

宁夏原州区生态移民村生境景观连接度 变化及其驱动因素

王亚娟¹, 张小红², 温胜强³, 刘小鹏²

[1. 宁夏大学 经济管理学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏大学 资源环境学院,
宁夏 银川 750021; 3. 苏交科集团(甘肃)交通规划设计有限公司, 甘肃 兰州 730030]

摘要: [目的] 分析生态移民土地利用过程中生境景观连接度变化及其驱动因素, 为生态移民的生态风险管理及移民可持续性提供科学依据。[方法] 以宁夏原州区“十二五”时期4个生态移民村(丰泽、金轮、和润及泉港)为例, 基于2016年高分影像数据, 同时参考移民前谷歌地球2010年数据和第二次全国土地调查数据(2010年), 经野外GPS校验, 通过计算障碍影响指数和生境景观连接度指数, 分析生态移民村土地利用生境景观分异。[结果] 丰泽村和金轮村的生境景观连接度呈下降态势, 和润村和泉港村呈上升态势。4个生态移民村的变化趋势明显, 但极高连接度和高连接度比例很小。生态移民村生境景观变化驱动力主要为人为因素, 建设用地占用耕地、园地普遍, 其中泉港村与和润村建设用地面积年均增长率分别高达27.49%和21.28%, 同时金轮村、和润村、泉港村无后备土地资源, 生态压力突出。[结论] 4个生态移民村人口密度增大导致建设用地占用耕地明显, 生态用地被分割, 移民的非农活动比重大造成耕地撂荒, 景观破碎化和孤岛化现象明显, 生境景观呈现出不稳定状态, 生态压力增加。

关键词: 生态移民; 土地利用; 景观连接度; 驱动力

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)04-0259-07

中图分类号: D632.4, K909

文献参数: 王亚娟, 张小红, 温胜强, 等. 宁夏原州区生态移民村生境景观连接度变化及其驱动因素[J]. 水土保持通报, 2020, 40(4): 259-265. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2020.04.035; Wang Yajuan, Zhang Xiaohong, Wen Shengqiang, et al. Changes of habitat landscape connectivity and driving factors of ecological migration villages in Yuanzhou District of Ningxia Hui Autonomous Region [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(4): 259-265.

Changes of Habitat Landscape Connectivity and Driving Factors of Ecological Migration Villages in Yuanzhou District of Ningxia Hui Autonomous Region

Wang Yajuan¹, Zhang Xiaohong², Wen Shengqiang³, Liu Xiaopeng²

[1. College of Economics and Management, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021,

China; 2. College of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China;

3. Su Traffic Technology Group(Gansu) Traffic Planning and Design Limited Company, Lanzhou, Gansu 730030, China]

Abstract: [Objective] The changes of habitat landscape connectivity and its driving factors in the process of land use of ecological migration were analyzed, in order to provide scientific basis for ecological risk management and sustainability of ecological migration. [Methods] Four eco-migration villages (Fengze, Jinlun, Herun and Quangang) in Yuanzhou District of Ningxia Hui Autonomous Region during the 12th five-year plan period were taken as examples. Based on the high-resolution image data of 2016, Google Earth data (2010) and the second national land survey data (2010) before migration, the landscape differentiation in ecological immigrant village was analyzed by calculating the barrier impact index and the landscape connectivity index, after field verification by GPS. [Results] The landscape connectivity of Fengze and Jinlun villages was declining, while that of Herun and Quangang village was on the rise. The change trend of each immigration

收稿日期: 2019-10-18

修回日期: 2019-11-18

资助项目: 国家自然科学基金项目“宁夏生态移民安置区空间冲突过程及调控机制研究”(41761025)

第一作者: 王亚娟(1978—), 女(汉族), 陕西省咸阳市人, 博士, 教授, 主要从事生态环境影响评价方面的研究。Email: 358437013@qq.com。

village was obvious, but the proportion of extremely high and high connectivity was very small. The driving forces of the landscape connectivity change in ecological immigration villages were mainly human factors. Construction land occupied cultivated land and garden land widely in general, and the average annual growth rate of construction land area in Quangang village and Herun village were up to 27.49% and 21.28%, respectively. In addition, Jinlun, Herun and Quangang village had no reserve land resources, and thus, the ecological pressure was prominent. [Conclusion] The increase of population density in the four eco-migration villages resulted in the obvious occupation of cultivated land for construction and the division of ecological land. The ratio of non-agricultural activity of immigrants was significant, resulting in the abandonment of cultivated land, the fragmentation and isolation of landscape, the instability of habitat landscape and the increase of ecological pressure.

