

黄河上游生态脆弱区绿洲开发模式下 生态系统服务价值损益分析

——以宁夏红寺堡区为例

阿斯文¹, 马彩虹^{1,2}, 滑雨琪¹, 李聪慧¹

(1.宁夏大学 地理科学与规划学院, 银川 750021; 2.宁夏(中阿)旱区资源评价与环境调控重点实验室, 银川 750021)

摘 要:为了探究黄河上游绿洲灌溉区的开发模式对生态系统服务价值(ESV)的影响,选取宁夏红寺堡区为研究区域,基于 Landsat TM 和 GF-2 遥感影像数据源,通过修订生态系统服务当量因子,对其生态系统服务价值损益进行了定量分析。结果表明:(1)自 1998 年底第一批宁夏南部山区的移民迁入红寺堡区开启绿洲开发模式以来,红寺堡灌区面积持续扩张,至 2018 年已达 $5.17 \times 10^4 \text{ hm}^2$,形成了“蝴蝶型”的荒漠绿洲分布格局。(2)绿洲开发使得红寺堡区的土地利用结构发生显著变化,旱地、其他草地和未利用地大幅减少,水浇地、林地和建设用地大幅增加,基本形成以绿洲为主的生活空间和生产空间、周边为生态空间的“三生”空间格局。(3)1990—2018 年红寺堡区的 ESV 由 1.151×10^9 元提升为 2.267×10^9 元,这主要得益于林草地、水体等生态用地的扩张,各单项服务价值呈上升趋势,生态建设成效显著。(4)红寺堡区的 ESV 总量变化呈现明显的阶段性特征,其中,1990—2000 年轻度降低,此后持续增长。1990—2000 年,旱地扩张,导致林草地失衡,生态退化,ESV 损失 2.9×10^7 元;2000—2018 年 ESV 增加 1.116×10^9 元,其中,城镇建设用地快速扩张是 ESV 损失的主因,林草地和水域的扩张是 ESV 增加的主因。综上,红寺堡区在绿洲开发进程中生态建设成效显著,但也存在因为开发导致 ESV 损失的情况。今后发展中,需要进一步提升社会-经济-生态三者的协同发展能力。

关键词:土地利用变化;生态服务价值;三生空间;演化特征;红寺堡区

中图分类号:F301.2; X171

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)06-0375-08

Analysis of Ecosystem Service Value Profit and Loss Under the Oasis Development Model of the Ecological Fragile Area in the Upper Yellow River —A Case Study of Hongsibu District in Ningxia

AN Siwen¹, MA Caihong^{1,2}, HUA Yuqi¹, LI Conghui¹

(1.School of Geography and Planning, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2.Key Laboratory of Resource Evaluation and Environmental Regulation in Arid Area of Ningxia (Central Afghanistan), Yinchuan 750021, China)

Abstract: In order to explore the impact of development patterns on ecosystem service value (ESV) of oasis irrigation areas in the upper reaches of the Yellow River, Hongsibu District of Ningxia was selected as the research area. Based on Landsat TM and GF-2 remote sensing image data sources, the benefits and losses of ecosystem service value were quantitatively analysed by revising ecosystem service equivalent factors. The results showed that: (1) Since the first group of migrants from the southern mountainous areas of Ningxia moved into Hongsibu District at the end of 1998 and started the oasis development mode, the area of Hongsibu irrigated area continued to expand, reaching $5.17 \times 10^4 \text{ hm}^2$ by 2018, forming a desert oasis distribution pattern. (2) Oasis development significantly changed the land use structure in Hongsibu District, with the

收稿日期:2021-07-21

修回日期:2021-09-30

资助项目:宁夏自然科学基金重点项目(2020AAC02008);国家自然科学基金(41761034,41961034,42061037)

第一作者:阿斯文(1997—),女,宁夏海原县人,硕士研究生,研究方向为空间信息技术与分析。E-mail:aswen97@163.com

通信作者:马彩虹(1974—),女,宁夏西吉县人,博士,教授,主要从事资源环境评价与 GIS/RS 应用研究。E-mail:mchyanni@163.com

decrease of dry land, other grassland and unused land, and the increase of irrigated land, forest land and construction land, forming a ‘production-ecological’ spatial pattern with oasis as living space and production space, in addition to surrounding ecological space. (3) From 1990 to 2018, ESV of Hongsibu District increased from 1.151×10^9 yuan to 2.267×10^9 yuan, which was mainly due to the expansion of forest, grassland, water and other ecological land. Each single service value showed a rising trend, and the ecological construction achieved remarkable results. (4) The total amount of ESV in Hongsibu District showed obvious stage characteristics, among which, decreased from 1990 to 2000, and then continued to increase. From 1990 to 2000, the expansion of dry land resulted in the imbalance of forest, grassland, useable land, ecological degradation and ESV loss of 2.9×10^7 yuan. From 2000 to 2018, ESV increased by 1.116×10^9 yuan, in which the rapid expansion of urban construction land was the main cause of ESV loss, while the expansion of forest, grassland and water area was the main cause of ESV increase. So Hongsibu District has achieved remarkable achievements in ecological construction in the process of oasis development, but there are also some cases of ESV loss due to development. In future development, it is necessary to further enhance the synergistic development capacity of the three aspects of society, economy and ecology.

