

李开梅, 武兰珍, 刘峰贵, 等. 黄河上游景泰川电力提灌工程的经济与生态效益[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2024, 22(3): 585-594. LI K M, WU L Z, LIU F G, et al. Economic and ecological benefits of Jingtaichuan Electric Power Irrigation Project in the upper reaches of Yellow River[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2024, 22(3): 585-594. (in Chinese)

黄河上游景泰川电力提灌工程的经济与生态效益

李开梅^{1,2}, 武兰珍³, 刘峰贵¹, 郭媛媛^{1,2}, 王金恒⁴, 沈彦俊²

(1. 青海师范大学地理科学学院, 西宁 810008; 2. 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心, 石家庄 050022;
3. 甘肃农业大学水利水电工程学院, 兰州 730070; 4. 甘肃省景泰川电力提灌水資源利用中心, 甘肃 白银 730900)

摘要:为促进景泰川电力提灌工程及其灌溉区(以下简称“景电工程”及“景电灌区”)持续健康发展,通过时间序列分析法,对比分析景电工程自建设以来产生的经济效益;利用 2000—2020 年的归一化植被指数数据,采用 Slope 趋势分析法,分析 2000—2020 年景电灌区植被指数的时空动态变化。结果表明:1980—2020 年农村人均纯收入增加 19 854 元;城乡居民储蓄存款增加近 100 倍;地区生产总值增加 122 亿元;财政收入增加 5.78 亿元,40 年的时间里财政收入增加 289 倍。2000—2020 年植被指数持续增加,区域生态呈显著改善状态,景电灌区灌溉面积已发展到 60 784 hm²,荒漠化土地面积减少 2.066 7 万 hm²,景电工程建成以后,生态得到有效恢复,促进了区域农业经济的快速发展,居民生活水平显著提高。

关键词:黄河上游;景电工程;经济效益;生态效益;植被指数

中图分类号: TV93; S277 **文献标志码:** A **DOI:** 10.13476/j.cnki.nsbdkq.2024.0060

黄河在我国经济社会发展和生态安全保障中具有十分重要的作用^[1-2]。黄河流域生态环境脆弱,不同区域间的自然禀赋差异大,影响区域经济的协调发展^[3-5],目前在黄河尤其是上游地区仍然存在水资源短缺、生态脆弱、自然灾害威胁等生态问题^[6]。甘肃省、陕西省、宁夏回族自治区等省区的大部分地区处于我国干旱半干旱区,气候干旱少雨,水资源禀赋不足,导致这些省份在实现生态保护与经济高质量发展时面临巨大的挑战^[7]。

为促进黄河上游缺水地区经济社会发展,在国家的大力支持下,甘肃、宁夏、陕西 3 省区兴建了一系列提水灌溉工程^[8],如位于甘肃省的景泰川电力提灌工程和位于宁夏的固海扬黄工程、盐环定扬黄工程和红寺堡扬黄提灌工程等。这些工程建设和运行促进了受水区经济社会发展和生态改善,但随着时间的推移,也产生了一些次生问题。如景电工程建成后,改变了灌区严酷的自然生态条件,带来巨大的经济与社会效益^[9],但由于灌区内采取的灌溉方式不合理,地下水位迅速上升,造成土壤次

生盐渍化、地下水水质恶化等生态问题^[10]。因此,本文以景电工程及其灌溉区为研究区开展经济与生态效益分析,揭示近 40 年来该区域经济和生态环境的变化状况,深入了解该灌区自然生态环境和人类社会活动之间的关系,从而为该灌区的经济、生态环境可持续发展提供科学依据^[11]。

1 研究区概况

景电工程渠首电站位于甘肃省景泰县五佛寺乡,兴建泵站共 43 座,最高扬程 713 m,灌区范围涵盖甘肃省景泰县、古浪县和内蒙古自治区阿拉善左旗的部分乡镇,是一项高扬程、多梯级、跨流域的大 II 型电力提灌工程,由一期工程、二期工程和二期延伸向民勤提水工程 3 部分组成。灌区沿主干渠向两侧延伸呈不规则条块形(图 1),年均降水量 184.7 mm,年潜在蒸发量 3 040 mm,年日照时数 2 714 h,无霜期 190 d 左右,多年平均气温 8.2 °C,极端最低气温 -27.3 °C,最高气温 36.6 °C,年平均风速 3.5 m/s,最

收稿日期: 2023-11-24 修回日期: 2024-02-16 网络出版时间: 2024-05-29

网络出版地址: <https://link.cnki.net/urlid/13.1430.tv.20240524.1845.006>

基金项目: 国家自然科学基金专项项目(42041007)