Keywords: ecological immigration; land utilization; landscape connectivity; driving force

自 20 世纪 80 年代初以来,宁夏回族自治区先后实施了“吊庄移民”、“1236 工程”移民、易地扶贫搬迁移民、中部干旱带县内生态移民和“十二五”以来生态移民共 5 个阶段的生态移民工程^[1],是中国较早实施生态移民工程的省区。原州区自然资源匮乏、生态环境恶劣、通过实施生态移民,促进迁出区资源节约、环境友好,可以缓解当地的资源环境压力,促进区域之间协调发展。但同时,迁入区(安置区)人口密度增大、生产生活方式改变、土地利用结构发生变化,进而导致景观格局的改变,对当地生态系统产生扰动。生态移民村是脱贫攻坚与乡村振兴的一类特殊的乡村类型,其建设过程实质上是乡村地域空间格局集中性、规模性重构过程,这个过程必然快速改变其载体—土地的利用格局^[2]。由于生态移民安置区多分布于生态脆弱地区,随着人口压力向该地区的转移和土地利用格局的重构,客观上对安置区生态系统结构和功能、安全和健康产生显著作用,对景观格局及生态过程的完整性和连续性产生较大影响,存在隐性或显性的生态风险和空间冲突。近年来,生态移民对生态环境影响研究取得了积极进展,主要开展了生态移民安置区土地利用系统健康评价^[2],生态移民工程的生态环境影响评价^[3-4],生态移民工程与生态系统可持续发展^[3,5],生态移民区环境福利问题^[6-7],生态移民安置区生态风险识别^[8-9],生态移民土地利用对生态系统服务的影响^[3]等相关研究。特别是在乡村振兴背景下,生态移民空间重构过程是如何反映景观功能和生物多样性保护,以及为安置区调整生态用地结构提供依据和实现生态宜居是今后一个重要的研究课题。为此,本文以宁夏南部山区原州区“十二五”时期 4 个典型生态移民村为例,基于景观连接度的理论与方法^[13-14],科学判断微观尺度生态移民土地利用过程中生境景观的完整性和连续性及其驱动力,为生态移民生态风险管理和可持续生态移民提供科学依据、理论支撑和实践借鉴。

1 研究区概况

原州区地处宁夏南部黄土高原丘陵区中部和六盘山山地东北部,隶属宁夏固原市,国土总面积 3 520 km²。该区气候属暖温带半干旱区,年降水量 350~650 mm,年均气温 6 ℃,年均日照时数 2 518.2 h,地表水包括清水河系、泾河系和渭河系,是宁夏南部山区地表水资源最匮乏的地区,土壤分 8 个土类,20 个亚类,37 个土属,119 个土种。原州区是六盘山连片特困地区国定贫困县之一。“十二五”期间,原州区生态移民涉及 11 个乡镇 99 个行政村 335 个自然村,5 a 间共移民 11 441 户 46 615 人,其中县内生态移民安置区主要集中在原州区的 4 个乡镇 9 个行政村。根据生态移民迁移方向和安置方式,可将生态移民安置区分为镶嵌型、楔型和跳跃型等不同地理空间结构类型^[15],随机抽取泉港村、和润村、金轮村和丰泽村 4 个不同地理空间结构类型的生态移民村作为研究样本村。

2 数据来源与研究方法

2.1 地形数据

本文所用地形数据为原州区 1:5 万 DEM 数字高程模型,通过对全部等高线、控制点、高程点,以及静止水体范围线、河流等地形特征要素矢量化和 ArcGIS 空间插值,生成数字高程模型。

2.2 土地利用数据

考虑小尺度研究对遥感影像精度的要求,本文采用 2016 年高分二号遥感影像,分辨率为 1 m×1 m,接收日期为 2016 年 4 月 3 日,波段为 4,共 14 幅,总面积为 4 603.122 686 hm²,图像几乎没有云量,满足高精度要求。同时参考移民前谷歌地球 2010 年数据和第二次全国土地调查数据(2010 年),并通过野外 GPS 校验最终确定 4 个生态移民村土地利用数据。

2.3 遥感数据预处理与解译

利用 ENVI5.1 软件对遥感影像进行预处理,包括几何校正、图像镶嵌与裁剪、图像增强和图像增强。根据《土地利用现状分类标准(GB/T21010-2017)》以及研究区的影像光谱特征,结合 GPS 野外调查和相关资料研究,确定解译标志,进行解译。参考已有文献^[15-21],确定研究区主要生态功能区包括生态区、建成区、农业区和过渡区。其中,生态区主要指林地、草地和灌木林等,具有环境调节功能;建成区主要指村庄、公路用地、采矿用地等;农业区主要指能够为人类社会提供各种食物的耕地和水域,主要是生产功能;过渡区包括园地和未利用地,主要功能是调和不同生态类型之间相互作用^[15-20]。参照“二调”数据,首先将解译结果中的小图斑进行相邻归并,然后对土地类型进行判别,识别出各移民村的生态功能区。