Keywords: land use change; ecological service value; ecological-production-living space; evolution characteristics; Hongsibu District

生态系统服务是指通过生态系统的结构、过程和功能直接或间接得到的生命支持产品和服务^[1]。这一概念于 1981 年由 Ehrlick 首次提出^[2], 1997 年 Daily^[3]和 Costanza 等^[4]分别对生态系统服务价值 (ecosystem service value, ESV) 的内涵和分类体系加以完善。2001 年启动的“千年生态系统评估” (Millennium Ecosystem Assessment) 项目推动了生态系统服务研究对生态建设决策的工具性价值^[5-6]。党的十八大以来, 随着生态文明建设成为“五位一体”的重要组成部分, 在我国学术界引起了生态系统服务研究新的热潮。由于土地利用/覆被变化 (LUCC) 是人类活动与自然生态过程衔接的重要纽带^[7], 直接或间接影响到水循环、土壤保持等生态过程和服务, 导致生态系统服务价值损益变化^[8-9], 从而影响区域生态文明建设^[10]。因此, 关于 LUCC 引起的 ESV 的损益变化分析是生态系统服务研究的重要内容。韩增林等^[11]的研究认为, 城市边界快速扩张和沿海生态用地被侵占是导致瓦房店市 ESV 下降的主要原因; 刘瑞清等^[12]的研究表明浙江省的绿地景观趋于破碎化和异质化且 ESV 持续下降; 南滔等^[13]对长江中游华阳河湖群地区的生态系统服务价值与人类活动的时空关联性作了定量分析, 发现水域转耕地和建设用造成了 ESV 大量减少, ESV 提升主要得益于林地扩张; 王庭辉等^[14]研究发现, 人类高强度的活动对丹江口库区的生态系统造成极大影响, 且 ESV 与人类活动强度存在显著的负相关; 李理等^[15]研究表明地形因子是引起地类结构转变及 ESV 变化的主要因

素; 冯源等^[16]对巴南区的土地利用变化的 ESV 损益作了定量模拟, 发现地形因子与 ESV 呈显著空间正相关。综上所述, 当前对于 ESV 损益研究中, ESV 的评估方法仍然以谢高地等^[17]提出的当量因子法为主, 但都尝试对当量因子作一定程度的修订; 关注的区域以人地关系矛盾突出的区域如城市地域^[18-19]、生态敏感区^[20-22]较多; 内容以土地利用与生态系统服务价值流的对应关系分析为主。

绿洲作为西北半干旱区最活跃的生态系统, 其结构和功能的变化也决定着当地的发展水平^[23], 但将绿洲开发模式与生态系统服务相结合, 展开研究的案例相对较少, 关于 ESV 的损益分析更不多见。宁夏红寺堡区位于宁夏中部干旱带, 是黄河上游地区典型的绿洲灌溉区。自 20 世纪 90 年代以来, 生态移民政策导致近 20 万人迁入红寺堡区, 不仅开启了研究区绿洲开发的新篇章, 也使得该地区的土地利用方式和生态环境发生了巨大变化^[24]。为了检验生态恢复政策的有效性, 本文以红寺堡区为典型案例区, 基于二级地类分类体系, 将土地利用与生态系统服务相结合, 对 1990—2018 年的土地利用格局和生态系统服务价值损益演变特征展开研究, 用以评估红寺堡区绿洲开发模式下生态系统服务价值损益情况, 以期干旱区绿洲生活空间的建设、红寺堡区的开发建设、中国最大单体移民示范区的建设提供一定的决策依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

红寺堡区是宁夏扶贫扬黄工程的主战场, 位于黄

河上游的宁夏中部干旱带,是典型的绿洲灌溉区,地处 105°43′—106°42′E,37°28′—37°37′N,海拔 1 240~1 450 m,干旱少雨,属典型的温带大陆性气候。地势呈南北走向,以低丘缓坡为主。区内主要河流有清水河、苦水河和红柳沟。植被类型简单,由于人类早期放牧、滥挖甘草等活动,导致天然草场退化和沙化严重,植被次生化现象普遍,生态环境十分脆弱。目前红寺堡区是中国最大的单体移民村,现辖 5 个乡镇(红寺堡镇、太阳山镇、柳泉乡、新庄集乡、大河乡),64 个行政村(街道/社区)。截至 2019 年,总人口数 20.56 万人,其中城镇人口 7.05 万人,城镇人口占比达 64.94%,回族占 63.09%。地区生产总值达到 62.91 万元,人均可支配收入为 13 752.5 元。于 2021 年 8 月 27 日评为 160 个国家乡村振兴重点帮扶县之一。探究其开发建设,对于近 20 万来自贫困地区的移民的生计恢复和区域脆弱生态环境改造意义重大。

1.2 研究方法

依据谢高地等^[25]提出的生态系统服务价值计量

模型,结合红寺堡区实际情况,计算区域生态系统服务价值。公式如下:

$$ESV = \sum (A_k \cdot VC_k)$$
 (1)

式中:ESV 为生态系统服务总价值(亿元); A_k 为第 k 种土地利用类型面积(hm^2); VC_k 为第 k 种土地利用类型的生态价值当量因子^[26]。按照生态系统服务价值折算通用方法,先通过粮食产量比确定修正系数,再基于红寺堡区当地的社会经济情况,以红寺堡区主导作物玉米和小麦的粮食单产市场价值的 1/7 作为 1 个生态系统服务的基础当量,用修正系数对各地类的生态系统服务基础当量因子进行修正。并以 2010 年为基准年,计算得出红寺堡区一个生态服务当量因子的经济价值为 1 969.27 元/ hm^2 ^[27]。便于分析生态系统服务价值损益情况,将各土地利用类型的面积与其对应的生态系统服务价值当量进行相乘,得到各地类的 ESV 值。在此基础上,展开损益研究。

