

# 1990—2020 年阿拉尔垦区生态环境质量 动态监测与评价

代云豪<sup>1</sup>, 管瑶<sup>1</sup>, 刘孟琴<sup>2</sup>, 张钦凯<sup>1</sup>, 贺兴宏<sup>1</sup>

(1.塔里木大学 水利与建筑工程学院, 新疆 阿拉尔 843300; 2.西南科技大学 环境与资源学院, 四川 绵阳 621000)

**摘要:** [目的] 借助遥感生态指数(RSEI)对阿拉尔垦区生态环境质量进行动态监测与评价,分析 1990—2020 年研究区生态环境变化及驱动因素,为阿拉尔垦区发展和生态保护提供科学参考。[方法] 选取 1990,2000,2011 和 2020 年 4 期 Landsat TM/ETM<sup>+</sup>/OLI 影像数据,耦合绿度指标(NDVI)、湿度指标(WET)、干度指标(NDSI)、热度指标(LST)构建 RSEI,结合研究区气候、人口、经济等驱动因素探究阿拉尔垦区生态环境质量动态变化。[结果] 1990—2020 年阿拉尔垦区 RSEI 均值从 0.344 上升至 0.468,生态环境质量总体好转;1990—2020 年阿拉尔垦区生态环境质量变好区域主要位于垦区北部和南部地区,改善面积达 1 756.36 km<sup>2</sup>,占总面积 45.92%;生态环境质量受自然因素和社会经济因素影响,社会经济因素对阿拉尔垦区生态环境质量变化起主导作用。[结论] 近 30 年来阿拉尔垦区生态环境得到有效改善。遥感生态指数(RSEI)在一定程度上可以快速、有效地反映 1990—2020 年阿拉尔垦区生态环境质量变化。

**关键词:** 阿拉尔垦区; 遥感生态指数; 生态环境; 动态监测

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1000-288X(2022)02-0122-07

**中图分类号:** X821, X171.1

**文献参数:** 代云豪, 管瑶, 刘孟琴, 等.1990—2020 年阿拉尔垦区生态环境质量动态监测与评价[J].水土保持通报, 2022, 42(2): 122-128. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.02.017; Dai Yunhao, Guan Yao, Liu Mengqin, et al. Dynamic monitoring and evaluation of ecological environment quality in Alar reclamation area from 1990 to 2020 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(2): 122-128.

## Dynamic Monitoring and Evaluation of Ecological Environment Quality in Alar Reclamation Area from 1990 to 2020

Dai Yunhao<sup>1</sup>, Guan Yao<sup>1</sup>, Liu Mengqin<sup>2</sup>, Zhang Qinkai<sup>1</sup>, He Xinghong<sup>1</sup>

(1.College of Water Conservancy and Architecture Engineering, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China;  
2.College of Environment and Resources, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621000, China)

**Abstract:** [Objective] The ecological environment quality in Alar reclamation area was evaluated with the help of remote sensing ecological index (RSEI), to analyze the changes and driving factors of ecological environment in the study area in recent 30 years, in order to provide scientific reference for the development and ecological protection of Alar reclamation area. [Methods] Landsat TM/ETM<sup>+</sup>/OLI image data in 1990, 2000, 2011 and 2020 were selected to construct RSEI by coupling green index (NDVI), humidity index (WET), dryness index (NDSI) and heat index (LST). The driving factors such as climate, population and economy were considered to explore the dynamic changes of eco-environmental quality in Alar reclamation area. [Results] The average value of RSEI in Alar reclamation area increased from 0.344 to 0.468 during 1990—2020, and the ecological environment quality was generally improved. From 1990 to 2020, the quality of ecological environment in the Alar reclamation area improved mainly in the northern and southern areas. The improved area reached to 1 756.36 km<sup>2</sup>, accounting for 45.92% of the total area. The ecological environment quality was affected by natural factors and socio-economic factors. Changes in the quality of the ecological environment in the Erken area played a leading role. [Conclusion] the ecological environment in Alar

收稿日期: 2021-09-24

修回日期: 2021-11-10

资助项目: 新疆生产建设兵团重大项目子课题“新疆空中水资源利用研究与示范”(2017AA002); 新疆生产建设兵团重点产业项目(2021DB017); 中国农业大学/塔里木大学联合基金项目(2019TC157); 塔里木大学研究生科研创新项目(TDGR1202042)

第一作者: 代云豪(1996—), 男(汉族), 四川省绵竹市人, 硕士研究生, 研究方向为 3S 技术在农业工程中的应用。Email: 917473073@qq.com.

通讯作者: 贺兴宏(1981—), 男(汉族), 甘肃省张掖市人, 硕士, 教授, 主要从事水资源高效利用方面的研究。Email: hexinghong0611@163.com.

reclamation area has been effectively improved in recent 30 years, and the remote sensing ecological index can effectively reflect the changes of ecological environment quality in Alar reclamation area.