2.4 障碍影响指数计算

若某区域的生态结构越合理,生态功能越完善最小,则物质在该区域运动时受到的阻力越小,障碍影响也越小,最小耗费距离模型即以图论法为基础,计算不同栅格单元通过“源”的运动过程中所消耗的最小阻力值^[22,23],使用该模型计算障碍影响指数,首先确定“源”、及障碍系数^[19-25]。“源”是促进物种运动或生态过程发展的景观类型^[23]，“源”主要选取对生境影响较大的斑块,在本文主要指城建、交通过地,以及风景、特殊用地等^[23]。然后确定合理的障碍系数,利用 ArcGIS 软件计算最小累积成本距离,得到障碍影

响指数。公式具体如下^[22-27]：

$$BEI = \int_{\min}^{i=m} \sum_{j=n} (D_{ij} = R_i) \quad (1)$$

式中:BEI 表示“源”到空间某处的路径中最小耗费的距离,即生态移民村的障碍影响指数; D_{ij} 表示“源”区域物质或能量从单元 i 运动到单元 j 所耗费的距离; R_i 为“源”在 i 运动单元中的障碍系数。

2.5 生境景观连接度指数计算

生境景观连接度指数反映各生态功能区之间有机联系的程度^[27],计算公式^[22-27]为:

$$ECI = 10 - 9 \frac{\ln(1 + \sum BEI)}{\ln(1 + \sum BEI_{\max})^3} \quad (2)$$

式中:ECI 表示生态移民村的景观连接度指数; $\sum BEI$ 表示“源”区域像元到各生态功能区域的总耗费的距离; $\sum BEI_{\max}$ 表示 $\sum BEI$ 中的最大值。

3 结果分析

3.1 生态功能区变化

将 4 个生态移民村 2010 年(移民前)和 2016 年景观类型图里的小图斑进行相邻归并,对属性相近的土地类型进行判别,识别出生态功能区变化情况(见表 1)。从表 1 中可以看出从 2010—2016 年泉港和丰泽村的生态区所占比例较高,和润村和金轮村所占比例较低,除和润村呈下降趋势外,其余村都呈现上升趋势;建成区面积所占比例除丰泽村增长幅度较小,其余村增长幅度均较大;而农业区面积比较均呈下降趋势;过渡区面积除和润村基本不变外,其余移民村均减少。

表 1 各生态移民村的生态功能分区

样本村	年份	生态区		建成区		农业区		过渡区	
		面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%
泉港村	2010	418.69	33.63	52.21	4.19	703.18	56.48	70.93	5.70
	2016	428.60	34.24	138.31	11.05	646.20	51.63	38.53	3.08
和润村	2010	143.17	12.67	88.23	7.81	727.19	64.34	171.58	15.18
	2016	184.57	16.33	200.97	17.78	572.16	50.62	172.53	15.27
金轮村	2010	131.62	14.92	250.44	28.38	463.31	52.51	37.00	4.19
	2016	147.00	16.66	369.22	41.84	332.02	37.63	34.15	3.87
丰泽村	2010	659.48	50.54	81.29	6.23	504.16	38.64	59.88	4.59
	2016	701.11	53.74	112.09	8.59	450.66	34.54	40.85	3.13

3.2 障碍影响指数变化

参考陈国平、王森等研究成果^[24-27],将生态服务价值最高的生态区的障碍系数设定为 10,农业区为 50,过渡区为 60,生态服务价值最低的建成区的其障碍系数设定为 100^[24-27]。利用 ArcGIS 中的 cost-

distance 功能,计算出 2010 和 2016 年的各生态功能区障碍影响指数,再利用 ARCGIS 中的 Gridmodule 模块等间距划分障碍影响指数,将各生态功能区的障碍影响指数划分成极高、高、中、低、无共 5 种类型(见图 1)。

