sustainable development of the tail lake wetlands. These environments have important ecological significance for the sustainable development of the river basin and construction of the Silk Road economic belt.

**Key Words:** ecological environment; RSEI; Manas Lake wetland; principal component analysis

西北干旱区生态环境基础严重脆弱,是全球气候变化下的最敏感地区<sup>[1]</sup>。干旱区湿地是我国重要的湿地类型之一,湿地类型以湖泊湿地为主,其生态环境质量变化关系到干旱区人类的生存和生活质量<sup>[2]</sup>。2014年,中国科学院启动科技服务网络(STS)计划项目—“丝绸之路经济带资源环境承载力研究”,任务之一是对西北地区过去近20年的生态变化过程进行详细评估<sup>[3]</sup>。为了能直观地了解区域生态环境状况,国内外学者在利用遥感技术进行生态环境评价方面开展了大量研究工作<sup>[4-10]</sup>。遥感生态指数(Remote Sensing Based Ecological Index, RSEI)是徐涵秋基于遥感技术提出的一种新型遥感生态指数,集成了反映生态环境最为直观的、以自然因子为主的多重指标,对区域生态环境状况既能实现客观定量评价,同时也能对生态环境的演变进行时空性分析以及可视化显示<sup>[11]</sup>。但是该指数目前主要应用于城市生态系统研究,在干旱区湿地的应用实例还很少,亟需结合遥感资料验证 RSEI 指数的适用性,从而为充实适合于西北地区湿地生态环境评价研究方法提供数据支撑。

玛纳斯湖是古玛纳斯湖区域性构造运动和气候因素共同作用下形成的几个湖泊之一,据有关资料及文献统计,玛纳斯湖 20 世纪 50 年代还有 550 km<sup>2</sup> 的水面面积,平均水深 6 m 左右,湖面高程 257 m,容积约 4×10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>,而我国 20 世纪 60 年代初的航测地形图显示,玛纳斯湖已经干涸<sup>[12-13]</sup>。作为古尔班通古特沙漠西北边缘重要的生态环节,湖泊的干涸不仅对周围生态带来毁灭性的影响,而且干涸的湖底还会增加沙尘天气的频率<sup>[14]</sup>。玛纳斯湖湿地面积的减少和生态的退化主要发生在建国后,随着玛纳斯河流域耕地规模的不断扩大,上游农业用水挤占了下游生态用水,尾间的湖泊湿地得不到足够的补充淡水量,加速了湿地的退化和消亡<sup>[15]</sup>。在全球气候变化的影响下,近 20 多年来,玛纳斯湖又出现了复苏的现象,再次引起了人们的广泛关注。本文利用 RSEI,对玛纳斯湖湿地进行多指标、大范围、多时相的生态变化综合评价研究,探讨影响湿地生态环境变化的关键因素,以期为区域生态环境改善提供科学依据。

## 1 研究区概况

玛纳斯湖是玛纳斯河的尾间,位于天山北部准噶尔盆地中心,是主要汇集天山北坡地表径流而成的内陆湖<sup>[16]</sup>。本文选取的研究区以古玛纳斯湖盆为基础,以达尔布特断裂带、克拉玛依-乌尔禾断裂带和克乌大断裂控制的构造格局为依据,如图 1 所示。玛纳斯湖一带属温带大陆性干旱气候区,冬冷夏热,温差较大,相对湿度 48%,盛行西北风,年均气温 8.8℃,一月平均气温 -20℃,极端最低气温 -38℃,7 月平均气温 25.6℃,极端最高气温 42℃。年均蒸发量 3110.5 mm,年日照时数 2742.2 h,年均降水量 63.7 mm,无霜期 174 d。玛纳斯湖湿地地区植被组成极其贫乏,以梭梭灌林为主,且自外围向湖心渐次递减<sup>[17]</sup>。湖泊在水源稀少、降水贫乏的