红寺堡区生态系统服务价值基础当量表具体见表 1。

表 1 红寺堡区生态系统服务价值基础当量

地类	供给服务			调节服务				支持服务			文化服务
	食物生产	原料生产	水资源供给	气体调节	气候调节	净化环境	水文调节	土壤保持	维持养分循环	生物多样性	美学景观
旱地	0.64	0.30	0.02	0.20	0.11	0.03	0.08	0.21	0.07	0.08	0.04
水浇地	1.36	0.08	-1.05	0.22	0.17	0.05	0.22	0.43	0.11	0.18	0.05
园地	6.31	0.18	-0.63	0.66	1.24	0.37	1.09	0.43	0.08	0.37	0.16
乔木林地	0.09	0.46	-0.10	1.74	5.20	1.54	3.79	0.90	0.17	2.05	1.06
灌木林地	0.08	0.22	0.19	1.20	3.60	1.09	2.85	1.46	0.11	1.33	0.59
牧草地	0.44	0.05	-0.28	1.21	2.48	0.82	2.04	1.23	0.16	1.55	0.07
其他草地	0.03	0.06	0.04	0.21	0.41	0.34	0.40	0.25	0.02	0.23	0.10
水域	0.10	0.05	0.26	0.50	1.49	2.34	15.75	0.60	0.12	1.66	1.23
建设用地	0.00	0.00	-0.40	0.06	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02
未利用地	0.00	0.00	0.01	0.02N	0.11	0.10	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01

借助 ArcGIS 软件的 Intersect 模块及 Excel 的数据透视表功能,将 4 期土地利用数据进行叠加分

析,建立土地利用转移流矩阵(表 2),定量测评生态系统服务价值对土地利用变化的数量和方向响应。

表 2 1990—2018 年土地利用转移矩阵

年份	地类	2018 年									
		旱地	水浇地	园地	乔木林地	灌木林地	牧草地	其他草地	水域	建设用地	未利用地
1990 年	旱地	2861.71	6125.40	1055.32	547.71	18686.00	20.54	16654.60	488.46	2352.69	89.76
	灌木林地	68.65	290.88	28.77	43.01	390.83	0.47	1278.21	12.08	77.56	100.99
	其他草地	2957.31	33270.40	5389.10	3262.65	21686.60	324.96	117055.09	1239.54	15758.10	1545.58
	水域	3.77	80.03	0.00	34.06	47.12	0.00	655.35	686.15	22.57	91.45
	建设用地	43.57	54.90	8.97	28.57	102.37	11.60	379.34	11.99	285.42	3.12
	未利用地	162.06	4384.37	1042.69	989.89	913.75	7.52	8942.59	305.08	2823.91	794.41

1.3 数据来源与处理

1990 年、2000 年为 Landsat TM 影像数据,来源于中国地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)

网站,在数据使用前已经过图像预处理,包含辐射校正、几何粗校正等步骤;2009 年数据来自第二次全国土地调查数据,2018 年数据为 GF-2 号影像。对于

1990年和2000年数据,使用 ArcGIS 10.2 软件对校正后的数字影像进行拼接、分割和融合处理,采用人机交互方式解译,并对结果数据进行精度检验,检验精度达85%以上。土地利用分类,参照2017年全国土地利用分类方法分为10类,名称和代码依次为旱地1、水浇地2、园地3、乔木林地4、灌木林地5、牧草地6、其他草地7、水域8、建设用地9、未利用地0。

2 结果与分析

2.1 红寺堡区荒漠绿洲开发进程

红寺堡灌区作为宁夏扬黄灌溉工程的主战场,于1996年正式开工。至2000年,红寺堡灌区面积已经达到 $7.3 \times 10^3 \text{ hm}^2$,以红寺堡灌区和固海灌区为主,主要分布在红寺堡镇、柳泉乡。2002年底,红寺堡区引水渠系统基本完成,建立起扬水工程主级泵站5级、支泵站3片9级,累计最大净扬程19 635 m,就此正式拉开中部干旱带上绿洲开发的序幕。伴随扬黄

灌溉工程的推进,灌区以红寺堡镇为中心,向新庄集、大河乡、柳泉乡呈“蝴蝶”状快速扩张,至2009年,灌区面积达到 $3.6 \times 10^4 \text{ hm}^2$,较开发初期增加 $2.87 \times 10^4 \text{ hm}^2$,并在太阳山镇扩展了盐环定灌区的部分引水渠系统。此后,红寺堡区葡萄带和现代农业园区建设带动了灌区发展,除红寺堡灌区向四周继续扩张外,在红寺堡区内部的固海灌区和盐环定灌区的面积也有所增加,至2018年,灌区面积已达到 $5.17 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占总面积的18.69%。整体来看,红寺堡灌区在研究时段内呈持续扩张的趋势,以中部灌区扩张为主要特征。其中在2000—2009年扩张速度最快,辐射范围最广,在红寺堡镇、大河乡、柳泉乡、新庄集表现最为明显;2009—2018年扩张速度有所减慢,在罗山、柳泉乡周边扩张最为明显。总体研究区以红寺堡灌区为中心,固海灌区和盐环定灌区为两翼,呈“蝴蝶状”(图1),范围基本覆盖各个乡镇,在红寺堡镇、新庄集、柳泉乡较为集中。