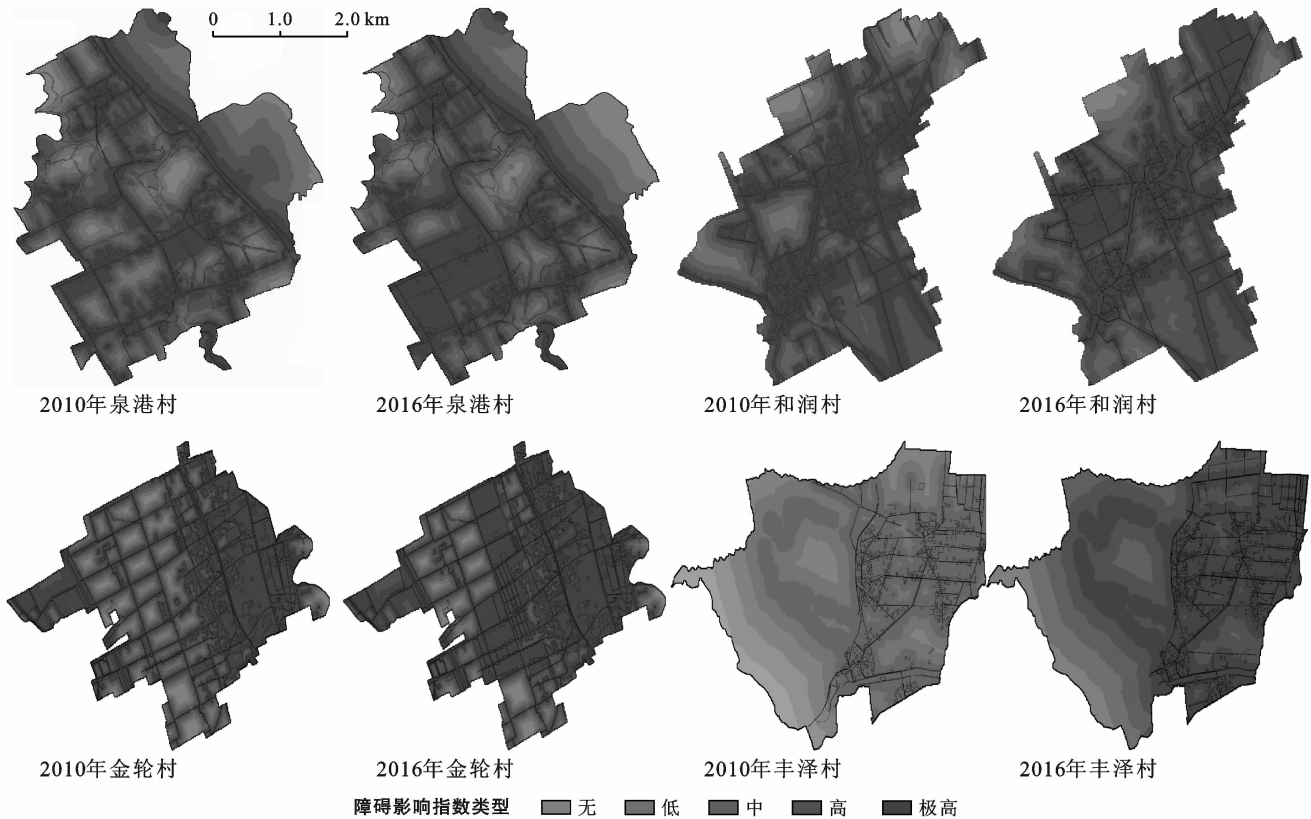


图 1 生态移民村障碍影响指数 (BEI) 类型分布

3.3 生境景观连接度变化

利用 ArcGIS 栅格计算器功能, 计算出生态移民村各生态功能区的生境景观连接度指数。将计算结果通过 ArcGIS 中的 Reclassify 功能, 进行等间距划

分, 结合已有研究成果^[15-21], 将生态移民村的生境景观连接度等距划分为 5 个等级 (见表 2)。根据该判别标准统计各移民村不同等级的景观连接度数值及比例 (表 3), 反映出移民村景观连接度的差异 (见图 2)。

表 2 生态移民村生境景观连接度判别标准

景观连接度指数	≤ 7.0	7.0~7.75	7.75~8.50	8.50~9.25	9.25~10
景观连接度等级	无	低	中	高	极高

总体而言, 各移民村的生境景观连接度分异比较明显, 各移民村极高连接度所占比例却都很小, 金轮村 2010 年最高, 也仅为 2.83%, 最低的丰泽村在 2016 年仅为 0.63%。虽然高连接度所占比例相比极高连接度有所增加, 但是所占比重仍然较小, 最高的和润村在 2010 年也仅为 6.41%, 而且从 2010—2016 这 4 个移民村极高连接度、高连接度均呈下降趋势, 且下降趋势明显。各移民村的中连接度所占比例较低且波动较小, 低连接度所占比例较高, 变化趋势除金轮村低略有下降外, 其余三个村都明显增加。2010 和 2016 年景观连接度中无连接度所占比重较大, 均超过 50%, 但是相比 2010 年, 2016 年的无连接度所占比例又明显下降。

高连接度区域的土地利用类型主要为林地、草地和耕地, 分布在距离各移民村居民点较远的地方, 而移民村的建设主要占用耕地、草地, 园地, 导致极高和

高连接度占比下降; 而低连接度和无连接度区域的土地利用类型主要为公共设施、道路交通、居民点等建设用地, 近几年移民村规模扩大、人口增加和经济发展, 建设用地增加导致景观进一步破碎化, 但在移民村内部由于大力实施绿化工程, 加强道路及公共活动场地的绿化, 提高村内绿化覆盖率等措施提高了景观连接度比例, 使无连接度的比例有一定程度降低。