干旱气候背景下蒸发更加强烈,迅速萎缩并形成间歇性干涸的荒漠景观。

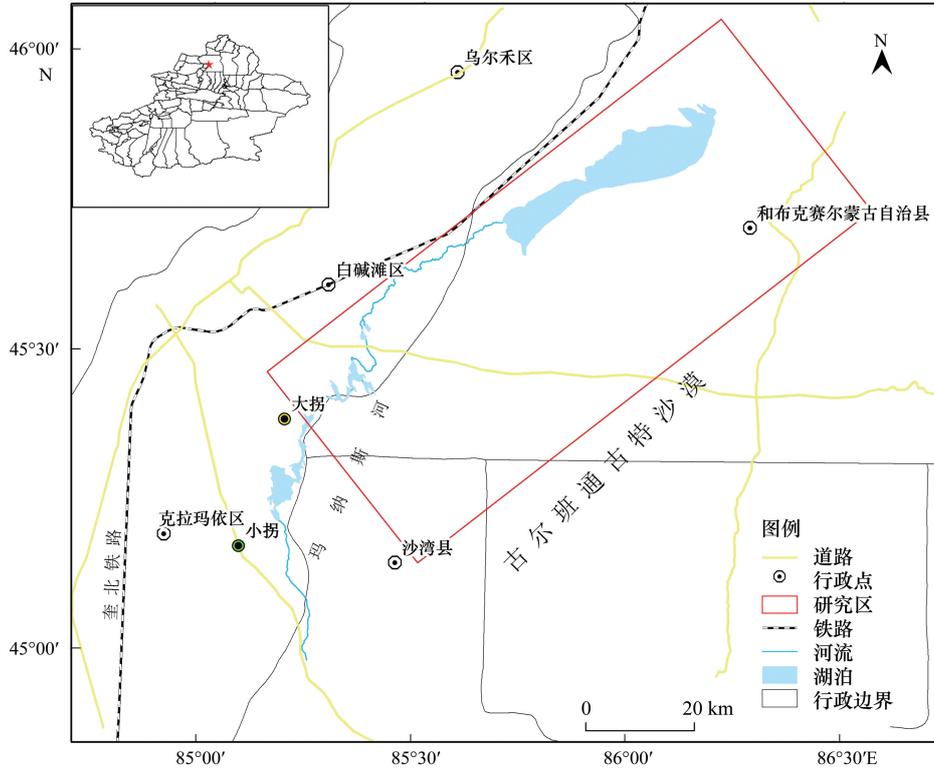


图1 研究区位置示意图

Fig.1 Sketch map of the location of the study area

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源及预处理

本研究遥感数据统一选用 Landsat 系列影像,分别为 2000 年 7 月 Landsat7 的 ETM+影像、2006 年 7 月 Landsat5 的 TM 影像和 2016 年 8 月的 Landsat OLI 影像,空间分辨率为 30 m。影像季相相同,云量较少,质量完好,避免了因季节差异而造成的影响。在 ENVI 软件中先对每景遥感数据进行辐射定标、大气校正、几何校正,使波段的 DN 值转换成传感器处的反射率,以及消除地物反射受大气和光照等因素产生的影响,然后进行影像的拼接与研究区的裁剪等预处理工作。人口、经济数据从新疆统计年鉴中查得,气象数据下载于中国气象科学数据共享服务网(<http://data.cma.cn/>)。

### 2.2 研究方法

遥感生态指数(RSEI)修正了国家环保部颁布的 EI 指数中属性的空间展现方式,通过主成分变换集成绿色、湿度、热度和干度 4 个人类直观判断生态环境优劣的指标来综合反映区域生态环境,克服了指标单一缺点的同时,又使得各分指标的集成更为合理。其中,绿色指标、湿度指标、热度指标和干度指标分别用植被指数 NDVI、湿度分量  $W_{et}$ 、地表温度 LST 和土壤指数 NDBSI 来代表。

#### (1) 绿色指标

绿色指标是植物生长状态以及营养信息的最佳指示因子,与植物的叶面积指数、覆盖度以及生物量密切相关<sup>[18]</sup>。归一化植被指数(NDVI)是反映地表植被状况的定量值,常应用于森林、草地等植被遥感监测中。

$$NDVI = (N - R) / (N + R) \quad (1)$$

式中, $N$ 代表 landsat TM 数据的近红外波段, $R$ 代表红色波段。

#### (2) 湿度指标

缨帽变换技术实现了对数据的压缩和冗余,其中的湿度是生态环境研究中的一个重要指标,反映了植被、水体、和土壤中的湿度,与土壤退化等生态环境变化息息相关。对于 Landsat 不同传感器数据其表达式不同<sup>[19]</sup>,分别表示如下:

$$\text{Wet(ETM)} = 0.1509B_1 + 0.1973B_2 + 0.3279B_3 + 0.3406B_4 - 0.7112B_5 - 0.4572B_7 \quad (2)$$

$$\text{Wet(TM)} = 0.0315B_1 + 0.2021B_2 + 0.3102B_3 + 0.1594B_4 - 0.6806B_5 - 0.6109B_7 \quad (3)$$

$$\text{Wet(OLI)} = 0.1511B_1 + 0.1973B_2 + 0.3283B_3 + 0.3407B_4 - 0.7117B_5 - 0.4559B_7 \quad (4)$$

$B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$ 、 $B_4$ 、 $B_5$ 、 $B_7$  分别代表 ETM、TM 数据的第 1、2、3、4、5、7 波段反射率和 OLI 数据的 2、3、4、5、6、7 波段反射率。式(2),  $\text{Wet(ETM)}$  表示 Landsat ETM 数据的湿度分量;式(3),  $\text{Wet(TM)}$  表示 Landsat TM 数据的湿度分量;式(4),  $\text{Wet(OLI)}$  代表 Landsat 8 数据计算出的湿度分量。

### (3) 热度指标

代表热度指标的地表温度由经比辐射率校正的温度来代表,热环境问题不管在全球还是在区域,都是亟待解决的现实问题。通过 landsat 数据中的热红外波段,计算亮度温度  $T_b$ ,再进行比辐射率  $\varepsilon$  校正。其表达式为:

$$\text{LST} = T_b / [1 + ((\lambda T_b) / \rho) \varepsilon] - 273.15 \quad (5)$$

$$T_b = K_2 / \left( \frac{K_1}{L_6} + 1 \right) \quad (6)$$

$$L6 = \text{gain} \times DN + \text{bias} \quad (7)$$

式(7)中, DN 代表 landsat 数据像元的灰度值, gain 和 bias 分别为波段增益值和偏置值, L6 代表 TM/TIRS 热红外波段的辐射值;式(6)中,  $K_1$  和  $K_2$  为定标参数,  $T_b$  为亮度温度;式(5),  $\lambda$  为 TM 数据的 6 波段的中心波长 11.5  $\mu\text{m}$ , 为 landsat 8 数据的第 10 波段的中心波长 10.9  $\mu\text{m}$ 。 $\rho$  等于  $1.438 \times 10^{-2}$  mK;  $\varepsilon$  为比辐射率,根据 Sobrino 提出的 NDVI 阈值处理得到<sup>[20]</sup>。