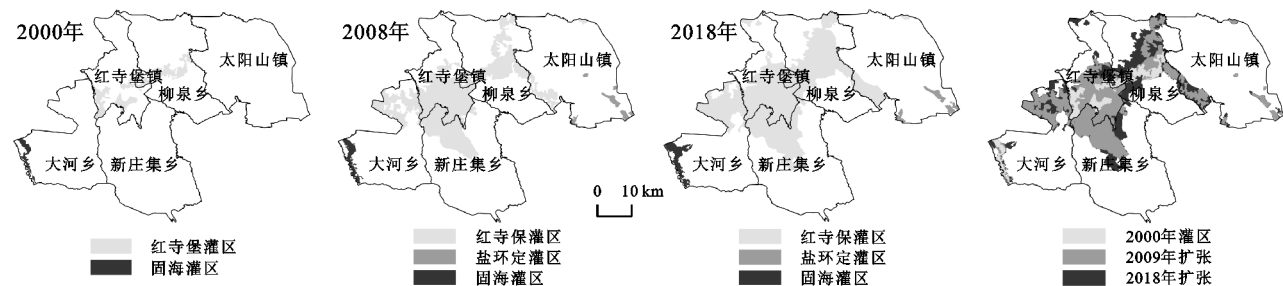


图1 2000—2018年红寺堡区灌区的扩张进程

2.2 红寺堡区土地利用时空动态变化分析

2.2.1 土地利用结构变化分析 1990—2000年,红寺堡区土地利用变化主要表现为旱地剧增、草地锐减(图2),其中旱地增加 $3.58 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占比增为30.65%,草地减少 $4.17 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占比降为58.14%,水浇地、灌木林地和建设用地小幅增长,分别增长 $7.3 \times 10^3 \text{ hm}^2$, $1.0 \times 10^4 \text{ hm}^2$, $2.0 \times 10^2 \text{ hm}^2$ 。红寺堡区首批生态移民于1998年底开始,因此在2000—2018年期间,移民规模的扩大促使红寺堡区地类变化显著,主要表现为3个方面:(1)灌区持续扩张,水浇地和园地面积快速增加,在2000—2009年扩张最快,2009—2018年次之,增长量分别为 $2.67 \times 10^4 \text{ hm}^2$, $1.01 \times 10^4 \text{ hm}^2$;(2)“退耕还林还草”工程的实施促使乔木林地和灌木林地迅速增加,2009—2018年乔木林地增加最多,共 $3.6 \times 10^4 \text{ hm}^2$;灌木林地在2000—2009年扩张最多,共 $4.01 \times 10^4 \text{ hm}^2$;(3)随着城区、移民新村以及交通、工矿企业的建设,建设用地面积持续增加,由1990年的 $9.0 \times 10^2 \text{ hm}^2$ 增加至2018年的 $1.450 \times 10^5 \text{ hm}^2$,在2009—2018年扩张最为明显;(4)上述用地的增加主要以占用其他草地和

未利用地作为空间置换,因此其他草地和未利用地的面积大幅降低,减幅分别达到5.46%,4.74%。

总之,1990—2018年,随着各项生态政策的实施,研究区的土地利用结构发生了显著变化,旱地、草地和未利用地大幅度减少,其他用地类型增加,其中,增加最显著的是水浇地、灌木林地和建设用地,减少最多的为其他草地。此外种植结构由旱地转为水浇地,1990年旱地占17.67%,至2018年仅占2.20%,水浇地相反,由无到有,至2018年占比达到15.98%。

2.2.2 土地利用空间格局变化分析 红寺堡区的土地利用呈现出由移民开发初期的无序垦殖向有序开发迈进、格局逐渐优化的特征(图3)。1990年地类以其他草地为主,乡村居民点零星分布于东南缓坡丘陵区和东部风沙草滩区。与之相应,耕地聚集于居民点附近;红寺堡中部集中分布大面积的沙地、戈壁滩、流动沙丘,湖泊数量很少。随着扬黄灌溉工程的实施和移民的迁入,2000年开始在中部地势比较低的区域开挖水浇地,形成了灌溉农业的雏形;与此同时,大量移民的迁入,导致中部的荒漠草原被无序垦殖为旱地,原生植被的破坏提供了更为丰富的沙源,生态环

境一度恶化。其后,随着灌区的持续扩张和生态修复措施的推进,红寺堡区各地类布局得到调整优化,至2009年已经形成了以红寺堡镇为中心城镇和灌区遍布农村居民点的生活空间体系,并在罗山自然保护区周边和东南部的黄土丘陵沟壑区发生大面积的旱地转为灌木林地和草地,生态逐渐好转。2018年,城镇化进程的加快导致建设用地快速扩张,占比达到

7.71%,扩张最为明显的分布在红寺堡区中部、太阳山镇。另外,种植结构的转型促使园地和水浇地在红寺堡区中部扩张,在柳泉乡、新庄集和红寺堡镇表现最为明显。整体来看,研究区中部以建设用地、水浇地、旱地、园地为主,东部以林草地为主,基本形成以灌区为主的生活和生产空间、周边为生态空间的“三生”空间格局。