作者简介: 李开梅(1997—),女,甘肃武威人,主要从事自然地理综合研究。E-mail: 1772182672@qq.com

通信作者: 沈彦俊(1971—),男,河北张家口人,研究员,主要从事生态水文、农业节水研究。E-mail: yjshen@sjziam.ac.cn

大风速 21.0 m/s ^[12]。整个灌区地势平坦,土层深厚,光热资源丰富,以农业为主要产业,适宜多种作物

生长,主要种植小麦、玉米、马铃薯、油菜、亚麻、豆类等作物^[13]。

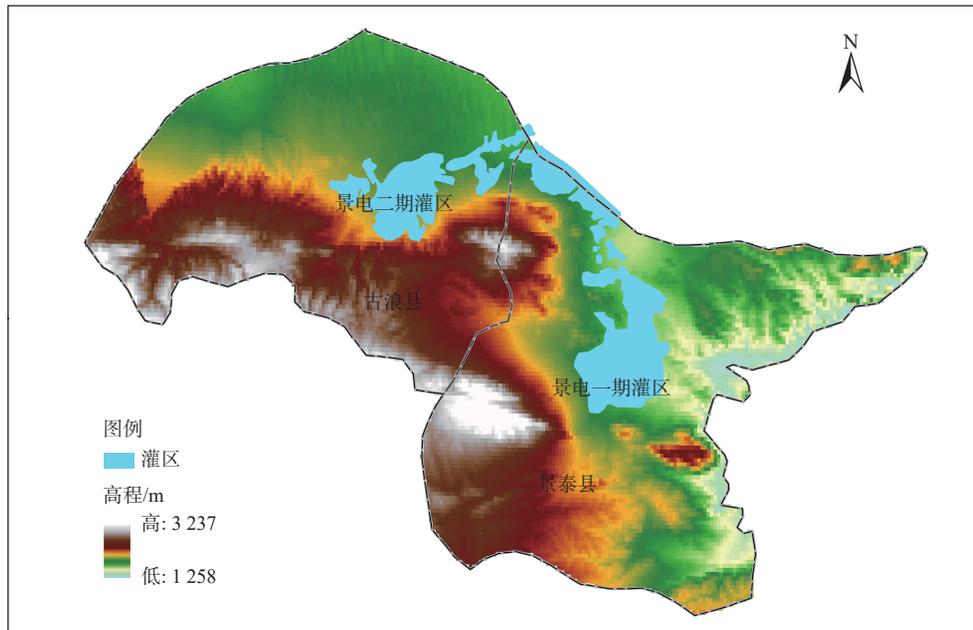


图 1 研究区概况

Fig. 1 Overview of the study area

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

遥感数据。使用的归一化植被指数(normalized difference vegetable index, I_{NDV})和植被覆盖度选用 2000—2020 年植被生长季(4—10 月)MODIS 产品的 MOD13Q1 数据,均来源于国家青藏高原数据中心(<https://data.tpdc.ac.cn/product>),空间分辨率为 250 m,本研究中使用的土地利用数据来源于 <https://www.resdc.cn/>,空间分辨率为 30 m。

统计年鉴数据。基于数据的可获得性和长时间序列的连续性,参考已有文献^[14]收集 1980—2020 年的经济社会数据进行研究,主要来源于《新中国 60 年-甘肃》《甘肃省统计年鉴》《宁夏统计年鉴》《白银市统计年鉴》《武威市统计年鉴》《甘肃省景泰川电力提灌工程志》。

2.2 研究方法

2.2.1 经济效益分析方法

从以上统计年鉴收集景电灌区和海原县的调水量、耗电量、灌溉面积粮食作物产量、经济作物产量、农村人均纯收入、城乡居民储蓄存款、财政收入、地区生产总值等统计数据,用于对比分析景电灌区和海原县的经济与生态效益,其中调水情况主要分析提水量、灌溉面积、耗电量等指标的变化。

经济效益主要通过对比景电灌区和海原县的粮食、经济作物产量、农村人均收入、城乡居民储蓄存款、财政收入以及地区生产总值等指标变化情况评价景电工程对项目区经济发展的贡献。

2.2.2 生态效益分析方法

在生态效益评价中,由于影响因素较多,因此为做出更科学的评价,有必要从不同方面选择能够反映生态效益的具有代表性的先行指标进行分析。生态效益分析主要从以下 2 个方面进行。

植被变化情况。利用 I_{NDV} 和植被覆盖度 2 个指标,分别从时间和空间 2 个方面分析植被变化。为研究 2000—2020 年景电灌区植被动态变化,采用 Slope 趋势分析求出 2000—2020 年植被指数的变化斜率,分析植被指数空间上的变化;结合研究区 I_{NDV} 变化情况,分析 2000 年、2010 年以及 2020 年的植被覆盖度^[15],得出植被覆盖度在时空上的变化。利用 Slope 趋势分析法对每个栅格点逐像元拟合斜率,分析景电灌区近 20 年的植被指数变化趋势。利用 ArcGIS 的栅格计算器工具对景电灌区 2000—2020 年 I_{NDV} 的空间变化进行分析,求得 20 年的变化率,计算公式^[16]为

$$\theta_{\text{Slope}} = \frac{n \sum_{i=1}^n (i \times I_{\text{NDV}_i}) - \sum_{i=1}^n i \times \sum_{i=1}^n I_{\text{NDV}_i}}{n \sum_{i=1}^n i^2 - \left(\sum_{i=1}^n i \right)^2} \quad (1)$$

式中: n 为样本的数量; θ_{Slope} 为单个像元 I_{NDV} 回归方程的斜率; I_{NDV_i} 为第 i 年平均 I_{NDV} 值。若 $\theta_{\text{Slope}} > 0$, 说明 I_{NDV} 为增加趋势, 植被覆盖改善; 若 $\theta_{\text{Slope}} < 0$, 说明 I_{NDV} 为减少趋势, 植被覆盖退化。

根据水利部 2008 年颁布的《土壤侵蚀分类分级标准》(SL 190—2017) 中的植被覆盖度分级标准 (表 1), 将植被覆盖度划分为低 ($\leq 30\%$)、中低 ($> 30\% \sim \leq 45\%$)、中 ($> 45\% \sim \leq 60\%$)、中高 ($> 60\% \sim \leq 75\%$) 和高 ($> 75\%$) 5 个等级^[17-18]。

表 1 景电灌区植被指数分级标准

Tab. 1 Grading criteria for vegetation index in Jingdian Irrigation Area

植被类型	低植被指数	中低植被指数	中植被指数	中高植被指数	高植被指数
分级标准	$\leq 30\%$	$> 30\% \sim \leq 45\%$	$> 45\% \sim \leq 60\%$	$> 60\% \sim \leq 75\%$	$> 75\%$

土地利用变化。利用景电灌区 2000 年、2010 年和 2020 年 3 期 30 m 高分辨率土地利用数据, 分

析景电灌区 2000—2020 年的土地利用变化趋势。

3 结果分析

3.1 提水情况分析

景电工程自 1973 年开始投入运行, 图 2 是景电工程运行以来的提水量和景电灌区灌溉面积变化情况。年提水量除极个别年份外, 总体呈快速增长态势, 从 1973 年的 8 937 万 m^3 增加到 2020 年的 60 577 万 m^3 , 增加了 5 倍多。分阶段看: 1973—1987 年仅有景电一期工程提水, 因此提水量较少, 增加速度较为缓慢; 1987 年景电二期工程竣工, 景电一期、二期工程同时提水, 提水量显著增加; 在 2000 年以后, 民勤调水工程的建设使得提水量又快速增加。随着提水量的增加灌溉面积也在逐步增加, 从 1973 年开始的 10 007 hm^2 到 1987 年景电二期工程竣工前的 20 013 hm^2 ; 随着景电二期工程投入运行, 到 2000 年灌溉面积快速增加到 48 625 hm^2 , 增加约 1.4 倍; 在 2000 年以后, 民勤调水工程建成并投入运行, 该工程以保障生态用水为主, 也兼顾部分民生的灌溉功能, 加之 2000 年以后灌区大力开展节水技术应用, 总体上灌溉面积也有小幅增加, 至 2020 年达到 60 784 hm^2 。