### (4) 干度指标

土壤干化会给区域生态环境造成严重危害。本文利用裸土指数 SI 和建筑指数 IBI 生成的干度指数 (NDBSI) 来代表研究区土壤干化程度:

$$\text{NDBSI} = (SI + IBI) / 2 \quad (8)$$

其中:

$$SI = [(B_5 + B_3) - (B_4 + B_1)] / [(B_5 + B_3) + (B_4 + B_1)] \quad (9)$$

$$IBI = \left\{ \frac{2B_5}{B_5 + B_4} - \left[ \frac{B_4}{B_4 + B_3} + \frac{B_2}{B_2 + B_5} \right] \right\} / \left\{ \frac{2B_5}{B_5 + B_4} + \left[ \frac{B_4}{B_4 + b_3} + \frac{b_2}{b_2 + b_5} \right] \right\} \quad (10)$$

### (5) 构建遥感生态指数

当前,多元统计方法中的主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA) 是一种采取依次垂直旋转坐标轴的方法,将多个变量的信息通过线性变换集中到少数几个特征分量的多维数据压缩技术。RSEI 采用主成分变换来构建遥感综合生态指数,把四个指标主要的信息集中到前面的 1—2 个主成分上,使其既能以单一指标的形式出现,又可以综合以上 4 个指标的信息。该方式的优点就是在构建 RSEI 指数时,集成各指标的权值不是人为确定,而是根据各指标自身的性质以及对各主分量的贡献度来自动客观地确定,从而在计算时很大程度上避免了因人和方法对权重设定不同所导致的结果偏差,使得 RSEI 指数更加具有客观性和可靠性。

需要注意的是,计算得到的 NDVI、NDBSI、LST、Wet 4 个指标的量纲不统一,如果直接用其计算 PCA,会使各指标的权重失衡。因此在做主成分变换前,需要分别对这些指标进行正规化处理,将指标值统一到 0—1 范围之间,在一定程度上削减因时间差异带来的影响。各指标正规化的公式为:

$$NI_i = (I_i - I_{\min}) / (I_{\max} - I_{\min}) \quad (11)$$

式中,  $NI_i$  代表各个指标正规化结果;  $I_i$  表示各个指标在象元  $i$  的值;  $I_{\max}$  为各指标统计的最大值;  $I_{\min}$  为各指

标统计的最小值。

由于研究区玛纳斯湖具有一定的水域,利用 MNDWI 水体指数进行水体提取,掩膜去掉水体信息以避免大片的水域对真正地面的湿度条件及主成分的载荷产生干扰。将正规化后的 4 个指标通过 ENVI 软件合成由波段组成的新影像,借助主成分分析模块进行主成分分析,得到 PC1 及相关统计结果。为了便于分析,对第一主成分进行正负值转置、正规化处理获得遥感生态指数(RSEI)。

$$RSEI_0 = 1 - PC1 \quad (12)$$

$$RSEI = (RSEI_0 - RSEI_{0min}) / (RSEI_{0max} - RSEI_{0min}) \quad (13)$$

式(13)中的 RSEI 为代表区域生态环境状况的遥感生态指数,值越大代表生态质量越好,  $RSEI_{0min}$ 、 $RSEI_{0max}$  分别代表  $RSEI_0$  的最小值和最大值。

### 3 结果与分析

#### 3.1 生态环境指标主成分分析结果

表 1—表 3 分别是研究区 3 个年份 4 个指标的主成分分析结果。从表中可以看出:(1)3 期数据的第一主成分(PC1)和第二主成分(PC2)对 RSEI 的贡献率合计超过 84%。其中,PC1 对 RSEI 的贡献度,2000 年为 65.50%,2006 年为 71.96%,2016 年为 73.83%;(2)分析 4 个指标在 PC1 的贡献率,其中代表绿度的 NDVI 和代表湿度的 Wet 呈正值,代表干度和温度的 NDBSI、LST 为负值,这与现实中绿度和湿度对生态环境起正效应,而干度和温度对生态环境起负效应的情况相符;(3)在 PC2—PC4 中,这些指标忽正忽负,难以解释生态现象,所以,相较于其他分量,PC1 明显地集中了各指标的特征信息,可用于创建遥感生态指数。

