

引用格式:李聪慧,马彩虹,滑雨琪,等.黄河上游荒漠绿洲生态系统服务对三生用地变化的响应:以银川市为例[J].资源科学,2023,45(1):190–203. [Li C H, Ma C H, Hua Y Q, et al. Response of desert oasis ecosystem services to the production-living-ecological land change in the upper reaches of the Yellow River: A case study in Yinchuan City[J]. 2023, 45(1): 190–203.] DOI: 10.18402/resci.2023.01.14

# 黄河上游荒漠绿洲生态系统服务对三生用地变化的响应 ——以银川市为例

李聪慧,马彩虹,滑雨琪,杨航,刘园园

(宁夏大学地理科学与规划学院,银川 750021)

**摘要:**【目的】探究荒漠绿洲三生用地变化及其生态效应,可为黄河流域生态保护和高质量发展提供决策参考。【方法】本文以1990—2020年黄河上游荒漠绿洲区——银川市为例,提出了生态系统服务价值(ESV)当量因子的系数修订方法,建立了银川市与全国ESV当量因子的系数关系,分析了ESV对三生用地时空变化的响应特征。【结果】结果表明:①生态用地在银川市三生用地中比例最高,但研究时段内有所降低,由1990年的69.49%下降为2020年的57.68%,同期,生产用地稳中有增,由28.54%提升为32.52%,生活用地扩张迅速,由2.37%提升为9.81%;生活用地动态变化剧烈,生产用地与生态用地动态渐趋平缓。②1990—2020年ESV总量增加了38423.65万元,生态用地质量提升对ESV的增加效应大于生产用地和生活用地扩张导致的ESV降低效应;结构上,调节服务对ESV的贡献最大且持续提升,比例从1990年的82.29%增为2020年的83.76%,其他服务比例均有所降低。③城市扩张、能源基地建设、移民迁入等因素是导致ESV下降的重要原因,导致城区、宁东能源基地和重点移民迁入区ESV降低;生态建设是ESV的提升主因,白芨滩自然保护区、黄河生态带核心区以及贺兰山东麓葡萄长廊等区域的ESV增加明显。【结论】今后发展中,需要提升生活用地和生产用地的效率以降低其扩张速率,以降低挤占生态用地的压力,同时,需要持续改善生态用地质量,以促进荒漠绿洲生态系统健康可持续发展。

**关键词:**三生用地;空间格局;生态系统服务;荒漠绿洲;黄河上游;银川市

DOI: 10.18402/resci.2023.01.14

## 1 引言

土地是人类赖以生存和发展的物质基础,具有生产、生活和生态“三生”功能<sup>[1]</sup>。改革开放以来,中国城市化和工业化的快速推进使得建设用地和工矿交用地挤占耕地和生态用地,三生用地冲突日益严峻<sup>[2]</sup>,同时,对生态系统服务也产生显著影响。由于生态系统服务是人类生存发展进程中无可替代的自然资产<sup>[3]</sup>,定量评估这种影响的程度和规模,是关乎区域生态保护和高质量发展的重要研究内容。党的十八大报告提出“促进生产空间集约高

效、生活空间宜居适度、生态空间山清水秀”的目标<sup>[4]</sup>,催生了基于三生用地视角的生态系统服务响应研究热潮。国内外学者以核密度估计法<sup>[5]</sup>、空间自相关<sup>[6]</sup>、冷热点分析<sup>[7]</sup>、重心转移<sup>[8]</sup>等GIS空间分析方法,借助动态度模型<sup>[9]</sup>、转移矩阵模型<sup>[10]</sup>、FLUS与Markov-CA模型<sup>[11]</sup>等模型,从流域<sup>[12]</sup>、高原<sup>[13]</sup>、县区<sup>[14]</sup>、农牧交错带<sup>[15]</sup>、绿洲<sup>[16]</sup>、生态移民区<sup>[17]</sup>等方面开展了广泛研究,为认知生态系统服务对土地利用变化的响应研究奠定了良好基础,但仍存在需要探索的方面:一方面,当量因子法因与生态系统的对应关系