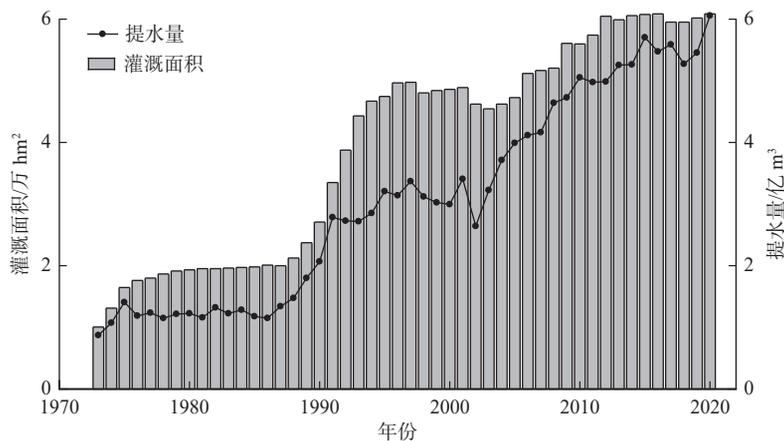


图 2 1973—2020 年景电工程提水量与灌溉面积逐年变化情况

Fig. 2 The annual changes in water diversion and irrigation area of Jingdian Project from 1973 to 2020

景电工程在运行过程中主要以消耗电能为主, 从图 3 可以看出, 1973—2020 年, 总耗电量和单方水耗电量均呈现增长的态势: 1973—1987 主要是景电一期工程提水, 耗电量增加速度相对缓慢; 1987 年以后, 景电二期工程投入使用, 耗电量迅速增加, 从 1973 年的 1.57×10^8 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 增加到 2020 年的 1.03×10^9 $\text{kW} \cdot \text{h}$, 增加了 5 倍多; 1972—2013 年单方水耗电量也随着总耗电量的增加逐年增加, 而 2013—2020 年以后单方水耗电量呈现逐年下降的

趋势。这可能是由于更换泵站的基础设施设备, 泵站提水率在逐渐提高。

3.2 经济效益分析

为排除其他因素对区域发展的影响, 选择同样位于干旱缺水地区的海原县与景电灌区作对比, 以此来反映景电工程建设对区域发展产生的影响。海原县位于宁夏回族自治区南部, 年平均降水量 360 mm , 年均蒸发量 2 200 mm , 全县总人口 40 万人, 耕地面积 14.2 万 hm^2 ^[19], 农业经济结构以种植业为

主, 70% 的粮食作物生长主要依靠雨水给养, 水资源对农业与生态环境的影响至关重要^[20], 与景电工

程建设之前的项目区有极大的相似性。

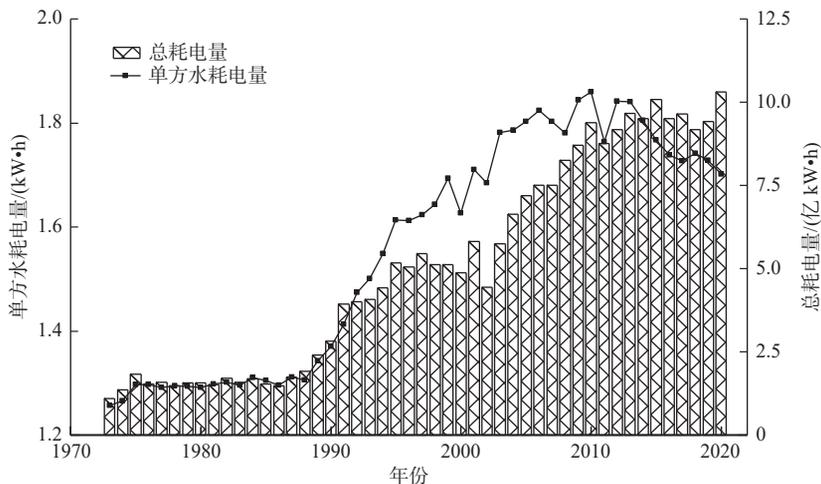


图 3 1973—2020 年景电工程耗电量逐年变化

Fig. 3 The power consumption of Jingdian Project changed year by year from 1973 to 2020

通过对比发现景电工程对项目区的经济社会发展产生显著促进作用。由于灌溉农业的发展, 农业产量和农村经济快速发展, 其后相应地推动了区域二、三产业增长, 并带动了整个经济社会的发展。图 4 为景电灌区和海原县 1980—2020 年粮食与经济作物产量对比变化图。从图 4 可以看出, 1980—2020 年海原县粮食产量呈现波动增加的趋势, 但增加趋势较为缓慢, 1980 年海原县粮食产量为 4.27 万 t, 2020 年粮食产量为 23.25 万 t, 增长量为 18.98 万 t; 1980—2020 年景电灌区粮食产量也呈现波动增长的趋势, 且增长趋势较为迅速, 1980 年景电灌区粮食产量为 4.25 万 t, 2020 年达到 50.92 万 t, 增长量为 46.67 万 t; 相比较而言, 近 40 年景电灌区粮食产量比海原县粮食产量多 2.4 倍, 其年均

增加速率也远高于海原县。从图 5 可以看出, 1980—2020 年海原县经济作物产量增加了 20.84 万 t, 景电灌区经济作物产量增加了 24.87 万 t, 通过比较可以看出近 40 年景电灌区经济作物产量比海原县经济作物产量多 4.03 万 t, 并且可以发现海原县经济作物产量增加较为平稳, 而景电灌区经济作物产量呈现波动增长的趋势。这一方面是由于 1987 年景电二期工程开始运行, 随着提水量的增加使灌区内水源充足, 耕地灌溉面积增加, 产量也随之增加, 另一方面, 为追求更大的经济效益, 种植结构也发生了较大变化, 经济作物的种植面积大幅增加; 这也进一步说明景电工程对区域农业产生的影响是十分显著的。

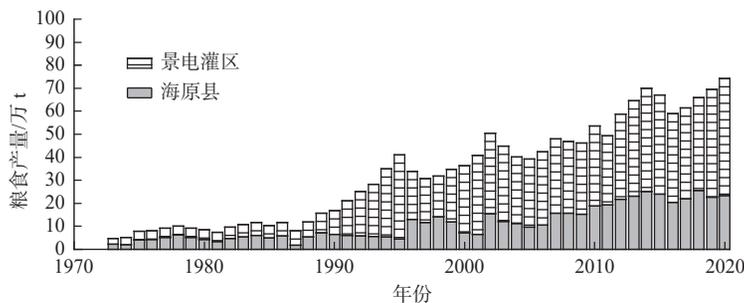


图 4 1980—2020 年景电灌区与海原县粮食产量对比

Fig. 4 Comparison changes of grain output between Jingdian Irrigation Area and Haiyuan County from 1980 to 2020