表 1 2000 年指标主成分分析

Table 1 Principal component analysis in 2000

参量 Parameters	2000			
	第 1 主成分 PC1	第 2 主成分 PC2	第 3 主成分 PC3	第 4 主成分 PC4
植被指数 NDVI	0.117	0.139	-0.983	0.020
湿度 Wet	0.329	0.788	0.140	-0.501
建筑-裸土指数 NDBSI	-0.376	-0.361	-0.113	-0.846
地表温度 LST	-0.858	0.479	-0.031	0.181
特征值 Eigenvalue	0.0151	0.0043	0.0029	0.0007
特征值贡献率 Percent eigenvalue/%	65.50	18.78	12.59	3.13

NDVI:归一化植被指数,Normalized Difference Vegetation Index; Wet:湿度,Wetness Index; NDBSI:建筑-裸土指数,Building Index and Soil Index; LST:地表温度,Land Surface Temperature

表 2 2006 年指标主成分分析

Table 2 Principal component analysis in 2006

参量 Parameters	2006			
	第 1 主成分 PC1	第 2 主成分 PC2	第 3 主成分 PC3	第 4 主成分 PC4
植被指数 NDVI	0.187	-0.227	-0.838	0.459
湿度 Wet	0.393	0.809	0.101	0.426
建筑-裸土指数 NDBSI	-0.509	-0.197	0.355	0.759
地表温度 LST	-0.743	0.506	-0.401	-0.180
特征值 Eigenvalue	0.0157	0.0041	0.0018	0.0003
特征值贡献率 Percent eigenvalue/%	71.96	18.56	8.33	1.15

#### 3.2 玛纳斯湖湿地生态质量时空变化分析

表 4 统计了研究区 3 个年份 4 个指标和 RSEI 的均值、标准差以及对 PC1 荷载值。统计结果表明,2000—2016 年间,研究区的生态指数 RSEI 从 2000 年的 0.227 下降到 2006 年的 0.183,下降了 19.43%;从 2006 年的

0.183 增加到 2016 年的 0.234,增加了 27.95%。分析表 4 中各分指标对 PC1 的荷载值可以发现,土壤指数 (NDBSI) 和地表温度 (LST) 的特征值绝对值之和均大于植被指数 (NDVI) 和湿度 (Wet) 的特征值之和,表明玛纳斯湖湿地土壤的干化和区域温度对湿地整体生态环境的破坏作用大于植被和湿度对生态环境的优化作用。对生态起正面效应的绿度和湿度中,湿度的贡献率更大,表明湿度对提高玛纳斯湖湿地生态质量的作用更大;对生态协同起负面影响的干度和温度中,温度的贡献率始终大于干度指标。

表 3 2016 年指标主成分分析

Table 3 Principal component analysis in 2016

参量 Parameters	2016			
	第 1 主成分 PC1	第 2 主成分 PC2	第 3 主成分 PC3	第 4 主成分 PC4
植被指数 NDVI	0.065	-0.160	-0.732	0.659
湿度 Wet	0.274	-0.512	0.616	0.533
建筑-裸土指数 NDBSI	-0.402	0.688	0.292	0.530
地表温度 LST	-0.871	-0.490	0.005	-0.028
特征值 Eigenvalue	0.0187	0.0044	0.0019	0.0003
特征值贡献率 Percent eigenvalue/%	73.83	17.24	7.66	1.27

表 4 各年份 4 个指标和遥感生态指数 RSEI 的统计值

Table 4 4 indicators of each year and the statistical value of remote sensing ecological index RSEI

年份 Year	参量 Parameters	植被指数 NDVI	湿度 Wet	建筑-裸土指数 NDBSI	地表温度 LST	遥感生态指数 RSEI
2000	均值	0.530	0.189	0.903	0.747	0.227
	标准差	0.056	0.068	0.057	0.110	0.101
	对 PC1 荷载值	0.117	0.329	-0.376	-0.858	
2006	均值	0.493	0.277	0.886	0.719	0.183
	标准差	0.046	0.072	0.068	0.100	0.097
	对 PC1 荷载值	0.187	0.393	-0.509	-0.743	
2016	均值	0.536	0.211	0.825	0.696	0.234
	标准差	0.037	0.058	0.073	0.124	0.113
	对 PC1 荷载值	0.065	0.274	-0.402	-0.871	

为进一步对 RSEI 进行定量化与可视化分析,将 3 期主成分变换得到的生态环境质量指数计算结果以 0.2 为间隔,划分为 5 个等级:优、良、中、较差、差,如图 2 所示,并对各等分的面积和所占比例进行统计,见表 5。从图 2 上可以直观地看出玛纳斯湖湿地近 20 年来遥感生态指数的变化情况,红色、橘黄色、黄色、浅绿和深绿色分别代表差、较差、中、良和优生态等级。结合实地考察,优等级主要是芦苇湿地分布地,良等级主要是林草地,中等级主要为盐沼,较差等级部分为盐碱地,差等级基本为荒漠。从 3 期 RSEI 图相比较来看,2000 年到 2016 年研究区极大部分充满了红色和橘黄色区域,红色在研究区呈现先增加后减少,橘黄色呈现先减少后增加的态势。黄色、浅绿有所减少,深绿色有所增加,但均不明显。