**Keywords:** Alar reclamation area; remote sensing ecological index; ecological environment; dynamic monitor

新疆干旱区沙尘天气较多,年降雨量少,生态环境十分脆弱<sup>[1]</sup>。生态环境质量的优劣将直接影响干旱区人类生存、生活和生产<sup>[2-3]</sup>。准确了解干旱区生态环境质量状况,探究区域发展对生态变化的影响,对保护区域的生态环境,维护新疆社会稳定和实现长治久安,加快丝绸之路经济带建设具有重大意义<sup>[4]</sup>。

遥感技术具有高效性、快速性、实时性监测等优点,多年来被广泛应用于生态环境质量动态监测<sup>[5-10]</sup>。早期国外 Carlson 等<sup>[11]</sup>、Mozumder 等<sup>[12]</sup>分别利用遥感指数评价城市气候环境和自然区环境。2006年我国环保总局提出《生态环境状况评价技术规范》规范生态环境状况指数(EI),2013年徐涵秋教授提出遥感生态指数(RSEI)并对福州城市进行生态环境质量评价<sup>[13-14]</sup>,结果表明 RSEI 对生态环境质量评价可行性较强。随后 RSEI 被众多学者作为对生态环境质量评价的常用指数,并不再局限于城市生态环境质量监测,张乃明等<sup>[15]</sup>基于 RSEI 对新疆干旱区博乐市生态变化分析,结果表明近 20 a 来博乐市生态环境质量明显改善;王丽春等<sup>[16]</sup>基于 RSEI 并结合自然因素、人类生活因素对新疆玛纳斯湖湿地生态变化进行综合评价;刘立冰等<sup>[17]</sup>基于 RSEI 对自然保护区龙溪一虹口的生态环境状况进行评估。目前 RSEI 对生态环境质量评价广泛应用在城市<sup>[18-23]</sup>、流域<sup>[24-25]</sup>、湿地<sup>[26]</sup>、干旱区等<sup>[27-30]</sup>研究区域,众多研究表明 RSEI 耦合了生态环境质量的重要指标因子,对生态环境质量评价性较高,具有普遍适用性,能对研究区生态环境质量做出实时监测,对研究区生态环境质量保护和生态环境质量治理具有重要意义。

2014年新疆环保厅印发《贯彻落实第二次中央新疆工作座谈会精神支持新疆生态环境保护的实施细则》明确“三条红线”护驾南疆,2021年新疆生产建设兵团提出加强“三线一单”生态环境分区管控,对南疆三地州片区提出加强绿洲边缘生态保护与修复,统筹推进山水林田湖草沙治理。阿拉尔垦区作为南疆地区重要的农业地之一,紧邻塔克拉玛干沙漠,生态环境十分脆弱,是南疆推进绿洲边缘沙漠治理的重点地区之一。

本研究选取 1990—2020 年 Landsat 系列四期影像数据,耦合绿度指标(NDVI)、湿度指标(WI)、干度指标(NDSI)、热度指标(LST)构建遥感生态指数(RSEI),分析阿拉尔垦区近 30 a 来生态环境质量时空格局变化,结合驱动因素分析阿拉尔垦区生态质量

变化规律,为阿拉尔垦区生态环境保护和可持续发展提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

阿拉尔垦区(东经 80°30′—81°58′,北纬 40°22′—40°57′)位于我国新疆维吾尔自治区南部,是新疆维吾尔自治区直辖县级市,紧邻塔克拉玛干沙漠。阿拉尔垦区总人口 40.9 万人,总面积 4 197.58 km<sup>2</sup><sup>[31]</sup>,截至 2020 年末垦区国内生产总值已达 332 亿元。垦区地势由西北向东南倾斜,属暖温带极端大陆性干旱荒漠气候,年均气温 10~12 °C,年均降水量为 40.1~82.5 mm,年均蒸发量 1 876.6~2 558.9 mm,垦区生产总值主要依靠农业生产,主要农作物以棉花、红枣、苹果、香梨为主<sup>[31-32]</sup>。

### 1.2 数据来源

数据来源地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>),选取 1990 年 8 月 2 日的 Landsat 5TM, 2000 年 8 月 5 日和 2011 年 8 月 1 日的 Landsat 7ETM<sup>+</sup>, 2020 年 9 月 5 日的 Landsat 8 OLI 遥感影像 4 景。经济状况、人口数据等来源于阿拉尔垦区和新疆生产建设兵团统计年鉴。

### 1.3 方法

1.3.1 数据处理 原始影像利用 ENVI 5.3 进行几何校正、辐射定标、大气校正等预处理工作。其中 Landsat 7 机载扫描行校正器在 2003 年 5 月发生故障,导致影像出现数据条带丢失,故 2011 年影像数据利用 ENVI 5.3 中的 Landsat\_gapfill 插件去条带再预处理。

#### 1.3.2 生态指数因子

(1) 绿度指标。NDVI(归一化植被指数),常作为植物生长状况监测与生态环境应用等<sup>[13]</sup>,NDVI 负值表示地面覆盖为云、水、雪等;0 表示有岩石或裸土等;NDVI 正值表示有植被覆盖。计算公式为:

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (1)$$

(2) 湿度指标。WET。通过遥感缨帽变换获取湿度指标,该指标与生态密切相关,可反映水体和植物、土壤的湿度情况<sup>[13,16]</sup>。计算公式为:

$$WET = C_1 \cdot \rho_{blue} + C_2 \cdot \rho_{green} + C_3 \cdot \rho_{red} + C_4 \cdot \rho_{nir} + C_5 \cdot \rho_{swir1} + C_6 \cdot \rho_{swir2} \quad (2)$$