综合分析 1980—2020 年海原县与景电灌区各项经济指标见图 6, 从图中可以看出, 海原县农村人均纯收入、城乡居民储蓄存款、财政收入、地区生产总值等指标增长较为缓慢, 而景电灌区农村人均纯收入、城乡居民储蓄存款、财政收入、地区生产

总值等指标均增长迅速, 且 2000 年以后增速加快, 也间接说明景电灌区农业种植结构调整促进农民增收, 农村人均纯收入的增速明显高于地区生产总值和地方财政收入的增速, 也显示出灌区农业和农村经济社会发展更为迅速。

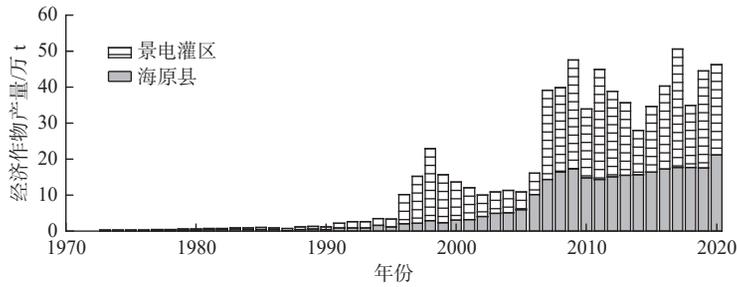


图5 1980—2020年景电灌区与海原县经济作物产量对比变化

Fig. 5 Comparative changes of cash crop yields between Jingdian Irrigation Area and Haiyuan County from 1980 to 2020

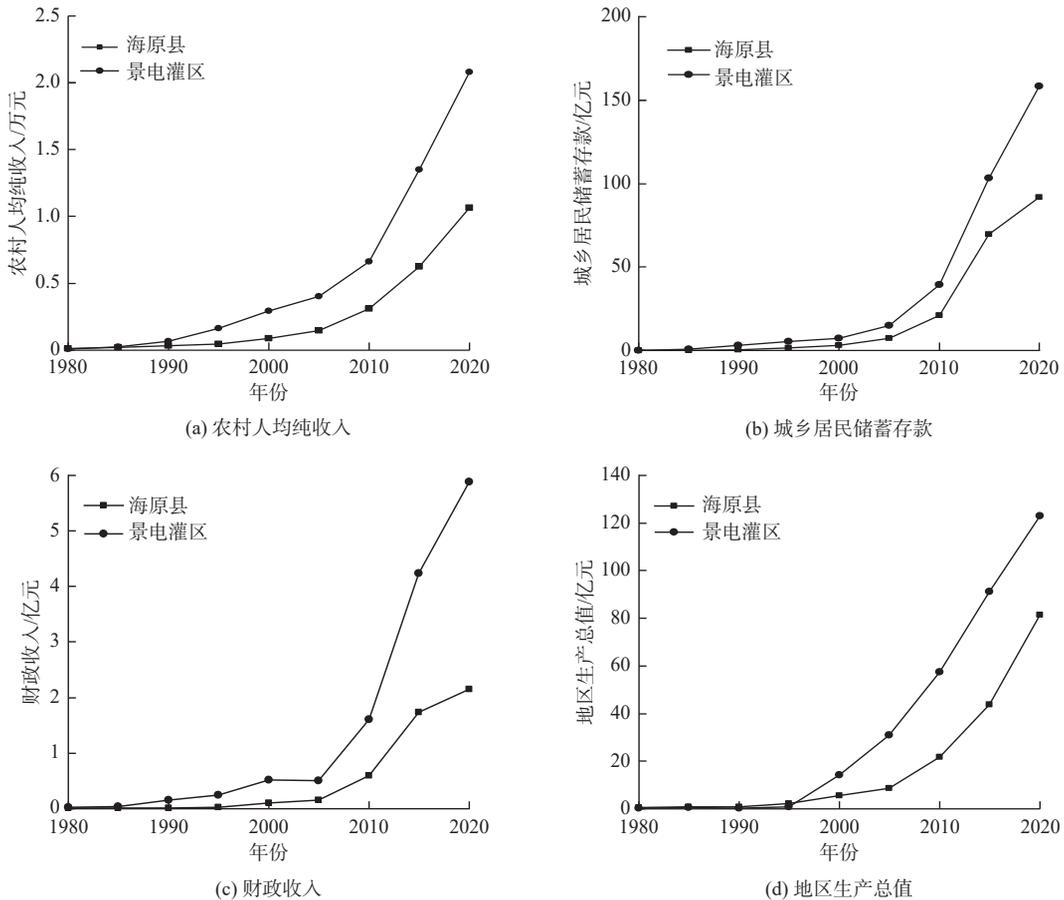


图6 1980—2020景电灌区与海原县各经济指标对比变化

Fig. 6 Comparison and change of economic indicators between Jingdian Irrigation Area and Haiyuan County from 1980 to 2020

从图6可以看出:海原县农村人均纯收入从1980年的127元增加到2020年的10641元,增加了82倍,景电灌区农村人均纯收入从1980年的146元增加到2020年的20000元,增加了近136倍;海原县1980年城乡居民储蓄存款为0.024亿元到2020年增加到91.98亿元,景电灌区城乡居民储蓄存款也从1980年的0.16亿元增加至2020年的158.7亿元,增加趋势十分显著;海原县地区生产总值从1980年的0.43亿元增加到2020年的81.44亿元,景电灌区地区生产总值从1980年的0.39亿元增加到2020年的123亿元;海原县财政收入从1980年

的0.017亿元增加到2020年的2.24亿元,增加了130倍,景电灌区财政收入从1980年的0.02亿元,增加到2020年的5.8亿元,40年间增加了289倍,增加趋势远远高于海原县。通过对2个区域不同的经济指标进行对比,可以进一步看出景电工程的建设为该地区开辟一条水利指引扶贫的道路,随着景电工程的建成运行给灌区受益地区提供充足的电力,景泰、古浪2个县依靠当地自然优势,大力发展乡镇企业,各项经济指标增长明显。从整体看,景电工程的建设虽然前期投资较大,但对于解决缺水地区水资源瓶颈问题、促进地区经济社会发展起到积极