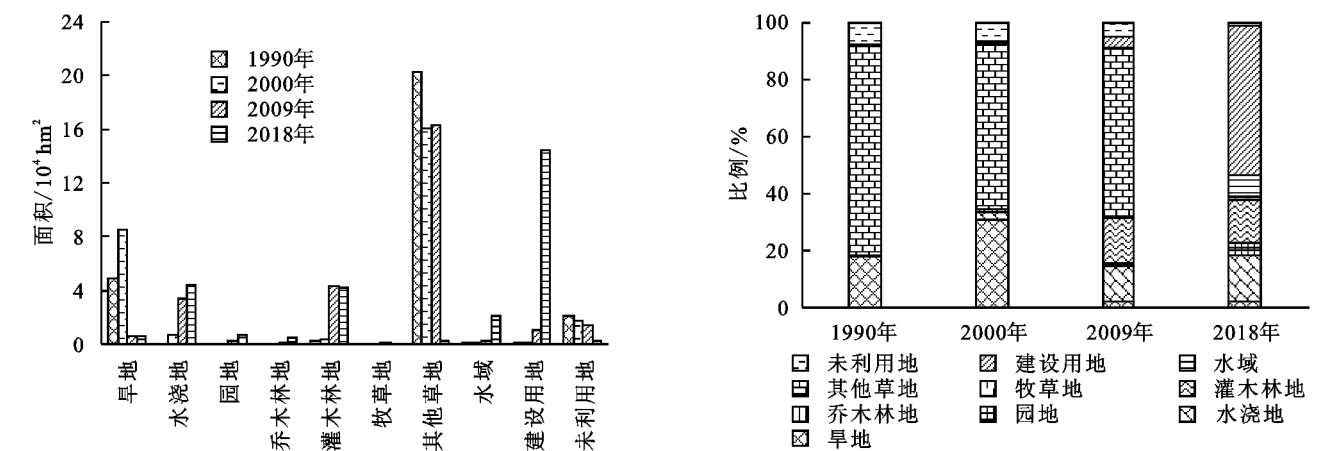


图2 1990—2018年红寺堡区土地利用数量及结构变化

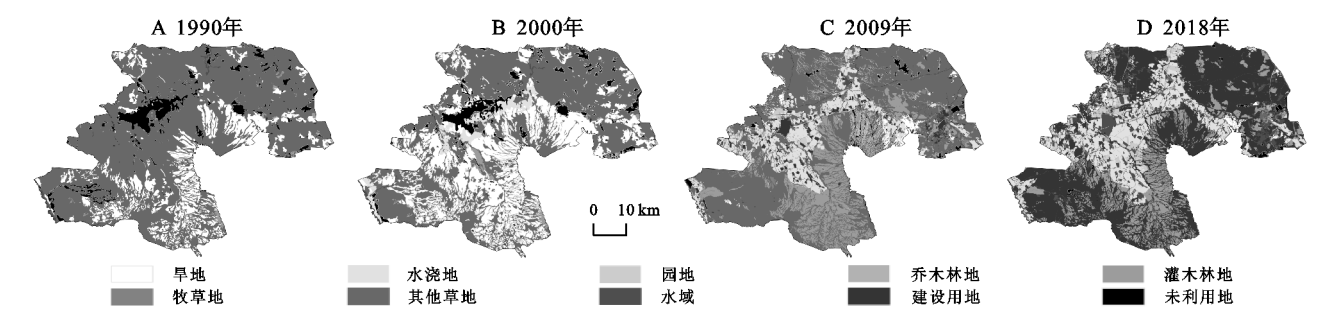


图3 1990—2018年红寺堡区土地利用空间格局变化

2.3 红寺堡区生态系统服务价值损益分析

2.3.1 生态服务价值的数量与结构变化 1990—2018年,红寺堡区生态系统服务价值由11.51亿元提升为22.67亿元,增加了11.16亿元,供给、调节、支持、文化服务的ESV值分别提高了1.36,2.09,1.98,2.04倍(表3),生态系统服务得到明显改善。按照生态系统服务增长幅度可依次排序为:调节服务>文化服务>支持服务>供给服务。其中,调节服务始终是红寺堡区生态系统的主体功能,呈逐年增加的态势。在各单项生态系统服务功能中,除原材料生产和水资源供给功能ESV有所减损,其余服务功能都有了持续提高,特别是气候调节的ESV价值增量最多的,增加3.10亿元,其次以水文调节、生物多样性、土壤保持服务功能增长较多,以维持养分循环功能增量最少,只增加了0.09亿元。表明在绿洲建设过程中,红寺堡区优化了各地类的开发、使用程度,林草地的建设对气候、水文调节等方面均有所提升,对区域整体生态系统服务起促进作用。但是在荒漠绿洲及城镇

化发展的过程中,由于研究区移民数量级规模较大,工业园区发展较快,且处于半干旱地带,水资源有限,因此加大了对原材料生产、水资源供给功能的压力,导致其价值有所减少,原材料生产由0.71亿元减少至2018年的0.52亿元,水资源供给减少至0.92亿元。尤其是水资源供给呈持续降低的趋势,因此在后期发展中在巩固生态建设成果的同时,需要控制城市工业体系的建成和发展,在水资源有限的条件下,合理把控工业用水对生活用水的需求。

2.3.2 生态系统服务价值损益分析 选择生态系统服务价值累积贡献率达到85%以上的关键转移流做ESV损益分析(图4)。可发现,1990—2018年ESV转移流存在明显的阶段性特征。绿洲大规模开发建设前(1990—2000年),研究区土地利用变化导致的ESV变化幅度很小,绿洲开发建设后(2000—2018年)ESV变化程度愈加明显。1990—2000年,ESV提升的主要转移流为其他草地转灌木林地、未利用地转水域。其中其他草地转灌木林地产生的价值增量