(3) 干度指标。NDSI(干度指数)由 IBI(建筑指数)和 SI(裸土指数)构建<sup>[13]</sup>。计算公式为:

$$IBI = \left( \frac{2\rho_{swirl} - \rho_{nir} - \rho_{green}}{\rho_{swirl} + \rho_{nir} - \rho_{nir} + \rho_{red} - \rho_{green} + \rho_{swirl}} \right) / \left( \frac{2\rho_{swirl} + \rho_{nir} + \rho_{green}}{\rho_{swirl} + \rho_{nir} + \rho_{nir} + \rho_{red} + \rho_{green} + \rho_{swirl}} \right) \quad (3)$$

$$SI = \frac{(\rho_{swirl} + \rho_{red}) - (\rho_{nir} + \rho_{blue})}{(\rho_{swirl} + \rho_{red}) + (\rho_{nir} + \rho_{blue})} \quad (4)$$

$$NDSI = (IBI + SI) / 2 \quad (5)$$

式中: $\rho_{blue}$ 、 $\rho_{green}$ 、 $\rho_{red}$ 、 $\rho_{nir}$ 、 $\rho_{swirl1}$ 、 $\rho_{swirl2}$ 分别为蓝光波段、绿光波段、红光波段、近红外波段、短红外波段 1 和短红外波段 2 反射率。Landsat TM/ETM<sup>+</sup>中  $C_1 = 0.0315$ ,  $C_2 = 0.202$ ,  $C_3 = 0.3102$ ,  $C_4 = 0.1594$ ,  $C_5 = -0.6806$ ,  $C_6 = -0.6109$ ; Landsat OLI 中  $C_1 = 0.1511$ ,  $C_2 = 0.1972$ ,  $C_3 = 0.03283$ ,  $C_4 = 0.3407$ ,  $C_5 = -0.7117$ ,  $C_6 = -0.4559$ 。

(4) 热度指标。LST(地表温度),本研究中 Landsat TM/ETM<sup>+</sup>将灰度值(DN)转换成相应的热辐射强度,然后根据热辐射强度推算相应的地表亮度温度值<sup>[30]</sup>。Landsat OLI 采用大气校正法反演 LST<sup>[33]</sup>。计算公式分别为:

Landsat TM/ETM<sup>+</sup>:

$$L_\lambda = L_{\min(\lambda)} + [L_{\max(\lambda)} - L_{\min(\lambda)}] Q_{dn} / (Q_{\max} - Q_{\min}),$$

$$T = K_2 / \ln[K_1 / L_\lambda + 1], \quad LST = T - 273.15 \quad (6)$$

式中: $L_\lambda$ 为传感器所接收到的辐射强度; $Q_{dn}$ 为像元灰度值; $Q_{\max}$ 为最大 DN 值; $Q_{\min}$ 为最小 DN 值; $L_{\max(\lambda)}$ 为接收到最大辐射强度; $L_{\min(\lambda)}$ 为接收到最小辐射强度; $T$ 为黑体在热红外波段的辐射亮度,式中各参数可分别从 Landsat TM/ETM<sup>+</sup>影响数据头文件中读取;Landsat TM 中  $K_1 = 60.776 \text{ MW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$ ,  $K_2 = 1260.56 \text{ K}$ 。Landsat ETM<sup>+</sup>中  $K_1 = 66.6093 \text{ MW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$ ,  $K_2 = 1282.7108 \text{ K}$ 。

Landsat OLI:

$$L_\lambda = [\varepsilon B(LST) + (1 - \varepsilon)L \uparrow] \tau + L \downarrow, \quad (7)$$

$$B(LST) = [L_\lambda - L \downarrow - \tau(1 - \varepsilon)L \uparrow] / \tau\varepsilon,$$

$$LST = K_2 / \ln[K_1 / B(LST) + 1]$$

式中: $L_\lambda$ 为热红外辐射亮度值; $\varepsilon$ 代表地表比辐射

率; $L \uparrow$ 为大气向上辐射亮度; $L \downarrow$ 为大气向下辐射亮度; $B(LST)$ 是黑体热辐射亮度;LST 则是地表真实温度(K); $\tau$ 指大气在热红外波段的透过率; $K_1 = 774.89 \text{ MW}/(\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$ ,  $K_2 = 1321.08 \text{ K}$ 。

1.3.3 遥感生态指数 考虑水体对湿度指标的影响,阿拉尔垦区内多浪水库、胜利水库、上游水库及塔里木河水域面积较大,故将其研究区水域掩膜处理,不再考虑水体面积变化<sup>[21]</sup>。考虑到 4 个指标的量纲不统一,将绿度指标、湿度指标、干度指标、热度指标归一化处理耦合进行主成分分析,获取 PC<sub>1</sub> 做减法运算得到初始 RSEI<sub>0</sub>。RSEI<sub>0</sub> 归一化处理数值介于 0~1,当遥感生态指数值越高,则表明生态环境质量越好。

$$X_i = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (8)$$

$$RSEI = f(\text{NDVI}, \text{WET}, \text{NDSI}, \text{LST}) \quad (9)$$

$$RSEI_0 = 1 - \{PC_1 [f(\text{NDVI}, \text{WET}, \text{NDSI}, \text{LST})]\} \quad (10)$$

$$RSEI = (RSEI_0 - RSEI_{\min}) / (RSEI_{\max} - RSEI_{\min}) \quad (11)$$

式中: $X_i$ 为各指标归一化后值; $X$ 为各个指标; $X_{\min}$ ,  $X_{\max}$ 分别代表各指标的最小值和最大值; $f(\text{NDVI}, \text{WET}, \text{NDSI}, \text{LST})$ 为 4 个指标合成;PC<sub>1</sub> [ $f(\text{NDVI}, \text{WET}, \text{NDSI}, \text{LST})$ ]表示第一主成分;RSEI<sub>0</sub>为遥感生态指数初始值;RSEI<sub>min</sub>表示遥感生态初始值中的最小值;RSEI<sub>max</sub>表示遥感生态初始值中的最大值。