作用。

3.3 生态效益分析

随着灌区农业的发展,区域植被指数显著增加,区域生态明显好转,灌区内的生态环境和人居环境均得到明显改善。灌区提水运行 40 多年来,年平均降水量由 185 mm 增加到 201.6 mm,相对湿度由 46% 增加到 47%,平均风速由 3.5 m/s 降低到 2.4 m/s,8 级以上大风天数由 29 d 减为 16.7 d,年蒸发量由 3 390 mm 降低到 2 361 mm,灌区小气候得到明显改善^[21-22]。本文主要利用遥感数据对景电灌区 2000—2020 年的植被覆盖情况和土地利用状况进行定量分析,并结合统计资料分析不合理灌溉引起的土地次生盐渍化等负面生态效应。

3.3.1 研究区植被指数时空变化

从景电灌区生长季(5—10 月)多年平均 I_{NDV} 分布图(图 7)可以看出,2000—2020 年,景电灌区 I_{NDV} 在空间上呈面状和离散的星斑状分布。研究区生长季多年 I_{NDV} 均值在 0.09 ~ 0.67,其中,低于 0.25 的斑块总是离散地分布于景电一、二期的边界上,而高于 0.38 的区域几乎多分布在灌区内部并且与农田主体部分重合。

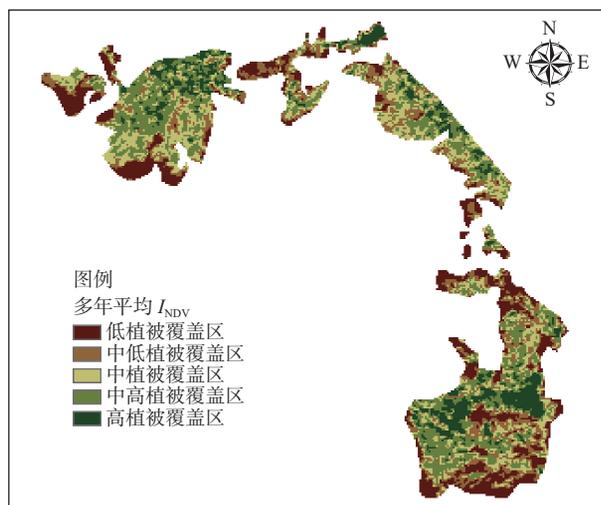


图 7 2000—2020 年景电灌区生长季多年平均 I_{NDV} 分布

Fig. 7 Average distribution of I_{NDV} in the growing season (May-October) in Jingdian Irrigation Area from 2001 to 2020

参考前人^[23-25]的分类方法,将植被指数的变化情况分为如下 5 种类别(表 2)。由植被指数变化趋势的空间分布图(图 8)可以看出:植被指数明显退化区域主要分布在景电一期灌区中部以及二期灌区北部,这一部分地区退化较为明显主要是因为这一时期,近 50 万人的移民从甘肃、内蒙古两省(区)的景泰、古浪、会宁、东乡、天祝、永靖、左旗等 7

县(旗)迁移到灌区,大批的土地利用类型转化为城乡居民建设用地,植被指数退化较为明显,而植被指数明显改善的地区主要分布在与内蒙古阿拉善盟接壤的地区,该地区主要是由于植树造林,营造的防风固沙林面积达到 3.8 万 hm^2 ,与国家“三北”防护林连成一片,因此该地区植被指数明显改善,在景电灌区的大部分区域中,明显改善的区域和明显退化的区域较为集中,而中度退化的地区零散分布于研究区域内;近 30% 的研究区域植被指数没有明显的变化趋势。总体而言,景电灌区植被指数改善区域面积多于退化区域面积,整体呈改善状态。

表 2 不同变化趋势对应的变化程度

Tab. 2 The degree of change corresponding to different trends

变化趋势斜率	>-0.009~	>0.003~	>0.005~	>0.008~	>0.012~
	≤0.002	≤0.005	≤0.008	≤0.012	≤0.029
变化程度	明显退化	中度退化	基本不变	中度改善	明显改善

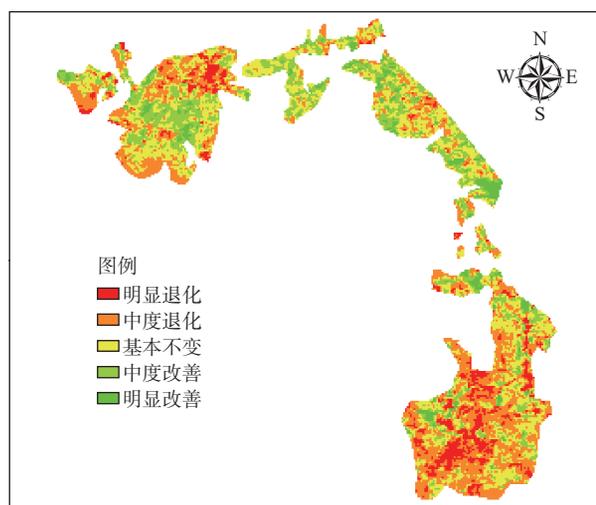


图 8 2000—2020 年景电灌区植被指数变化趋势

Fig. 8 Trend of vegetation index in Jingdian Irrigation Area from 2000 to 2020

3.3.2 研究区植被覆盖度时空变化

由景电灌区 2000—2020 年植被覆盖度不同等级分布图(图 9)可以看出:从总体来看,2000—2020 年景电灌区低植被覆盖度区域呈现明显减少趋势,高植被覆盖度区域呈现明显增长趋势;分阶段来看,2000 年景电灌区低植被覆盖度的面积占比最多,高植被覆盖度的面积占比最少,从空间分布来看,低植被覆盖度的区域广泛分布于景电一、二期灌区内,且分布较为集中,而高植被覆盖度的区域分布较为分散;2010 年中高植被覆盖度的面积占比最多,中低植被覆盖度的面积占比最少,中高、高

植被覆盖度的区域广泛分布于景电一期、二期灌区内,且分布较为集中,低植被覆盖度主要分布在灌区的边缘地区,分布较为离散;2020年灌区高植被覆盖度的面积占比最高,中低植被覆盖度的面积占比最少,中高、高植被覆盖度的区域广泛分布于灌

区内,且聚集程度较高,其中,高植被覆盖度主要分布于灌区的中部地区,低植被覆盖度主要分布在灌区的边缘地区,相较而言,高植被覆盖度空间集聚性更为显著,这可能与灌区内大面积开垦耕地、植树造林有直接关系。