3.4 生景观连接度变化驱动力

生境景观驱动力分为人为驱动力和自然驱动力两个方面^[28-32]。人为驱动力主要是指国家及地方政策、技术、人口以及经济发展等人文因素对景观格局的干扰; 自然驱动力主要是指风力侵蚀、降水、气候变化等自然因素在较大的时间和空间尺度上对景观的作用。本研究对象是生态移民前后迁入地生境景观分异, 自然驱动力对生境景观分异影响可忽略不计。

表3 生态移民村生境景观连接度评价结果

样本村	年份	无连接度		低连接度		中连接度		高连接度		极高连接度	
		数值	比例/%	数值	比例/%	数值	比例/%	数值	比例/%	数值	比例/%
泉港村	2010	104 001	51.92	54 174	27.05	26 771	13.36	12 149	6.07	3 213	1.60
	2016	100 442	50.14	56 110	28.01	30 429	15.19	11 194	5.59	2 133	1.06
和润村	2010	73 357	52.16	36 253	25.78	18 036	12.82	9 019	6.41	3 972	2.82
	2016	71 227	50.65	41 532	29.53	19 290	13.72	6 240	4.44	2 348	1.67
金轮村	2010	44 736	52.68	23 006	27.09	10 662	12.56	4 293	5.06	2 218	2.61
	2016	46 469	54.72	21 950	25.85	10 662	12.56	3 884	4.57	1 950	2.30
丰泽村	2010	53 071	52.98	29 879	29.83	12 378	12.36	4 011	4.00	828	0.83
	2016	50 364	50.28	34 274	34.22	11 939	11.92	2 961	2.96	629	0.63