## 2 结果与分析

### 2.1 遥感生态指数主成分分析

遥感生态指数进行主成分分析(表 1),由分析结果可知,1990—2020 年 PC<sub>1</sub>, PC<sub>2</sub>, PC<sub>3</sub>, PC<sub>4</sub> 贡献率依次降低,1990—2020 年 PC<sub>1</sub> 的特征值贡献率分别为 91.53%, 89.41%, 91.17% 和 84.00%, 平均 89.03%。由此可见 PC<sub>1</sub> 涵盖了超过 85% 的 4 类指标信息,表明 PC<sub>1</sub> 适用于构建遥感生态指数且可对阿拉尔垦区生态环境质量进行评价。

表 1 阿拉尔垦区遥感生态指数主成分分析结果

主成分	1990 年		2000 年		2011 年		2020 年	
	特征值	贡献率/%	特征值	贡献率/%	特征值	贡献率/%	特征值	贡献率/%
PC <sub>1</sub>	0.061	91.53	0.085	89.41	0.064	91.17	0.042	84.00
PC <sub>2</sub>	0.038	5.75	0.007	7.22	0.005	6.82	0.006	12.61
PC <sub>3</sub>	0.011	2.04	0.002	2.53	0.001	1.47	0.001	2.90
PC <sub>4</sub>	0.001	0.67	0.001	0.83	0.001	0.54	0.001	0.48



## 2.2 阿拉尔垦区生态环境质量变化分析

2.2.1 遥感生态指数均值 ENVI 5.3 中统计 1990—2020 年 4 期遥感生态指数均值(表 2),1990—2000 年 RSEI 均值上升了 0.027,增长幅度较小。2000—2011 年 RSEI 均值上升趋势明显,2000—2011 年 RESI 均值从 0.371 增加到 0.468,上升了 0.105,增长率为 22.06%。2011—2020 年 RSEI 均值降低了 0.008,略有下降。1990—2020 年期间,RSEI 均值呈现“上升→上升→下降”过程,整体表现为增长状态,增长率达到了 26.49%,但 RSEI 均值均低于 0.5,生态环境质量有待继续保持和提升。由此,近 30 a 阿拉尔垦区生态环境质量变化可从 1990—2011 年和 2011—2020 年 2 个阶段分析。

表 2 阿拉尔垦区 1990—2020 年 RSEI 生态均值

指标	1990 年	2000 年	2011 年	2020 年
RSEI 均值	0.344	0.371	0.476	0.468

2.2.2 生态环境质量空间分布 为了直观反映阿拉尔垦区生态环境质量变化,将 RSEI 划分为差(0~0.2)、较差(0.2~0.4)、中(0.4~0.6)、良(0.6~0.8)和优(0.8~1)5 个等级<sup>[13]</sup>,绘制 1990—2020 年阿拉尔垦区生态环境质量等级分布图(图 1),统计 1990—2020 年各年份阿拉尔垦区生态环境质量等级面积(表 3)。结合奥维地图和实地考察,阿拉尔垦区生态

环境质量等级中差等级主要为沙漠区域,较差等级主要为重度盐碱地,中等级主要为稀疏草地和城市居民地,良等级主要是水域附近和部分耕地,优等级主要为林地、耕地。1990 年阿拉尔垦区生态环境质量以差等级和较差等级为主,差、较差等级面积所占比例达到近 65%,垦区生态环境质量中等级以上区域均匀分布在塔里木河两岸;2000 年生态环境质量分布变化不大,但优等级面积增加 193.5 km<sup>2</sup>,较 1990 年上升 4.96%;2011 年阿拉尔垦区的 RSEI 均值上升,差、较差等级面积较 2000 年分别下降 14.35%和 4.89%,中等级以上面积大幅度增加,中优良等级增幅分别达 6.85%和 5.65%,垦区西北部地区分布变化最为明显,表明生态环境质量得到较大改善;2020 年较 2011 年良等级面积增加 6.29%,优等级面积下降 5.34%。1990—2011 年,阿拉尔垦区生态质量分布发生明显变化,中等级以上面积占比超过 58%;2011—2020 年中等级以上面积超过 56%。以 2011 年为分界点,1990—2020 年阿拉尔垦区生态环境质量中,差等级变化为“升—降—降”,较差等级为“降—降—升”,中等级为“降—升—降”,良等级为“升—升—升”,优等级为“升—升—降”,良等级面积增幅 12.91%,增加面积 499.03 km<sup>2</sup>,优等级面积增幅 6.54%,增加面积 253.39 km<sup>2</sup>。综上所述,阿拉尔垦区近 30 a 生态环境质量整体得到改善,生态保护和建设取得较好成绩。