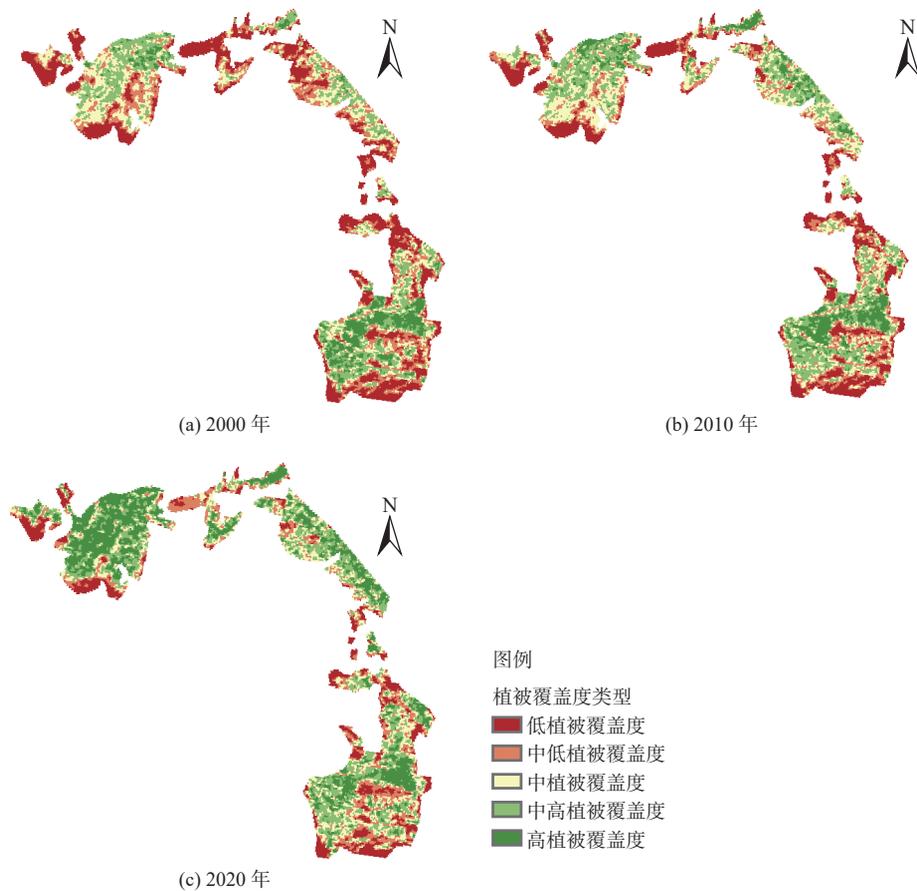


图9 2000—2020年景电灌区植被覆盖度分布

Fig. 9 Distribution of vegetation coverage in Jingdian Irrigation Area from 2000 to 2020

3.3.3 研究区土地利用变化

根据景电灌区不同时期遥感解译分类数据(图10),2000—2020年景电灌区土地利用类型均以耕地和草地为主,占总面积的85%以上,耕地集中分布在灌区中部,草地主要在灌区边缘;其次为未利用土地,占总面积的7.5%,主要分布在灌区外围。由表3可知,在景电灌区中耕地面积一直占主要地位,草地、建设用地次之。耕地比例从2000年的70.46%上升到2020年的71.36%,草地比例从2000年的17.65%下降到2020年的15.80%,建设用地比例从2000年的2.26%上升到2020年的3.34%,而林地、水域及未利用地面积占比变化介于0~0.3%。

3.3.4 荒漠和盐碱地变化

随着景电提灌工程实施,灌区得到充足的灌溉用水,很多平缓、适合开垦的荒漠都变成适宜种植

的农业用地,使得灌区内荒漠面积大幅减少(表4),2000—2020年减少近20667 hm²。

人工绿洲的发展虽然改善了土地沙漠化态势,获得大量经济效益,但由于长期不合理灌溉模式和土地的粗放管理,灌区部分地区地下水位持续上升,再加上当地降雨少、蒸发量大等气候条件,土壤地表积盐现象较为严重,灌区土地盐渍化或次生盐渍化问题突显。土壤的盐碱化直接推动当地种植模式的改变,一般来说,从早期主要种植粮食作物向改种耐盐碱的梨、枣等经济树种转变,随着盐碱化程度加剧,近年来更耐盐碱的枸杞、棉花等也大面积增加,同时也存在部分农田因盐碱化程度过重而废弃的现象^[26]。