最高,为 0.35 亿元。未利用地向水域转移的面积虽小,但提升的价值量中 13.51%的增量来源于此,仅次于其他草地转灌木林地。导致 ESV 降低的转移流有其他草地转旱地、水域转未利用地、灌木林地转其他草地等,其中其他草地转旱地造成的 ESV 损失最多,达 0.78 亿元,占价值量损失的 31.87%。整体红寺堡区生态环境被破坏,虽然部分未利用地被用于开发为旱地,但是入不敷出,弥补不了 ESV 的损失,主要因为其他草地的当量价值高于旱地。2000—2009 年,对 ESV 的提升作用显著提高。ESV 增加主要来自旱地转换灌木林地和其他草地转灌木林地,其中旱地转灌木林地的价值增量最高,达 5.32 亿元;ESV 的亏损主要来自灌木林地转其他草地,使 ESV 减少了 0.35 亿元。2009—2018 年,地类对 ESV 的影响程度变大。得益于水域扩张,58.72%的价值增量来自其他草地、建设用地转水体,促进了 ESV 提高。其中其他草地转水域提供的价值增量最大,为 4.31 亿元。ESV 亏损来自建设用地的扩张,其中其他草

地转建设用地导致 ESV 亏损 5.52 亿元,贡献率达到 51.35%,灌木林地转建设用地导致 ESV 减少 0.27 亿元。总体来看,1990—2000 年,旱地扩张是以牺牲高 ESV 土地(如其他草地)为代价,虽然增加了农业生产的收益,但是这种不受约束的高强度土地资源开发导致林草地失衡,使得绿洲生态退化,ESV 损失 0.03 亿元。2000—2018 年,随着绿洲开发进程的加快,各地类对生态系统的影响表现愈加明显,城镇用地、乡村居民点和其他建设用地侵占了大量的林草地,导致红寺堡区的 ESV 降低,累积损失量高达 9.12 亿元。但在“退耕还林还草”“扬黄灌溉”等生态措施下,灌木林地和水域的扩张弥补了这些价值量的损失,使得 ESV 增加 13.51 亿元。可以说,旱地转灌木林地、其他草地转水域是最有利于 ESV 增加的转移流,其他草地转建设用地是最不利于 ESV 提升的转移流。另外种植结构的提升也使得生态环境得到改善,2009—2018 年水浇地转园地增加了 0.42 亿元的价值量。

表 3 1990—2018 年生态系统服务功能的 ESV 变化

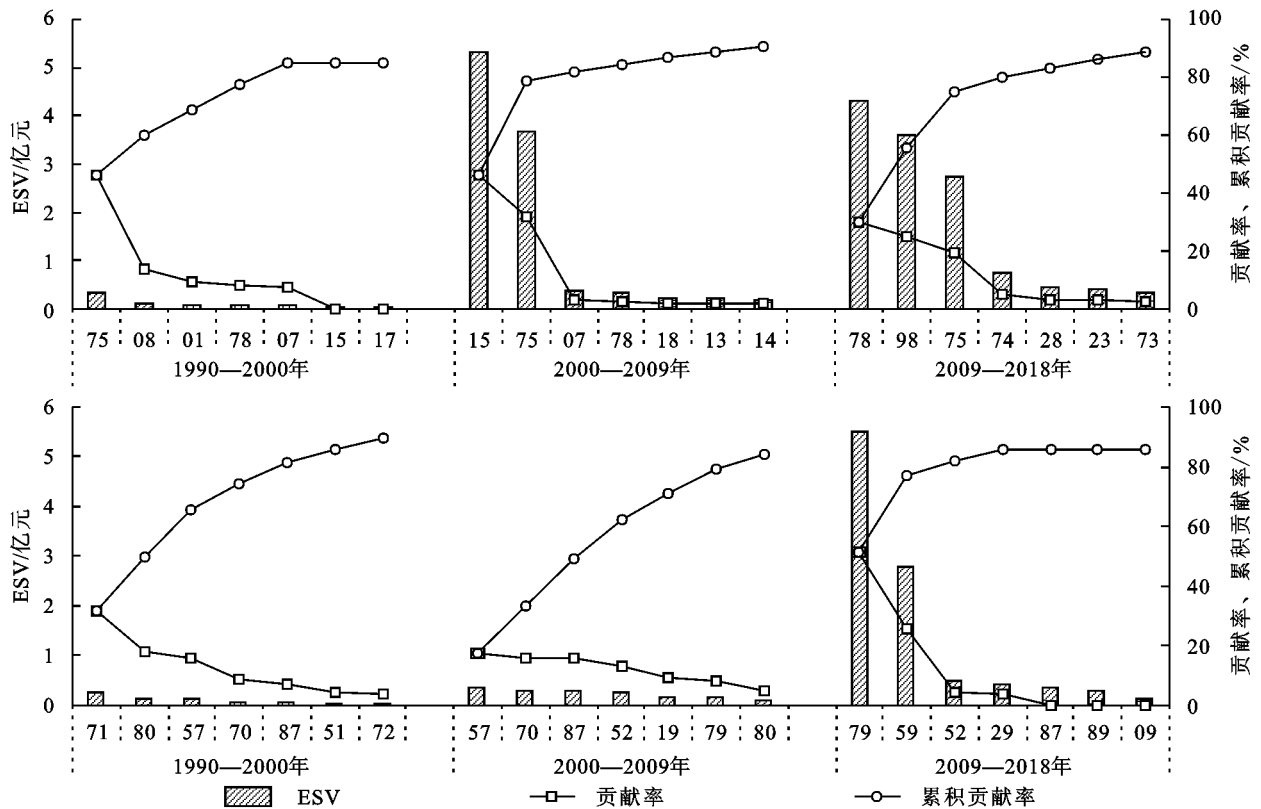
服务功能		1990 年		2000 年		2009 年		2018 年	
		ESV/亿元	比例/%	ESV/亿元	比例/%	ESV/亿元	比例/%	ESV/亿元	比例/%
供给服务	食物生产	0.75	6.52	1.37	11.92	1.42	6.78	2.37	10.45
	原材料生产	0.53	4.60	0.71	6.18	0.48	2.29	0.52	2.29
	水资源供给	0.17	1.48	0.01	0.09	-0.52	-2.48	-0.93	-4.10
调节服务	气体调节	1.11	9.64	1.13	9.83	2.00	9.55	2.13	9.40
	气候调节	1.99	17.29	1.82	15.84	4.84	23.11	5.09	22.45
	净化环境	1.56	13.55	1.32	11.49	2.25	10.74	2.27	10.01
	水文调节	2.33	20.24	2.10	18.28	4.63	22.11	5.10	22.50
支持服务	土壤保持	1.30	11.29	1.33	11.58	2.47	11.80	2.52	11.12
	维持养分循环	0.16	1.39	0.21	1.83	0.26	1.24	0.30	1.32
	生物多样性	1.11	9.64	1.03	8.96	2.17	10.36	2.28	10.06
文化服务	美学景观	0.50	4.34	0.46	4.00	0.95	4.54	1.02	4.50