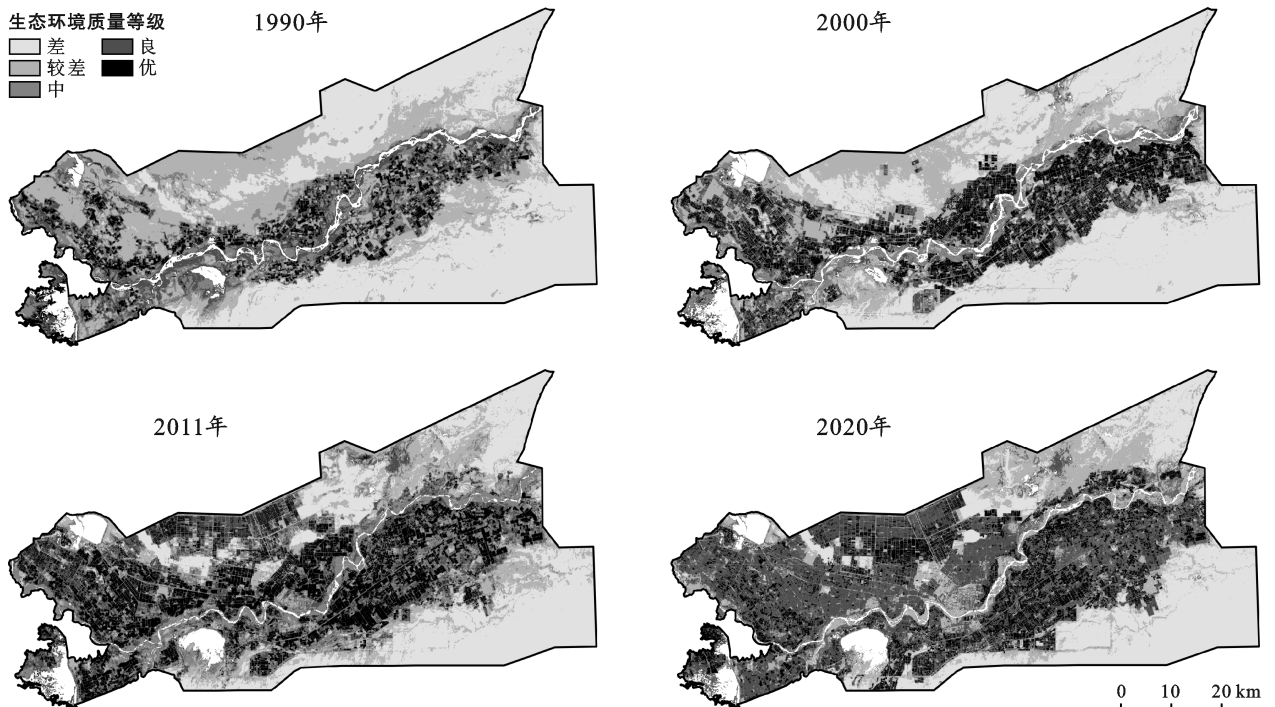


图 1 阿拉尔垦区生态环境质量等级分布

表 3 阿拉尔垦区不同生态环境质量等级面积

RSEI 等级	1990 年		2000 年		2011 年		2020 年	
	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%	面积/km <sup>2</sup>	比例/%
差	1 519.54	38.54	1 532.95	39.32	982.16	24.97	926.42	23.71
较差	1 087.63	27.57	827.70	21.23	642.76	16.34	759.16	19.43
中	526.76	13.36	504.22	12.93	774.04	19.67	659.72	16.89
良	574.92	14.59	606.14	15.55	834.14	21.20	1 073.95	27.49
优	234.37	5.94	427.87	10.97	700.98	17.82	487.76	12.48

2.2.3 生态环境质量时空变化 对阿拉尔垦区 1990, 2011 和 2020 年 RSEI 指数进行差值变化检测<sup>[16]</sup>, 得到图 2 和表 4。