表 5 反映生态等级和面积的变化,各期面积不等,主要是由于生成 RSEI 时,对水体进行了掩膜,即水体面积没有计算在内。(1)2000 年玛纳斯湖湿地总体的生态状况以较差等级为主,面积占比超过 50%,其次为差等级,所占面积比重为 41.78%,中等及以上生态等级面积仅占 5.01%。(2)2006 年总体生态状况以差等级为主,面积占比为 76.19%,相比 2000 年面积增加了 1528.36 km<sup>2</sup>。较差等级面积减少了 1387.72 km<sup>2</sup>,占 2000 年面积的 59.38%,中等及以上生态等级面积也有所减少,占比减少至 2.3%。(3)2016 年生态状况较差等级占比为 57.47%,差等级占比为 37.54%,中等及以上生态等级面积所占比重为 4.99%。2006 年到 2016 年 RSEI 增加的幅度要大于 2000 年到 2006 年减少的幅度。与此同时 2000 年 RSEI 等级为良和优的面积比例为 0.95%,2006 年面积比例为 1.17%,到了 2016 年所占比例为 1.59%。综合可以看出 2000 年到 2016 年 RSEI 呈上升状

态,说明玛纳斯湖湿地近 20 年来生态环境质量有所改善。

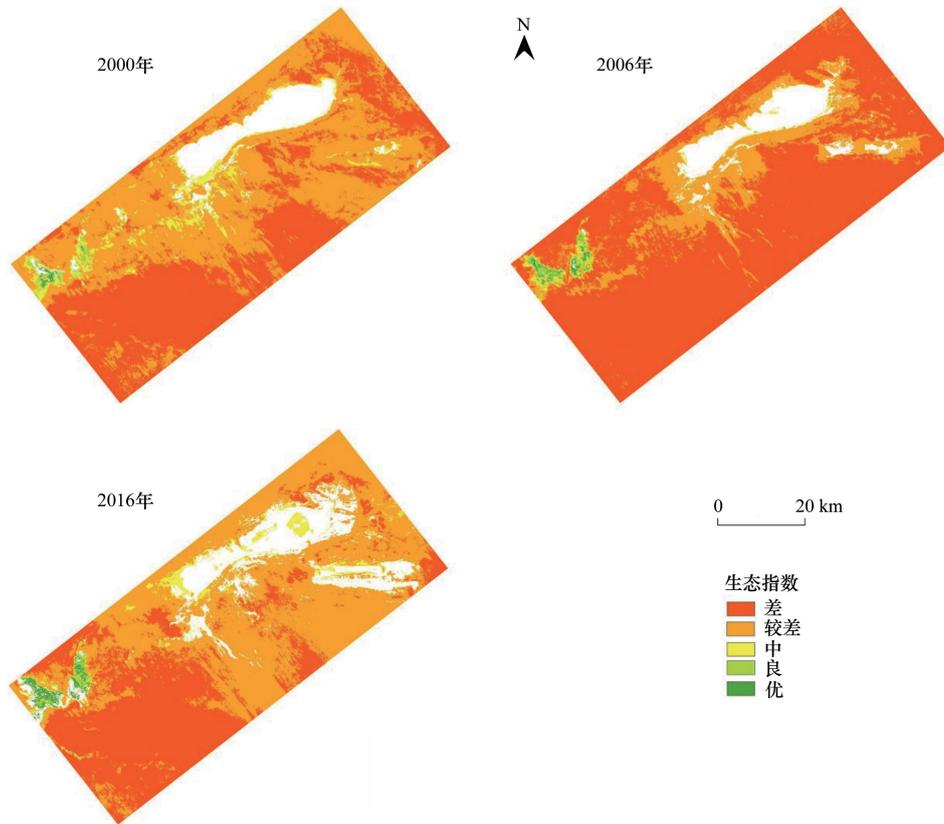


图 2 玛纳斯湖湿地 2000—2016 年生态指数图

Fig.2 ecosystem index map of wetland by Manas Lake in 2000—2016 years

RSEI:遥感生态指数,Remote Sensing Based Ecological Index

表 5 研究区 2000—2016 年生态环境评价级别面积统计

Table 5 Area statistic of RSEI level from 2000 to 2016 in study area

RSEI 等级 RSEI grade	2000		2006		2016	
	面积 Area/km <sup>2</sup>	%	面积 Area/km <sup>2</sup>	%	面积 Area/km <sup>2</sup>	%
差 Bad(0—0.2)	1835.04	41.78	3363.40	76.19	1548.31	37.54
较差 Poor(0.2—0.4)	2336.94	53.21	949.22	21.5	2370.60	57.47
中 Moderate(0.4—0.6)	178.36	4.06	49.71	1.13	140.18	3.4
良 Good(0.6—0.8)	29.40	0.67	33.57	0.76	26.52	0.64
优 High(0.8—1.0)	12.10	0.28	18.31	0.41	39.04	0.95
合计 Total	4391.85	100	4414.22	100	4124.64	100