3 讨论

3.1 红寺堡区绿洲开发的启示与思考

自红寺堡区开发建设以来,搬迁近 23 万人,开发约 1.333×10⁵ hm²扬黄新灌区,成功地在荒漠上建起了绿洲。这种开发模式,对于旱区绿洲发展具有重要的参考价值。首先,经过 28 a 建设,红寺堡区已形成了“蝴蝶型”的荒漠绿洲灌区格局,这种发展格局与红寺堡区的灌溉水利设施的辐射范围密切相关。旱区绿洲的发展中,生产、生活、生态都依靠输入性水资源的支持,因此,绿洲开发规模要注意水资源承载力的约束性。今后的发展要进一步加快现代化灌区的发展,提高集约节约用水能力,以增强绿洲的水资源支撑的可持续性。其次,生态脆弱区进行绿洲开发,

开发初期要十分重视生态系统的建设与修复。在绿洲开发模式下,红寺堡区中部区域开展绿洲建设,周边缓坡丘陵大力植树造林,沿街沿渠进行乔木林建设,使得区域生态环境得到有效的改善,ESV 提升至 22.67 亿元,气候调节、土壤保持等单项服务价值均得到有效的提升。与此同时,扬黄灌溉工程促使灌区规模扩张,使得农业以人工灌溉为主,土地质量改善,种植结构得到提升,从传统的旱地转换为产生高经济效益的园地和水浇地,极大促进了研究区非农用地和未利用地的优化和改善。第三,在扩张生活空间的同时要注意提高土地利用的集约性,要实现区域经济发展与生态保护的协同,就必须整合区域社会经济资源和生态资源,提高土地资源质量,减少无约束开发造成的 ESV 损失,合理控制耕地、建设用地的扩张。



注:横轴中地类转移代码,十位数代码为初始年份地类代码,个位数字为末期年份地类代码,如75表示其他草地转为灌木林地。

图4 红寺堡区1990—2018年关键ESV转移流及其贡献率

3.2 不足与展望

生态系统服务价值核算中,当量因子法在中观和宏观尺度上在应用中仍然具有普遍性。学者对该方法的质疑之处主要因为谢高地等^[17]学者提出的生态系统服务价值当量因子是基于全国平均尺度的,无法适应于各个地区。因此在中观尺度应用上,较为普遍的做法是对其进行一定的修订。本研究,根据红寺堡区的实际情况,对个别地类的当量因子作了微调。另外,关于单位面积生态系统服务价值转化为经济价值时,基准年份是该方法中需要考虑的一个重要问题。在时间序列研究中,一些学者通常采用某一年或者几个年份的均值用以估算粮食单产市场的价格,用以确定生态系统服务的基础当量^[13,19]。这种方法有一定的借鉴价值。在本文研究中,为了体现生态系统服务价值的可比性,采用了基准年的思路,取2010年为基准年进行测算。后续研究中,将对其发展趋势和驱动机制作进一步分析,以期及早区绿洲系统可持续发展提供更有价值的决策参考。

4 结论

(1) 红寺堡灌区呈持续扩张趋势,由2000年的 $7.3 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 增加至2018年的 $5.17 \times 10^4 \text{ hm}^2$,共增加 $4.44 \times 10^4 \text{ hm}^2$,在2000—2009年扩张速度最快,辐射范

围最广。目前灌区以红寺堡灌区为中心,固海灌区和盐环定灌区为两翼,呈“蝴蝶状”,基本覆盖各个乡镇。

(2) 绿洲开发使得红寺堡区的土地利用结构发生显著变化,旱地、其他草地和未利用地大幅减少,水浇地、林地和建设用地大幅增加。其中,建设用地扩张最为明显,主要分布在红寺堡区中部、太阳山镇;其他草地被其他地类侵占,缩减最多,主要分布在红寺堡区中部及东部。目前研究区中部以建设用地、农用地为主,东部以林草地为主,基本形成以灌区为主的生活生产空间、周边为生态空间的“三生”空间格局。

(3) 1990—2018年红寺堡区的ESV由11.51亿元提升为22.67亿元,增加了11.16亿元,供给、调节、支持、文化服务功能均提高。在各单项生态系统服务功能中,气候调节生态系统的价值增量最多的,为3.10亿元;水资源供给ESV减损最多,达1.10亿元。表明后期需要控制城市工业体系的建成和发展,合理控制工业用水对生活用水的需求。