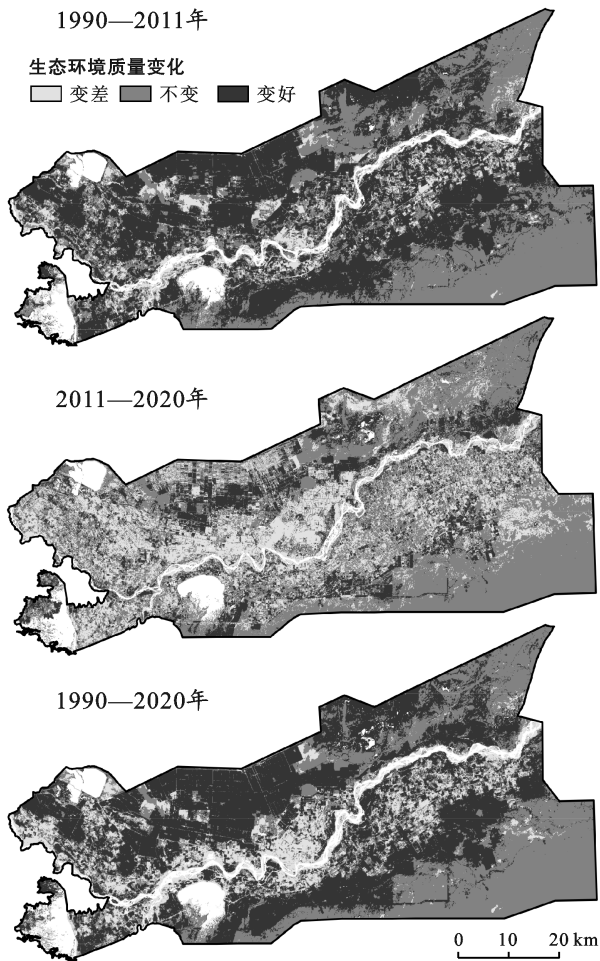


图 2 阿拉尔垦区生态环境质量变化

由图 2 和表 4 可以得出, 1990—2011 年期间, 阿拉尔垦区生态环境质量变好区域分布广泛, 生态环境质量变差区域较小, 变差区域主要位于垦区中部地区和西北地区。2011—2020 年期间, 阿拉尔垦区生态环境质量变化以变差为主, 主要集中在垦区中部区域, 生态环境质量变好区域则主要位于垦区北部、东南和东北地区。总体分析, 1990—2020 年期间, 阿拉尔垦区生态环境质量变优主要在垦区的北部、南部、东北和东南地区, 生态环境质量变差主要集中在垦区

中部和西北地区。生态环境质量变化中 3 类面积比例从大到小依次为: 变好、不变、变差, 由此分析得到, 垦区生态环境质量改善面积达 1 756.36 km<sup>2</sup>, 占总面积 45.92%, 垦区生态环境质量不变面积达 1 534.09 km<sup>2</sup>, 占总面积的 40.10%, 垦区生态环境质量变差面积达 534.69 km<sup>2</sup>, 占总面积的 13.98%。生态环境质量变好面积比变差面积多出近 3 倍, 由此可知, 近 30 a 来阿拉尔垦区生态环境质量总体得到提升, 区域生态环境得到有效改善。

表 4 阿拉尔垦区 1990—2000 年生态环境质量变化面积统计

类别	类面积/km <sup>2</sup>	比例/%
变差	534.69	13.98
不变	1 534.09	40.10
变好	1 756.36	45.92

## 2.3 驱动因素分析

2.3.1 社会经济因素 遥感生态指数能较好反映阿拉尔垦区生态环境质量, 但生态环境质量变化影响受多因素影响。查阅阿拉尔垦区和新疆生产建设兵团统计年鉴<sup>[32]</sup>, 由历年人口、经济变化可知(见图 3), 垦区人口数量在 2 000 年前总体增长趋势较大, 但在 2000—2011 年总体增长趋势也开始放缓, 2011—2020 年人口数量总体增长趋势变大。1990—2011 年阿拉尔垦区 GDP 总体趋势为缓慢增长, 2011—2020 年阿拉尔垦区 GDP 总体增长趋势较大。由交通因素可知, 2005 年后阿拉尔垦区开始修建公路, 截至 2012 年建成“阿塔”“玉阿”“夏拦”“阿图”“阿和”“阿沙”公路等, 极大改善垦区交通, 带动经济快速发展, 同时 GDP 增长带动经济发展方式转变, 垦区由农业化转向工业化城镇发展, 进一步推进兵团“三化”建设, 对生态环境质量产生一定影响。

2.3.2 自然因素 为研究气候、降水等自然条件对阿拉尔垦区生态环境质量影响。查询农业农村部规划设计研究院设施农业研究所温室数据共享平台(<http://data.sheshiyuanyi.com/>)获取阿拉尔垦区近 30 a 气候数据, 分析年均气温和年降水量可知(见图 4), 年均气温波动范围在 10~12 ℃ 之间, 年降水量波动范围在 20~100 mm 左右, 近 30 a 来阿拉尔垦区年均气

温、年降水量处于一个区间波动。总体变化趋势表现为,1990—2011 年,阿拉尔垦区年平均气温降低,年降水量增长;2011—2020 年,阿拉尔垦区年均气温上涨,年降水量降低。综上所述,年均气温相对稳定和降雨量增多对阿拉尔垦区生态环境质量起积极作用,年均气温波动大和降雨量减少对阿拉尔垦区生态环境质量产生一定影响。结合遥感生态指数均值变化分析,1990—2011 年阿拉尔垦区遥感生态指数均值均为上升趋势,2011—2020 年阿拉尔垦区遥感生态指数均值略有下降。由上述分析得知,生态环境质量受自然因素和人为因素影响,阿拉尔垦区自然因素对生态环境质量影响较小,社会经济因素对生态环境质量影响较大,社会经济因素中 GDP 又是生态环境质量变化的主要驱动因素。