从整体上看,景电工程建成后产生巨大生态效益,但粗放的用水方式导致土地盐碱化问题日益严

重,也从另一方面体现出在干旱地区发展引水灌溉需要更科学合理的精准用水管理技术支撑,以保障

土地生产力的可持续性,实现人水和谐发展。

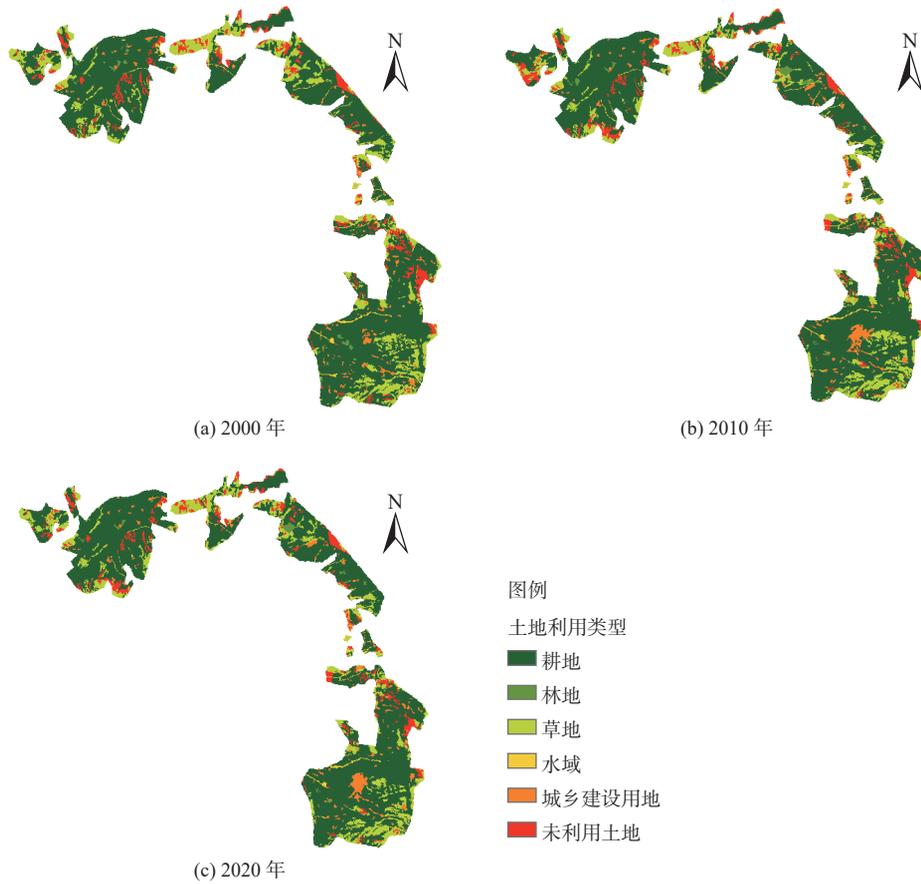


图 10 2000—2020 年景电灌区土地利用类型

Fig. 10 Land use types in Jingdian Irrigation Area from 2000 to 2020

表 3 2000—2020 年景电灌区各土地利用类型面积及占比

Tab. 3 Area and proportion of land use types in Jingdian Irrigation Area from 2000 to 2020

土地利用类型	2000年		2010年		2020年	
	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%
耕地	60 253	70.46	61 233	72.13	61 153	71.39
林地	580	0.68	593	0.70	713	0.83
草地	15 093	17.65	12 973	15.28	13 533	15.80
水域	1 240	1.45	1 167	1.37	1 160	1.35
城乡建设用地	1 933	2.26	2 660	3.13	2 860	3.34
未利用土地	6 420	7.51	6 267	7.38	6 247	7.29

表 4 2000—2020 年景电灌区荒漠和盐碱地面积

Tab. 4 Areas of desert and saline-alkali land in Jingdian Irrigation Area from 2000 to 2020 单位: hm²

土地利用类型	2000年	2010年	2020年
荒漠面积	85 347	75 367	64 380
盐碱地面积	6 147	6 193	4 693

4 结论

选取 1980—2020 年景电工程的经济与 2000—2020 年的生态指标,初步分析景电工程建设和运行对区域的经济效益和生态效益,得出以下结论:

景电工程的建设运行极大促进当地经济社会的发展,截至 2020 年,景电灌区灌溉面积已发展到 60 784 hm²,累计生产粮食 1 009.2 万 t,经济作物 421.9 万 t,产生直接经济效益 228.18 亿元,是工程建设总投资的 26.66 倍。

在生态方面,百万亩灌区与十余万亩防护林的建设,使区域植被指数持续增加,高植被覆盖度区域持续扩大,形成重要的生态屏障,有效地阻止了腾格里沙漠的南侵。区域内林地面积从 0.68% 增加到 0.83%,荒漠化土地面积减少 20 667 hm²。但是不合理的灌溉方式也导致出现一系列耕地次生盐碱化问题。

总体而言,在黄河上游干旱缺水、高扬程地区发展提水灌溉工程需要消耗大量的能源,长期的基

基础设施管理和维护也很难仅仅依靠地方财政支持和国家补贴,基于此,未来应推广利用清洁能源和可再生能源,降低能源消耗,减少财政支出,从而促进提灌工程健康可持续发展。针对灌溉过程中出现的盐碱化问题,要引进更加先进合理的灌溉技术,综合运用现代其他盐碱化治理方式,提高改善和治理能力,真正解决土壤盐碱化问题。

参考文献:

- [1] 周文霞,王星星.黄河流域甘肃段高质量发展时空格局演变研究[J].*人民黄河*,2022,44(4):4-9. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1379.2022.04.002.
- [2] 张玉韩,周璞,赵玉,等.2012—2019年黄河流域煤炭矿区对重要生态保护空间胁迫的时空格局分析[J].*干旱区地理*,2022,45(2):413-422. DOI: 10.12118/j.issn.1000-6060.2021.308.
- [3] 师博,范丹娜.黄河中上游西北地区生态环境保护与城市经济高质量发展耦合协调研究[J].*宁夏社会科学*,2022(4):126-135. DOI: 10.3969/j.issn.1002-0292.2022.04.015.
- [4] 郭晗.黄河流域高质量发展中的可持续发展与生态环境保护[J].*人文杂志*,2020(1):17-21. DOI: 10.15895/j.cnki.rwzz.20191129.005.
- [5] 赵晨光,马军霞,左其亭,等.黄河河南段资源-生态-经济和谐发展水平及耦合协调分析[J].*南水北调与水利科技(中英文)*,2022,20(4):660-669,747. DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2022.006.
- [6] 陈景华,徐金,刘展豪,等.新时代黄河流域生态保护与经济高质量发展的耦合关系及交互影响[J].*山东财经大学学报*,2023,35(3):36-51.
- [7] 屈佳瑛.宁夏红寺堡扬黄灌区节水综合评价研究[D].西安:西安理工大学,2021. DOI: 10.27398/d.cnki.gxalu.2021.001713
- [8] 龚雪琴.论高扬程灌区生态保护补偿机制建立的必要性:以景电灌区为例[J].*山西农经*,2021(24):137-139. DOI: 10.16675/j.cnki.
- [9] 王辉.景电灌区开发建设对区域生态环境的影响[J].*生态学报*,1999,19(3):371-375. DOI: 10.3321/j.issn:1000-0933.1999.03.014.
- [10] 陆丹,耿昭克,崔玉香,等.格尔木河山前平原区地下水水化学特征及影响因子定量研究[J].*水利水电技术(中英文)*,2022,53(11):131-145. DOI: 10.13928/j.cnki.wrahe.2022.11.013.
- [11] 曾子悦,许继军,吴光东,等.南水北调中线一期工程生态效益评估:以北京市为例[J].*南水北调与水利科技(中英文)*,2022,20(6):1168-1178. DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2022.0115.
- [12] 李静思.大型引黄灌区退水规律与退水量预测方法研究[D].西安:西安理工大学,2021. DOI: 10.27398/d.cnki.gxalu.2021.000035
- [13] 李金花,王刚,王辉,等.景电灌区新绿洲林业可持续发展评价[J].*兰州大学学报(自然科学版)*,2004,40(2):104-108. DOI: 10.3321/j.issn:0455-2059.2004.02.024.
- [14] 张格.水利工程项目综合效益评价方法研究及应用[D].武汉:武汉工程大学,2022. DOI: 10.27727/d.cnki.gwhxc.2020.000018
- [15] 高磊,杨现坤,胡海珠,等.重庆市退耕还林工程实施的生态和经济效益分析[J].*水土保持研究*,2019,26(6):353-358. DOI: 10.13869/j.cnki.rswc.2019.06.047
- [16] 路琦,邢韶华,刘昌,等.近20年黄河三角洲地区植被指数时空变化及其趋势分析[J].*水土保持研究*,2023,30(6):366-375. DOI: 10.13869/j.cnki.rswc.2023.06.034.
- [17] 李苗苗,吴炳方,颜长珍,等.密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J].*资源科学*,2004(4):153-159. DOI: 10.3321/j.issn:1007-7588.2004.04.022.
- [18] 王朋.基于3S技术的大渡河上游植被覆盖度时空变化研究[D].成都:四川农业大学,2013. DOI:CNKI:CDMD:2.1013.157144.
- [19] 马秀霞,张娜,张红玲,等.宁夏海原县1958—2019年气温及降水变化规律分析[J].*宁夏农林科技*,2021,62(2):40-46. DOI: 10.3969/j.issn.1002-204x.2021.02.011.
- [20] 王鹏,刘小鹏,王亚娟,等.黄土丘陵沟壑区生态移民过程及其生态系统服务价值评价:以宁夏海原县为例[J].*干旱区地理*,2019,42(2):433-443. DOI: 10.12118/j.issn.1000-6060.2019.01.23.
- [21] 程慧.景电灌区不同灌溉方式下水盐运移规律研究[D].郑州:华北水利水电大学,2018. DOI: 10.7666/d.D01533576
- [22] 费良军,李巧丽,史中兴,等.景电灌区降水与气温随时间变化特征分析[J].*排灌机械工程学报*,2021,39(8):838-843,850. DOI: 10.3969/j.issn.1674-8530.19.0202.
- [23] 王思,张路路,林伟彪,等.基于MODIS-归一化植被指数的广东省植被覆盖与土地利用变化研究[J].*生态学报*,2022,42(6):2149-2163. DOI: 10.5846/stxb202104261100.
- [24] 李双双,延军平,万佳.近10年陕甘宁黄土高原区植被覆盖时空变化特征[J].*地理学报*,2012,67(07):960-970.
- [25] 黄栋,李鹏,董南,等.近20 a环渤海地区GS_ND-VI时空分异及其对气候变化和LUCC的响应[J].*生态环境学报*,2021,30(12):2275-2284. DOI: 10.16258/j.cnki.1674-5906.2021.12.001.
- [26] 赵建林,康德奎,彭维恩,等.景电灌区移民对祁连山植被恢复的相对生态价值[J].*干旱区地理*,2020,43(1):182-189. DOI: 10.12118/j.issn.1000-6060.2020.01.21.