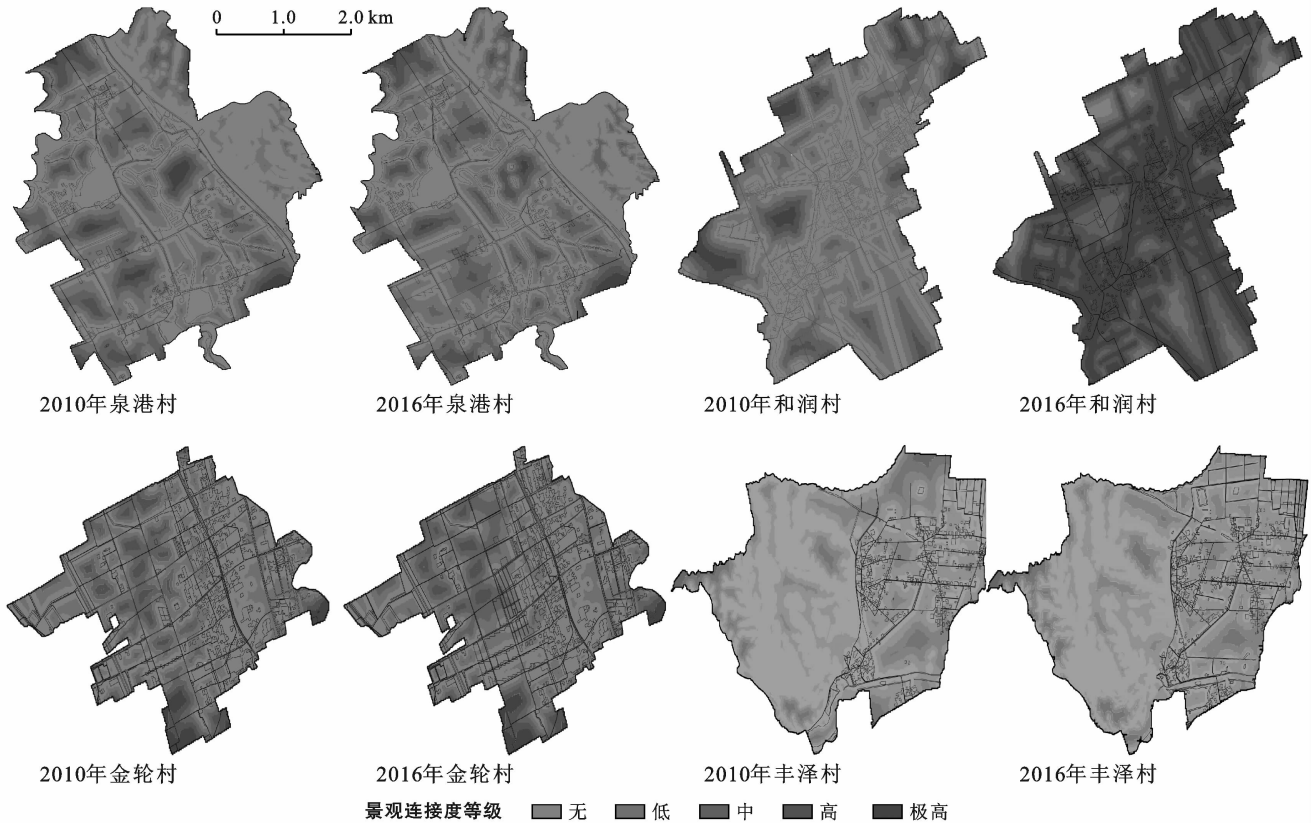


图2 生态移民村生境景观连接度等级(ECD)分布

3.4.1 建设用地的变化 从2010—2016年,4个移民村的建设用地面积增加显著(见图3)。建设用地面积增加幅度最大的为泉港村,年均增长率高达27.49%,其次是和润村,年均增长率为21.28%。金轮村和丰泽村建设用地年均增长率分别为7.91%和6.31%。丰泽村增加的建设用地主要是原有果园,果园转换成建设用地的比例为51.85%,其余三个村主要都是耕地转换为建设用地,金轮村、和润村和泉港村转换比例分别为26.35%、15.59%和12.4%。四个移民村的耕地、园地等被建设用地占用,呈现出破碎化和孤岛化状态,导致高景观连接度降低。另一方面,这四个移民安置村后备土地资源严重匮乏,除丰泽村尚有未利用地12.75 hm²,其余三个村都没有可供开发的后备土地资源。

3.4.2 生态移民村人口变化 一个移民村总人口从2010年的2 076户7 991人增加到2016年的3 982户14 734人,增长接近一倍,人口密度显著增加(见图3)。其中,和润村人口密度从2010年的176人/km²增长到2016年的418人/km²,年均增长率达到22.92%,其他依次是金轮村、丰泽村和泉港村,人口密度年均增长率分别为14.54%、7.14%和11.94%。人口快速增长,人口密度加大,建设用地需求增加,占用耕地和园地普遍,导致景观连接度降低,生境景观不稳定。

3.4.3 生态移民村收入变化 移民前(2010年),4个移民村平均人均可支配收入为4 112元,低于同期全县农村居民人均可支配收入4 138元的水平。但移民后(2016年),4个移民村平均人均可支配收入达