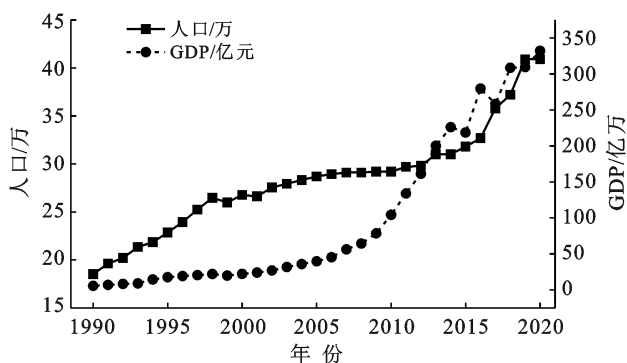


图 3 阿拉尔垦区 1990—2020 年人口与 GDP 变化趋势

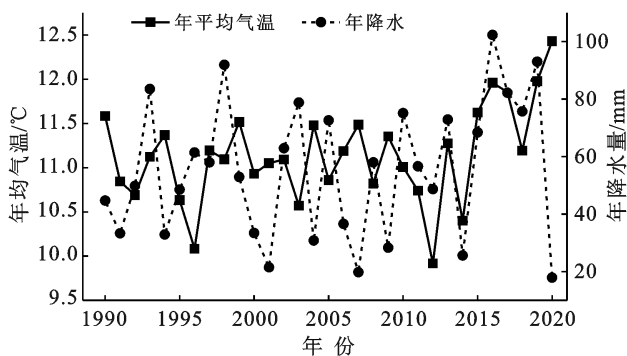


图 4 阿拉尔垦区 1990—2020 年气温和降水变化趋势

### 3 讨论

(1) 生态环境质量变化趋势。宋奇等<sup>[34]</sup>对阿拉尔垦区近 30 年植被覆盖情况做出研究,表明垦区 30 a 植被覆盖度面积增加。通过遥感生态指数 RSEI 分析,阿拉尔垦区 30 a 来生态环境质量总体变好,根据奥维地图显示,改善区域主要为林地、草地和开垦荒地等。垦区 30 a 来治沙防沙,不断开垦荒地和植树造林,一定程度改善了垦区生态环境质量。未来,可加大对垦区东北地区和东南地区生态保护力度,进一步提升区域生态环境质量。

(2) 驱动因素。通过对自然因素和社会经济因素分析,近 30 a 来阿拉尔垦区生态环境受自然因素和社会经济共同影响,自然因素中年均气温、年降水量始终保持在一个区间范围波动,对垦区生态环境质量影响较小;社会经济因素人口变化和 GDP 变化较为明显,对垦区生态环境质量影响较大,与王丽春等<sup>[16]</sup>分析驱动因素对生态环境质量影响结果基本一致。社会经济增长在一定时期下对阿拉尔垦区生态环境质量产生一定影响,阿拉尔垦区后续经济发展要注重协调生态环境保护。

(3) 模型选取。研究选取常用 4 类指标 NDVI, WET, NDSI, LST 构建遥感生态指数 RSEI 对阿拉尔垦区生态环境质量进行评价,较单一指标反映研究区生态环境质量更具有说服力。遥感技术近年来在生态领域研究日益增多,众多学者考虑研究区地形、气候条件不一致,在 RSEI 基础上引入新指标构建新的遥感生态指数,如 RSEDI<sup>[23]</sup>、ARSI 等<sup>[28]</sup>对其研究区域生态环境质量评价也可行。今后,对阿拉尔垦区生态环境质量监测中,可添加新的指标如 PM 2.5 等,以 5 类信息构建新的遥感生态指数,进行充分对比,选取最优遥感生态指数对研究区生态环境质量作出最优评价。

### 4 结论

(1) 构建遥感生态指数(RSEI)在一定程度上可以快速、有效地反映 1990—2020 年阿拉尔垦区生态环境质量变化,能为阿拉尔垦区经济社会发展与生态环境保护提供一定参考。

(2) 通过对阿拉尔垦区四期影像处理,耦合绿度指标、湿度指标、干度指标、热度指标构建遥感生态指数(RSEI),1990,2000,2011 和 2020 年 RSEI 均值分别为 0.344,0.371,0.476 和 0.468,表明阿拉尔垦区近 30 a 来整体生态环境质量得到有效改善。

(3) 根据遥感生态环境质量动态监测可知,1990—2011 年阿拉尔垦区生态环境质量提升,2011—2020 年阿拉尔垦区生态环境质量略有下降,1990—2020 年期间,阿拉尔垦区的整体生态环境质量改善区域面积不断扩大,明显改善区域分布在西部、北部、西北和东南地区。

(4) 生态环境质量变化一定程度上受气候、经济、人口等驱动因素影响,阿拉尔垦区生态环境质量需考虑多方面因素。结合阿拉尔垦区气象数据和新疆生产建设兵团统计年鉴可知,自然因素和社会经济因素对阿拉尔生态环境质量变化有一定影响,其中社会经济因素对生态环境质量变化起主导作用。

阿拉尔垦区属于干旱区,生态环境脆弱,如何在生



态环境保护和经济社会发展中找到平衡点,实现区域经济社会发展和生态环境改善“共赢”是阿拉尔垦区可持续发展的重点。基于遥感生态指数(RSEI)实现阿拉尔垦区生态环境质量动态监测和评价,可为垦区今后的社会经济发展、生态环境保护提供重要参考和依据。