(4) 红寺堡区ESV损益的阶段性特征明显,以2000年为节点,此前ESV表现为轻度降低,其后ESV持续净增。1990—2000年,旱地扩张,导致林草地失衡,生态退化,ESV损失0.29亿元;2000—2018年ESV增加11.16亿元,具体表现为城镇建设用地快速扩张导致ESV损失9.12亿元,是该阶段ESV损失的主因,林草地

和水域的扩张使得 ESV 增加 13.51 亿元,是 ESV 增加的主要来源。今后发展中,需要进一步提升社会-经济-生态三者的协同发展能力。

参考文献:

- [1] 傅伯杰,张立伟.土地利用变化与生态系统服务:概念、方法与进展[J].地理科学进展,2014,33(5):441-446.
- [2] 戴培超,张绍良,刘润,等.生态系统文化服务研究进展:基于 Web of Science 分析[J].生态学报,2019,39(5):1863-1875.
- [3] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems[M]. Washington D C: Island Press, 1997.
- [4] Costanza R, Groot R D, Stephen F, et al. The values of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(15): 253-260.
- [5] 金贵,吴锋,李兆华,等.快速城镇化地区土地利用及生态效率测算与分析[J].生态学报,2017,37(23):8048-8057.
- [6] Luo Q L, Zhou J F, Li Z G, et al. Spatial differences of ecosystem services and their driving factors: A comparison analysis among three urban agglomerations in China's Yangtze River Economic Belt[J]. Science of the Total Environment, 2020,725,138452.
- [7] 刘芳,于凯,张金玲,等.新疆准东露天煤矿土地利用时空变化及其对生态系统服务价值的影响[J].生态经济,2021,37(9):169-175.
- [8] Cai E X, Jing Y, Liu Y L, et al. Spatial-temporal patterns and driving forces of Ecological-Living-Production land in Hubei Province, Central China [J]. Sustainability, 2018,10(1):66-81.
- [9] 刘莹,耿文亮,邵静文,等.“三生空间”视角下土地利用变化与生态系统服务价值响应:以黄河下游地区为例[J].地域研究与开发,2021,40(4):129-135.
- [10] Schirpke U, Tscholl S, Tasser E. Spatio-temporal changes in ecosystem service values: Effects of land-use changes from past to future(1860—2100) [J]. Journal of Environmental Management, 2020,272:111068.
- [11] 韩增林,赵文桢,闫晓露,等.基于生态系统服务价值损益的生态安全格局演变分析:以辽宁沿海瓦房店市为例[J].生态学报,2019,39(22):8370-8382.
- [12] 刘瑞清,李加林,何改丽,等.浙江省绿地系统时空变化特征及生态损益评价[J].生态学杂志,2018,37(10):3119-3129.
- [13] 南笛,杨子寒,毕旭,等.生态系统服务价值与人类活动的时空关联分析:以长江中游华阳河湖群地区为例[J].中国环境科学,2018,38(9):3531-3541.
- [14] 王庭辉,王喜,秦耀辰,等.丹江口库区生态系统服务价值与人类活动时空关联分析[J].长江流域资源与环境,2021,30(2):330-341.
- [15] 李理,朱文博,李艳红,等.基于地形梯度特征淇河流域生态系统服务价值损益[J].水土保持研究,2019,26(5):287-295.
- [16] 冯源,朱建华,曾立雄,等.县域土地利用变化下生态系统服务价值损益预测:以重庆市巴南区为例[J].生态学报,2021,41(9):3381-3393.
- [17] 谢高地,张彩霞,张雷明,等.基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J].自然资源学报,2015,30(8):1243-1254.
- [18] 周寒冰,王志泰,王志杰,等.喀斯特山地城市生态系统服务价值地形梯度响应:以贵阳市中心城区为例[J].水土保持研究,2021,28(6):337-347.
- [19] 程广斌,琚小倩.基于 RS 和 GIS 技术的生态系统服务价值对土地利用变化的响应:以乌鲁木齐城市圈为例[J].生态经济,2021,37(7):169-175.
- [20] 卢周扬帆,许端阳,张绪教,等.阿拉善干旱荒漠区土地利用变化对生态系统服务的影响[J].水土保持研究,2019,26(6):296-302.
- [21] 张学斌,罗君,石培基,等.格网尺度下张掖生态系统服务价值时空演变及地形梯度分异特征[J].应用生态学报,2020,31(2):543-553.
- [22] 李子君,刘金玉,姜爱霞,等.基于土地利用的祁河流域生态系统服务价值动态变化[J].水土保持研究,2020,27(2):269-275,283.
- [23] Pan N H, Guan Q Y, Wang Q Z, et al. Spatial differentiation and driving mechanisms in ecosystem service value of arid region: A case study in the middle and lower reaches of Shule River Basin, NW China[J]. Journal of Cleaner Production, 2021,319:128718.
- [24] 苗红,贾菲,耿一睿,等.宁夏生态移民安置区人地耦合系统脆弱性分析[J].干旱区地理,2020,43(3):796-806.
- [25] 谢高地,张彩霞,张昌顺,等.中国生态系统服务的价值[J].资源科学,2015,37(9):1740-1746.
- [26] 肖建设,乔斌,陈国茜,等.黄河源区玛多县土地利用和生态系统服务价值的演变[J].生态学报,2020,40(2):510-521.
- [27] 安斯文,马彩虹,袁倩颖,等.生态移民区“三生”用地变化对生态系统服务的影响:以宁夏红寺堡区为例[J].干旱区地理,2021,44(6):1836-1846.