RSEI:遥感生态指数,Remote Sensing Based Ecological Index

### 3.3 玛纳斯湖湿地生态质量时空差异分析

为了分析玛纳斯湖湿地近 20 年来生态质量时空差异变化,在基于 RSEI 指数的基础上,对玛纳斯湖湿地 2000 年和 2016 年 RSEI 指数进行差值变化检测,得到图 3。图中红色部分代表生态环境质量变差的区域;黄色代表生态环境质量没有明显变化的区域;绿色代表生态环境质量有所改善的区域。表 6 是玛纳斯湖湿地 2000—2016 年 RSEI 检测结果统计,可以知道,三类面积占比由大到小为:不变、变好、变差。从 2000 年到 2016 年,玛纳斯湖湿地生态环境状况不变或者变化较小的面积为 3543.00 km<sup>2</sup>, 占总面积的 87.8%;生态环境状况改善的面积为 8.18 km<sup>2</sup>, 占总面积的 8.18%;生态环境状况变差的面积为 4.02 km<sup>2</sup>, 比例为 4.02%。

对干旱区生态环境而言,绿洲是斑块,河流是廊道,荒漠、戈壁为基底。从图 3 来看,生态质量变差的区域

集中在下游廊道周围,变好的区域分布在湖周及较远的外围。1960 年以来,玛纳斯河水被大量引入灌渠,下游河流缺水断流,致使联系河流上下游的廊道逐渐消失,廊道最终也演变成了基底环境。程维明、黄培佑等人的研究表明,玛纳斯湖的干涸对湖周及廊道周围低地沼生植被(如芦苇等)具有明显影响,对广大荒漠区旱生性植物群落(以梭梭为主体)的生态环境并未有大的影响<sup>[21]</sup>,资料也表明此区旱生植被主要受冬季降水因素制约,与地下水条件无直接联系<sup>[17]</sup>,这与本研究得出的生态环境检测结果一致。

4 讨论

4.1 自然因素对生态环境变化的影响

绿度、湿度、热度和干度是生态环境的重要组成部分,结合 4 个指标的主要信息建立的生态指数可较好的反映玛纳斯湖湿地生态环境质量状况。图 4 是玛纳斯湖湿地年平均气温和年降水量变化,可以看出,1988—2016 年,玛纳斯湖地区的年降水量和年均温度呈上升趋势。图 5 是玛纳斯河的年径流量变化特征,径流量从 1988 年的  $5 \times 10^8 \text{ m}^3$  增长到了 2010 年的  $16.57 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,一定程度上增加了区域的水汽含量,提高了土壤的湿度。

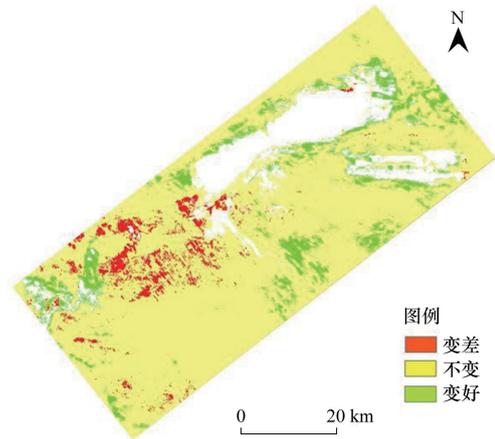


图 3 玛纳斯湖湿地 2000—2016 年 RSEI 变化检测图  
Fig.3 Detection map of RSEI change of wetland by Manas Lake in 2000—2016 years

表 6 玛纳斯湖湿地 2000—2016 年 RSEI 检测

Table 6 Manas Lake wetland for 2000—2016 years RSEI detection

类别 Class	2000—2016			
	极差 Level	类面积 Class area/km <sup>2</sup>	级面积 Level area/km <sup>2</sup>	比例 Proportion/%
变差 Degraded	-4	1.34	162.23	4.02
	-3	2.43		
	-2	6.48		
	-1	151.98		
不变 No change	0	3543.00	3543.00	87.80
变好 Improved	1	295.83	330.25	8.18
	2	25.73		
	3	7.71		
	4	0.97		

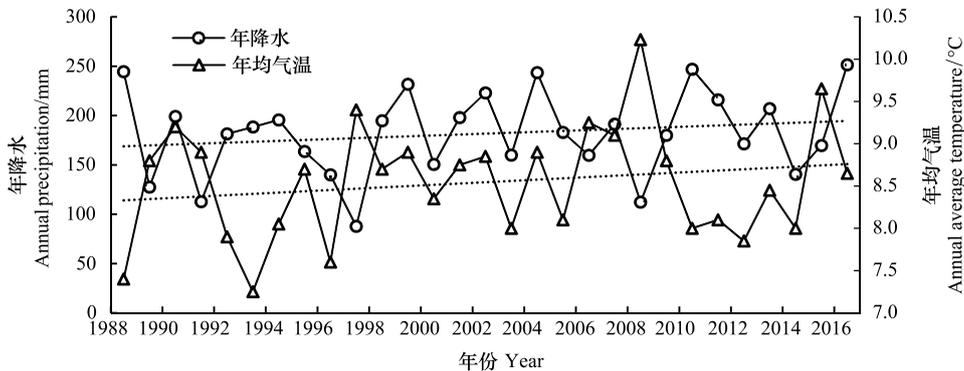


图 4 玛纳斯湖湿地年平均气温和年降水量变化

Fig.4 Change of annual mean temperature and annual precipitation in Manas Lake Wetland