Economic and ecological benefits of Jingtaichuan Electric Power Irrigation Project in the upper reaches of Yellow River

LI Kaimei^{1,2}, WU Lanzhen³, LIU Fenggui¹, GUO Yuanyuan^{1,2}, WANG Jinheng⁴, SHEN Yanjun²

(1. College of Geosciences, Qinghai Normal University, Xining 810008; 2. Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050022; 3. Water Conservancy and Hydropower Engineering College, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070; 4. Gansu Jingtaichuan Electric Power Irrigation Water Resources Utilization Center, Baiyin 730900)

Abstract: The ecological environment of the Yellow River basin was fragile, and the natural conditions varied greatly across different regions. This presented significant challenges for the coordinated development of the regional economy. At present, there were still serious ecological problems in the Yellow River, such as water shortages, ecological fragility, and the threat of natural disasters. Most regions of Gansu, Shaanxi, Ningxia, and other provinces and regions were located in arid and semi-arid areas. These areas had a dry climate, receive little rainfall, and had insufficient water resources. As a result, these provinces and region faced significant challenges in achieving both ecological protection and high-quality economic development. In order to promote the social and economic development of the Yellow River water shortage region, the provinces and region of Gansu, Ningxia and Shaanxi had undertaken a series of water irrigation projects with the support of the country. The construction and operation of these projects had greatly contributed to the social and economic development, as well as the ecological improvement, of the water area. However, over time, some secondary problems had also emerged. After completing the project, the adverse natural ecological conditions in the irrigation area were changed, leading to substantial economic and social benefits. However, due to the unsustainable irrigation methods in the area, the groundwater level was rising rapidly, resulting in ecological issues such as secondary soil salinization and the degradation of underground water quality. Therefore, it is significant to conduct a comprehensive benefit analysis and evaluation of the upper reaches of the Yellow River in order to gain an objective understanding of the existing problems and find solutions.

The economic benefits of the Jingtaichuan Electric Power Irrigation Project since its construction would be analyzed using time series analysis. Based on the normalized vegetation index data from 2000 to 2020, an analysis was conducted to examine the time and space dynamic changes of the vegetation index in the Jingdian Irrigation Area using Slope trend analysis.

The results showed that water transfer increased from 89.37 million m³ in 1973 to 605.77 million m³ in 2020, representing a five-fold increase. Additionally, the newly irrigated area was 911,800 mu. In 1973, power consumption was 18.18 million kW•h, and by 2020, it had increased to 1.00 billion kW•h, representing an increase of nearly 60 times. From 1980 to 2020, per capita net income in rural areas increased by 19,854 yuan. Savings deposits of both urban and rural residents have increased by nearly 100 times. Regional GDP increased by RMB 12.2 billion. Fiscal revenue increased by RMB 578 million yuan, which represented an increase of 289 times in 40 years. The vegetation index continued to increase, and the regional ecology showed significant improvement. The average I_{NDV} index reached its highest value of 0.41 in 2019. The windbreak and sand-fixing forest area constructed in the irrigated area reached 38,000 hectares. Moreover, the area showing an improvement in vegetation index has surpassed the degraded area, indicating an overall improvement in the state. The continuous expansion of saline-alkali land area since 1980 could be attributed to long-term, unsustainable irrigation practices and extensive land management.

After the completion of the Jingtaichuan Electric Power Irrigation Project, the ecology had been effectively restored, promoting the rapid development of the regional agricultural economy and the continuous improvement of residents' living standards. Overall, irrigation was conducted in the upper reaches of the Yellow River. Although the construction cost was significant, it could yield substantial social, economic, and ecological benefits. This could play a crucial role in harmonizing the relationship between people and the land, as well as promoting ecological protection and economic development.

Key words: the upper reach of the Yellow River; landscape power engineering; economic benefit; ecological benefit; vegetation coverage