### [参 考 文 献]

- [1] 孙权,张显峰,江森.干旱区生态环境敏感参量遥感反演与评价系统研究[J].北京大学学报(自然科学版),2011,47(6):1073-1080.
- [2] 丁建丽,张滢,王宏卫.干旱区绿洲稳定性评价指标体系构建及其应用分析[J].干旱区资源与环境,2008,22(2):31-36.
- [3] 王涛.干旱区绿洲化、荒漠化研究的进展与趋势[J].中国沙漠,2009,29(1):1-9.
- [4] 马睿,李维娜,王倩.加快工业领域“四化”促进美丽新疆建设[C].福建 厦门:中国环境科学学会.2017 中国环境科学学会科学与技术年会论文集(第3卷)2017.
- [5] 高吉喜,赵少华,侯鹏.中国生态环境遥感四十年[J].地球信息科学学报,2020,22(4):705-719.
- [6] 单薇,金晓斌,孟宪素,等.基于多源遥感数据的土地整治生态环境质量动态监测[J].农业工程学报,2019,35(1):234-242.
- [7] 罗春,刘辉,戚陆越.基于遥感指数的生态变化评估:以常宁市为例[J].国土资源遥感,2014,26(4):145-150.
- [8] 刘玉梅,刘芳,孙贯益.基于 3S 技术的湿地生态系统动态监测[J].沈阳建筑大学学报:自然科学版,2016,32(2):361-369.
- [9] 魏晓婕,杨德刚,乔旭宁,等.干旱区绿洲城市城市化与生态环境耦合:以乌鲁木齐为例[J].干旱区资源与环境,2008,22(11):101-107.
- [10] 刘翔位,周启刚,周浪,等.基于 RSEI 的三峡库区重庆段水土保持生态功能区生态环境质量动态监测[J].水土保持研究,2021,28(5):278-286.
- [11] Carlson T N, Arthur S T. The impact of land use-land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: A satellite perspective [J]. *Global & Planetary Change*, 2000,25(1):49-65.
- [12] Mozumder C, Tripathi N K, Tipdecho T. Ecosystem evaluation(1989-2012) of Ramsar wetland Deepor Beel using satellite-derived indices [J]. *Environmental Monitoring & Assessment*, 2014,186(11):7909-7927.
- [13] 徐涵秋.区域生态环境变化的遥感评价指数[J].中国环境科学,2013,33(5):889-897.
- [14] 徐涵秋.城市遥感生态指数的创建及其应用[J].生态学报,2013,33(24):7853-7862.
- [15] 张乃明,陈冬花,邢菲,等.基于遥感生态指数的新疆干旱区博乐市生态变化分析[J].水土保持通报,2019,39(1):154-159,166.
- [16] 王丽春,焦黎,来风兵,等.基于遥感生态指数的新疆玛纳斯湖湿地生态变化评价[J].生态学报,2019,39(8):2963-2972.
- [17] 刘立冰,熊康宁,任晓冬.基于遥感生态指数的龙溪一虹口国家级自然保护区生态环境状况评估[J].生态与农村环境学报,2020,36(2):202-210.
- [18] 刘智才,徐涵秋,李乐,等.基于遥感生态指数的杭州市城市生态变化[J].应用基础与工程科学学报,2015,23(4):728-739.
- [19] 张永彬,张阔,满卫东,等.基于遥感指标的深圳市生态环境质量动态研究[J].环境污染与防治,2021,43(7):909-914,929.
- [20] 钟欣呈,许泉立.基于 RSEI 模型的玉溪市生态环境变化监测与评价[J].水土保持研究,2021,28(4):350-357.
- [21] 张娟,文广超,王恩营,等.基于遥感生态指数的焦作市生态环境动态监测与评价[J].水土保持通报,2020,40(6):107-114.
- [22] 张立伟,张运,黄晨.皖江城市带近 20 a 生态环境变化遥感指数分析[J].长江流域资源与环境,2018,27(5):1061-1070.
- [23] 黄钰涵,闫浩文,李小军,等.乌鲁木齐市遥感生态距离指数变化监测与评价[J].遥感信息,2019,34(6):72-77.
- [24] 魏雨涵,钱建平,范伟伟,等.基于 RSEI 的漓江流域生态环境质量动态监测[J].中国水土保持科学(中英文),2021,19(1):122-131.
- [25] 缪鑫辉,梁勤欧.基于遥感生态指数的甬江流域生态环境变化分析[J].长江流域资源与环境,2021,30(2):427-438.
- [26] 李凤莹,张饮江,赵志森,等.基于遥感生态指数的上海南汇东滩海岸带湿地生态格局变化评价[J].上海海洋大学学报,2020,29(5):746-756.
- [27] 蒋超亮,吴玲,刘丹,等.干旱荒漠区生态环境质量遥感动态监测:以古尔班通古特沙漠为例[J].应用生态学报,2019,30(3):877-883.
- [28] 王杰,马佳丽,解斐斐,等.干旱地区遥感生态指数的改进:以乌兰布和沙漠为例[J].应用生态学报,2020,31(11):3795-3804.
- [29] 周玄德,郭华东,孜比布拉·司马义,等.干旱区绿洲城市遥感生态指数变化监测[J].资源科学,2019,41(5):1002-1012.
- [30] 程晨,蔡喆,闫维,等.基于 Landsat TM/ETM<sup>+</sup> 的天津城区及滨海新区热岛效应时空变化研究[J].自然资源学报,2010,25(10):1727-1737.
- [31] 宋奇,冯春晖,高琪,等.阿拉尔垦区近 30 年耕地变化及其驱动因子分析[J].国土资源遥感,2021,33(2):202-212.
- [32] 新疆生产建设兵团年鉴编辑委员会.兵团年鉴[M].新疆:新疆生产建设兵团年鉴社,2020.
- [33] 潘玥.基于 Landsat 数据的南昌市热岛效应研究[D].江西南昌:东华理工大学,2016.
- [34] 宋奇,高琪,马自强,等.1990—2019 年阿拉尔垦区植被覆盖时空变化特征分析[J].草地学报,2021,29(5):1014-1024.