在整个研究区域中,与生态环境呈正相关的湿度和与生态环境呈负相关的温度对生态指数 RSEI 的贡献率最大,这与全球气候变化背景下,中国西北干旱区气候呈现明显的暖湿化转型相对应<sup>[22-23]</sup>。水分条件和温度都是制约植物生长的主要因子,影响着植物群落的生态学过程和植物的生长周期<sup>[24]</sup>。在研究期间内对生态环境起正相关的绿度和干度对 RSEI 指数的贡献率最小,主要是由于研究区地处干旱区,地面植被原本就很稀少,加上蒸发量大干旱化加剧,不利于地表植物的生长和生态的恢复。

#### 4.2 人类活动对生态环境变化的影响

干旱区湖泊水资源环境对社会经济可持续发展和生态环境质量起着决定性作用,而干旱区水资源平衡状态很容易被人类活动干扰<sup>[25]</sup>。玛纳斯河流域是天山北坡经济带的核心区域,农业是流域内主导经济产业。从图 6 可以看出流域内国民生产总值由 1988 年  $31.21 \times 10^8$  元增长到 2016 年的  $1372.65 \times 10^8$  元,人口由  $126.01 \times 10^4$  人增长到 2016 年的  $154.68 \times 10^4$  人。国内外已有研究表明,经济、农业生产水平的提高,生活方式的转变以及劳动力转移都可能影响到生态环境的变化<sup>[26-27]</sup>。事物发展的规律都具有两面性,近 50 年来,伴随玛纳斯河流域土地资源的大规模开发,为保证农业用水,人类活动通过修筑大海子、夹河子、大泉沟和蘑菇湖等大量水利设施拦截入湖地表径流,改变了水资源的原始流动格局,加剧了下游湖泊水资源的短缺,导致湖泊迅速萎缩、咸化甚至干涸,严重危及湖泊及其毗邻区域的生态环境,造成湿地生物多样性丧失、湖滨地区荒漠化加剧等问题。

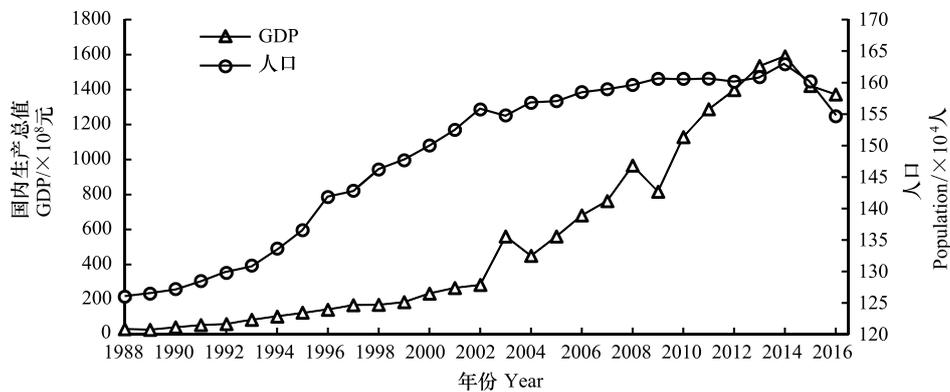


图 6 玛纳斯河流域人口和 GDP 变化

Fig.6 Population and GDP changes in the Manas Basin

## 5 结论

(1) 通过对玛纳斯湖湿地 3 期遥感影像数据的处理分析,2000、2006 和 2016 年 RSEI 均值分别为 0.227、0.183、0.234。对 RSEI 生态等级面积进行统计分析、差值处理,结果表明,近 20 年来,玛纳斯湖湿地生态环境整体上较为脆弱,但受全球气候变化的影响,湿地的生态环境得到一定的改善。

(2) 从耦合 RSEI 指数的 4 个指标来看,绿度和湿度对 RSEI 指数起正面作用,干度和热度起负面作用。其中绿度指标对 RSEI 指数的贡献度最小,主要是由于研究区地处干旱区,气候干燥少雨,地表植被稀疏,加上玛纳斯河中上游生产用水挤占了下游生态用水,从而影响了湿地植被的生长。