到 8 664 元,超过同期全县农村居民人均可支配收入 8 070 元的水平(图 3)。但移民收入来源主要是非农业和进城务工,占到可支配收入的 60%以上,而家

庭经营性收入明显偏低,农业活动风险大收入低,年轻劳动力进城务工,生态移民村出现“空心化”,耕地撂荒,严重影响了生境景观稳定性。

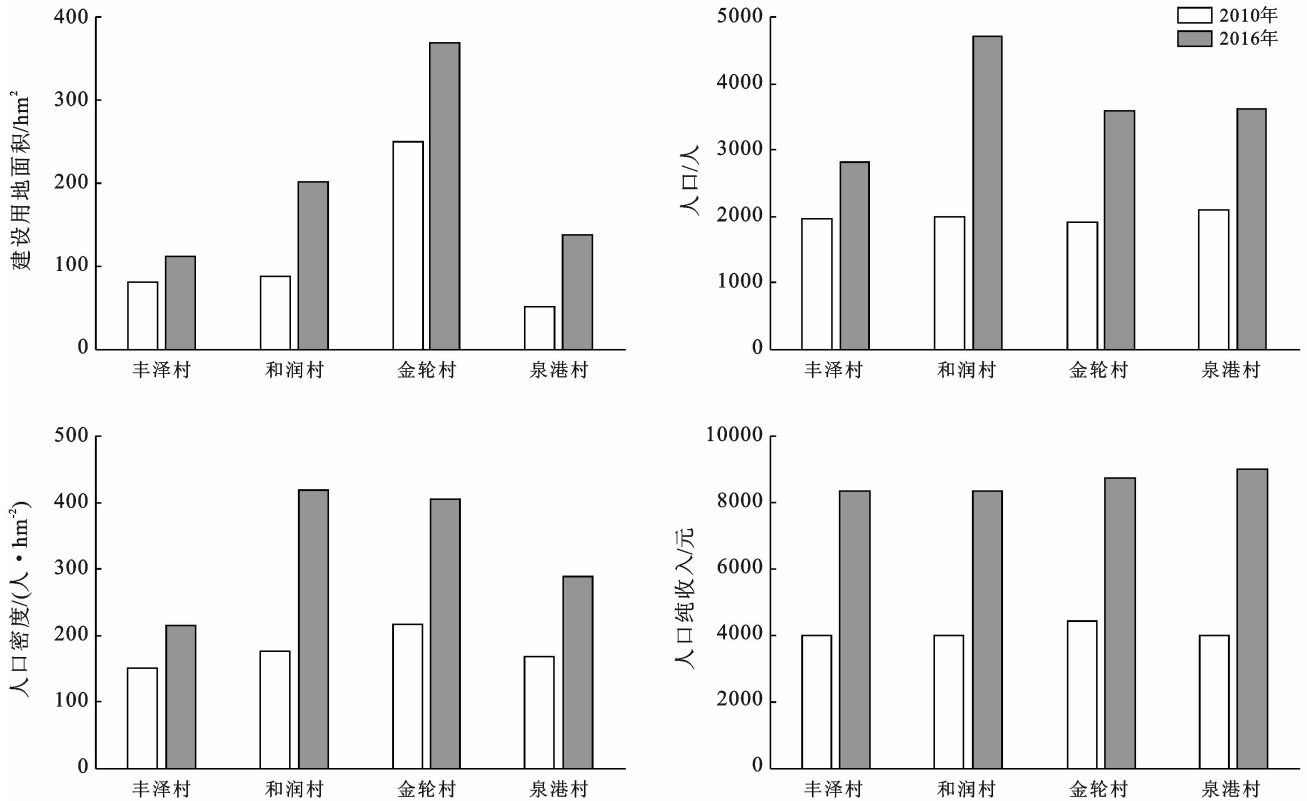


图 3 生态移民村建设用地面积、人口和人口密度、人均纯收入变化

4 讨论与结论

4.1 讨论

在实施乡村振兴战略背景下,作为一种特殊的乡村类型,注重生态移民村空间重构和土地利用生境景观优化,实施生态建设,是生态移民村全面振兴的基础。生境景观连接度与土地利用的关系密切,两者相互进行影响且协调一致发展,通过分析不同土地利用作用下生境景观连接度的变化,不仅有助于实现景观优化,同时也有利于实现土地资源的可持续利用。由于方法的局限性,在生态功能区判别和障碍系数确定时,本文借鉴相关研究成果,而对于移民村的生态环境状况考虑存在欠缺,具有一定的主观性,今后在这方面应进一步深入探讨,以提高评价的准确性。本研究仅对原州区 4 个生态移民村进行评价分析,为微观尺度,由于数据获取的局限性,忽略了周边相邻区域的影响,今后若能在多尺度视角下,进一步考虑相邻区域的影响,则评价结果更精确。

4.2 结论

(1) 生态移民村生境景观变化明显。2010—2016 年原州区 4 个生态移民村的生境景观连接度差

异明显,景观破碎化加剧。4 个生态移民村极高连接度和高连接度的比例都很小,从 2010—2016 年,各村的极高连接度和高连接度比例都在下降;各移民村的中连接度所占比例较低且波动较小,低连接度所占比例较高,变化趋势除金轮村略微有下降外,其余 3 个村都明显增加;各移民村 2010 年和 2016 年的无连接度比例均超过 50%,但 2016 年相比 2010 年的无连接度比例又表现出明显下降趋势。

(2) 生态移民村生境景观变化的人为驱动力明显。首先是建设用地占用耕地、园地普遍,其中泉港村和和润村建设用地面积年均增长率分别高达 27.49%和 21.28%,生境景观呈现出破碎化和孤岛化状态,同时金轮村、和润村、泉港村无后备土地资源,生态压力突出。同时,生态移民村(迁入区)人口密度的快速增大和移民的非农活动,造成生态压力增大和生境景观的不稳定。

依据最终评价结果并结合安置区社会经济发展现状,为构建景观结构合理、人地关系和谐的生态移民安置村,本文提出以下措施建议:①在后期发展中,要严格控制建设用地扩张规模,合理进行空间配置,避免新的开发活动对区域生态结构产生显著的负

面影响;②要合理控制人口规模,落实人口制度,加大职业技能培训,使移民都有一技之长,积极拓宽就业渠道,通过劳务输出引导人口外出务工,进一步降低对区域景观的压力,提高土地资源承载力。③在无连接区域内充分利用各种残存的景观友好要素,辅助以必要的保护、恢复和建设来改善景观结构,充分利用空地、荒地和半闲置土地进行人工连接度构建。提高全区域的整体连接性水平。最后,在移民村内部,依托院落和安置区周边,鼓励家庭园地的绿化工程,通过发展院落经济,一方面可增加收入,增加土地的附加值,另一方面可有效改善移民村内部的景观连接水平,有效兼顾区域美化和生态安全维护。

[参 考 文 献]