(3) 玛纳斯湖是准噶尔盆地荒漠生态系统中重要的环境资源,湖泊萎缩、干涸后将对该地区的生态环境

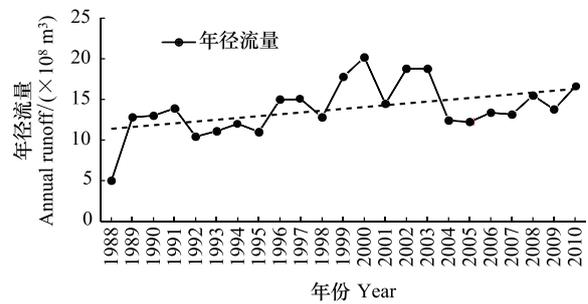


图 5 玛纳斯河年径流量

Fig.5 Annual runoff of Manas River

带来毁灭性的打击。新世纪,在国家“五位一体”的现代化布局下,玛纳斯河流域在发展农业经济的同时,应注意湿地生态环境变化与流域水资源的优化调控,这对流域可持续发展及丝绸之路经济带建设方面具有重要意义。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] Huang J P, Yu H P, Dai A G, Wei Y, Kang L T. Drylands face potential threat under 2°C global warming target. *Nature Climate Change*, 2017, 7 (6): 417-422.
- [ 2 ] 庞珺. 基于生态文明的干旱区湖泊湿地景观环境综合评价及改善对策研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
- [ 3 ] 李晓锋, 姚晓军, 孙美平, 宫鹏, 安丽娜, 祁苗苗, 高永鹏. 2000—2014 年我国西北地区湖泊面积的时空变化. *生态学报*, 2018, 38(1): 96-104.
- [ 4 ] Gupta K, Kumar P, Pathan S K, Sharma K P. Urban neighborhood green index—a measure of green spaces in urban areas. *Landscape and Urban Planning*, 2012, 105(3): 325-335.
- [ 5 ] Ivits E, Cherlet M, Mehl W, Sommer S. Estimating the ecological status and change of riparian zones in Andalusia assessed by multi-temporal AVHRR datasets. *Ecological Indicators*, 2009, 9(3): 422-431.
- [ 6 ] Moran M S, Peters-Lidard C D, Watts J M, McElroy S. Estimating soil moisture at the watershed scale with satellite-based radar and land surface models. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 2004, 30(5): 805-826.
- [ 7 ] 徐涵秋. 城市遥感生态指数的创建及其应用. *生态学报*, 2013, 33(24): 7853-7862.
- [ 8 ] Badreldin N, Goossens R. A satellite-based disturbance index algorithm for monitoring mitigation strategies effects on desertification change in an arid environment. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2015, 20(2): 263-276.
- [ 9 ] 张浩, 杜培军, 罗洁琼, 李二珠. 基于遥感生态指数的南京市生态变化分析. *地理空间信息*, 2017, 15(2): 58-62.
- [ 10 ] 刘智才, 徐涵秋, 李乐, 唐菲, 林中立. 基于遥感生态指数的杭州市城市生态变化. *应用基础与工程科学学报*, 2015, 23(4): 728-739.
- [ 11 ] 徐涵秋. 区域生态环境变化的遥感评价指数. *中国环境科学*, 2013, 33(5): 889-897.
- [ 12 ] 姚永慧, 励惠国. 新疆玛纳斯湖演化的地貌特征. *干旱区研究*, 2010, 27(1): 57-63.
- [ 13 ] 郭敬辉, 汤奇成, 郭知教, 等. 新疆水文地理. 北京: 科学出版社, 1966: 36-41.
- [ 14 ] 姚永慧, 汪小钦, 周成虎, 徐美, 张百平, 励惠国. 新疆玛纳斯湖近 50 年来的变迁. *水科学进展*, 2007, 18(1): 17-23.
- [ 15 ] 彭丽媛. 玛纳斯河流域土地利用变化的生态环境质量评价[D]. 石河子: 石河子大学, 2017.
- [ 16 ] 中国科学院新疆综合考察队. 新疆地貌. 北京: 科学出版社, 1978: 217-218.
- [ 17 ] 黄培佑, 黄丕振, 顾春光. 新疆玛纳斯湖的干涸对周围植被影响初探. *干旱区地理*, 1987, 10(4): 30-36.
- [ 18 ] Goward S N, Xue Y K, Czajkowski K P. Evaluating land surface moisture conditions from the remotely sensed temperature/vegetation index measurements: an exploration with the simplified simple biosphere model. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 79(2/3): 225-242.
- [ 19 ] 李博伦, 迺超普, 颜晓元. Landsat8 陆地成像仪影像的缨帽变换推导. *测绘科学*, 2016, 41(4): 102-107.
- [ 20 ] Sobrino J A, Jiménez- Muñoz J C, Paolini L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 90(4): 434-440.
- [ 21 ] 程维明, 周成虎, 李建新. 新疆玛纳斯湖景观演化及其生态环境效应. *第四纪研究*, 2001, 21(6): 560-565, 577-578.
- [ 22 ] 丁文学. 新疆玛纳斯河径流量年内变化与气候因子的非线性相关分析. *水利规划与设计*, 2017, (1): 56-63.
- [ 23 ] 沈永平, 王国亚. IPCC 第一工作组第五次评估报告对全球气候变化认知的最新科学要点. *冰川冻土*, 2013, 35(5): 1068-1076.
- [ 24 ] Liu X F, Zhang J S, Zhu X F, Pan Y Z, Liu Y X, Zhang D H, Lin Z H. Spatiotemporal changes in vegetation coverage and its driving factors in the Three-River Headwaters Region during 2000-2011. *Journal of Geographical Sciences*, 2014, 24(2): 288-302.
- [ 25 ] 冯异星, 罗格平, 周德成, 韩其飞, 鲁蕾, 许文强, 朱磊, 尹昌应, 戴丽, 李艳忠. 近 50a 土地利用变化对干旱区典型流域景观格局的影响——以新疆玛纳斯河流域为例. *生态学报*, 2010, 30(16): 4295-4305.
- [ 26 ] Ostwald M, Chen D L. Land-use change: impacts of climate variations and policies among small-scale farmers in the Loess Plateau, China. *Land Use Policy*, 2006, 23(4): 361-371.
- [ 27 ] Vicente-Serrano S M, Lasanta T, Romo A. Analysis of spatial and temporal evolution of vegetation cover in the Spanish central Pyrenees: role of human management. *Environmental Management*, 2004, 34(6): 802-818.