- [1] Liu Xiaoping, Chen Xiao, Hua Kaiping, et al. Effects of land use change on ecosystem services in arid area ecological migration[J]. Chinese Geographical Science, 2018,28(5):894-906.
- [2] 龙花楼. 论土地整治与乡村空间重构[J]. 地理学报, 2013,68(8):1019-1028.
- [3] 王鹏,王亚娟,刘小鹏,等. 基于 PSR 模型的生态移民安置区土地利用系统健康评价:以红寺堡区为例[J]. 水土保持研究,2018,25(6):270-276.
- [4] 邰秀军,畅冬妮,郭颖. 宁夏生态移民居住安置方式的减贫效果分析[J]. 干旱区资源与环境,2017,31(4):47-53.
- [5] 贾耀锋. 中国生态移民效益评估研究综述[J]. 资源科学,2016,38(8):1550-1560.
- [6] 唐宏,张新焕,杨德刚. 农户生态移民意愿及影响因素研究:基于新疆三工河流域的农户调查[J]. 自然资源学报,2011,26(10):1658-1669.
- [7] 刘小鹏,王亚娟. 中国生态移民与生态环境关系研究进展[J]. 宁夏大学学报(自然科学版),2013,34(2):173-176.
- [8] 陈晓,刘小鹏,王鹏,等. 旱区生态移民空间冲突的生态风险研究:以宁夏红寺堡区为例[J]. 人文地理,2018,33(5):106-113.
- [9] 王鹏,王亚娟,刘小鹏,等. 基于景观结构的生态移民安置区生态风险评价:以宁夏红寺堡区为例[J]. 生态学报,2018,38(8):1-11.
- [10] Uezu A, Metzger, J P, Vielliard, J M L. Effects of structural and functional connectivity and patch size on the abundance of seven Atlantic forest bird species [J]. Biological Conservation, 2005,123(4):507-519.
- [11] Taylor P D, Fahrig L, Henein K, et al. Connectivity is a vital element of landscape structure [J]. Oikos, 1993,68(3):571-573.
- [12] With K A, Gardner R H, Turner M G. Landscape connectivity and population distributions in heterogeneous environments [J]. Oikos, 1997,78(1):151-169.
- [13] 陈春娣,贾振毅,吴胜军,等. 基于文献计量法的中国景观连接度应用研究进展[J]. 生态学报,2017,37(10):3243-3255.
- [14] 陈利顶,傅伯杰. 景观连接度的生态学意义及其应用[J]. 生态学杂志, 1996,15(4):37-42.
- [15] 温胜强. 宁南生态移民安置区生境景观连接度分异研究:以原州区为例[D]. 宁夏 银川:宁夏大学,2018.
- [16] 李纪宏,刘雪华. 基于最小费用距离模型的自然保护区功能分区[J]. 自然资源学报,2006,21(2):217-224.
- [17] 欧维新,袁薇锦. 基于景观连接度的盐城滨海湿地丹顶鹤生境斑块重要性评价[J]. 资源科学,2015,37(4):823-831.
- [18] 刘世梁,杨珏婕,安晨,等. 基于景观连接度的土地整理生态效应评价[J]. 生态学杂志,2012,31(3):689-695.
- [19] 张利,陈亚恒,门明新,等. 基于 GIS 的区域生态连接度评价方法及应用[J]. 农业工程学报,2014,30(8):218-226.
- [20] 齐珂,樊正球. 基于图论的景观连接度量化方法应用研究:以福建省闽清县自然森林为例[J]. 生态学报,2016,36(23):7580-7593.
- [21] 吴晶晶,栗云召,于良巨,等. 黄河三角洲自然湿地景观连接度动态变化及其驱动因素分析[J]. 生态环境学报,2018,27(1):71-78.
- [22] 吴昌广,周志翔,王鹏程,等. 基于最小费用模型的景观连接度评价[J]. 应用生态学报,2009,20(8):2042-2048.
- [23] 李平星,陈东,樊杰. 基于最小费用距离模型的生态可占用性分析:以广西西江经济带为例[J]. 自然资源学报,2011,26(2):227-236.
- [24] 杜志博,李洪远,孟伟庆. 天津滨海新区湿地景观连接度距离阈值研究[J]. 生态学报,2019,39(17):1-11.
- [25] 蒙吉军,王晓东,尤南山,等. 黑河中游生态用地景观连接性动态变化及距离阈值[J]. 应用生态学报,2016,27(6):1715-1726.
- [26] 李菲菲,马社刚,李浩,等. 扎龙自然保护区丹顶鹤巢址景观连接度评价[J]. 野生动物学报,2018,39(2):323-328.
- [27] 王森. 基于最小耗费距离模型的生态连接度评价:以西山区为例[D]. 云南 昆明:昆明理工大学,2017.
- [28] Solomon K R, Giesy J P, La point T W, et al. Ecological risk assessment of Atrazine in North American surface waters[J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 1996,15(1):31-76.
- [29] 武剑锋,曾辉,刘雅琴. 深圳地区景观生态连接度评估[J]. 生态学报,2008,28(4):1691-1701.
- [30] 张利,陈亚恒,门明新,等. 基于 GIS 的区域生态连接度评价方法与应用[J]. 农业工程学报,2014,30(8):218-226.
- [31] 王亚娟,王鹏,韩文文,等. 宁夏中部干旱带生态移民过程生态风险时空分异:以红寺堡区为例[J]. 干旱区地理,2018,41(4):817-825.
- [32] 温胜强,刘小鹏,王亚娟. 生态移民安置区土地利用景观格局的稳定性研究:以宁夏回族自治区红寺堡区为例[J]. 水土保持通报,2018,38(1):319-327.