收稿日期:2022-08-17;修订日期:2023-01-06

基金项目:宁夏重点研发基金项目(2021BEG03019);国家自然科学基金项目(41961034;42061037)。

作者简介:李聪慧,女,宁夏隆德人,硕士生,主要从事国土空间分析与生态系统服务价值分析。E-mail: 2269559196@qq.com

通讯作者:马彩虹,女,宁夏西吉人,博士,教授,硕士生导师,主要从事资源环境评价与GIS/RS应用研究。E-mail: mchyanni@163.com

2023年1月

明晰而应用广泛<sup>[18,19]</sup>,但受空间异质性影响,不同区域的生态系统服务当量因子差别较大,给生态系统服务价值量计算带来一定的不确定性<sup>[20]</sup>。学界提出了基于植被指数<sup>[21]</sup>、降水量<sup>[22]</sup>、社会经济因子与沉陷因子<sup>[23]</sup>、生物量等<sup>[24]</sup>、栖息地质量调节因子和可达性调节因子法<sup>[25]</sup>等因子修订方法,但尚未形成共识。另一方面,生态系统服务可分为供给服务、调节服务、支持服务与文化服务等不同类型<sup>[26]</sup>,当前的研究以生态系统服务价值总量响应和单一生态系统的响应研究偏多<sup>[27,28]</sup>,从总量、结构、空间响应等多维视角开展的研究仍然不足。

绿洲是干旱区人类活动较为集中的生态敏感区域<sup>[29]</sup>,中国西部绿洲城市普遍存在生活空间和生产空间扩张、生态空间萎缩的特征<sup>[16]</sup>。宁夏沿黄城市群是黄河上游重要的城市群,是生态保护和高质量发展先行区建设的重要区域<sup>[30,31]</sup>。银川市作为宁夏首府,自1990至2020年,土地利用变化剧烈,对荒漠绿洲生态系统产生了明显扰动,定量评估和深刻剖析生态系统服务价值对三生用地变化的响应程度和机理,关乎黄河上游荒漠绿洲生态系统健康可持续发展<sup>[32]</sup>。本文以银川市为例,尝试通过建立荒漠绿洲区的生态系统服务当量因子与全国尺度当量因子之间的系数关系进行生态系统服务当量修订,并基于多种视角系统分析生态系统服务对三生用地变化的响应机理及时空分异特征,以期为黄

河流域生态保护和高质量发展先行区建设提供一定决策参考。

## 2 研究区概况、数据来源与研究方法

### 2.1 研究区概况

银川市地处中国西部,位于黄河上游地区,西依贺兰山与腾格里沙漠,东与毛乌素沙地毗邻(图1)。黄河穿城而过,河道总长83.8 km;湖泊湿地众多,享有“塞上湖城”之誉,是“一带一路”的重要节点和国家向西开放的重要窗口。属于温带大陆性气候,年均降水量约200 mm,多年平均气温8.5℃。下辖三区(兴庆区、金凤区、西夏区)、两县(永宁县、贺兰县)、一市(灵武市)。2020年末常住人口285.91万人,GDP为1964.37亿元,占宁夏GDP的50.10%。城市化进程迅速,城镇化率由1990年的26.41%增加到2020年的80.22%。水资源匮乏,同时又三面环沙,因此自然环境恶劣,生态环境脆弱,时有自然灾害发生,造成经济损失,加剧生态环境损耗。1980年代,宁夏开启了生态移民工程,南部山区近百万移民的迁入,引起了灌区范围的扩张,形成了月牙湖乡、兴泾镇、镇北堡镇、闽宁镇等一批生态移民新村。国家重要的煤化工产业基地——宁东能源化工基地于2003年落地灵武市,工矿用地的开发建设进一步加剧了三生用地冲突。

### 2.2 数据来源与处理

采用的数据有遥感影像数据、行政区划数据、

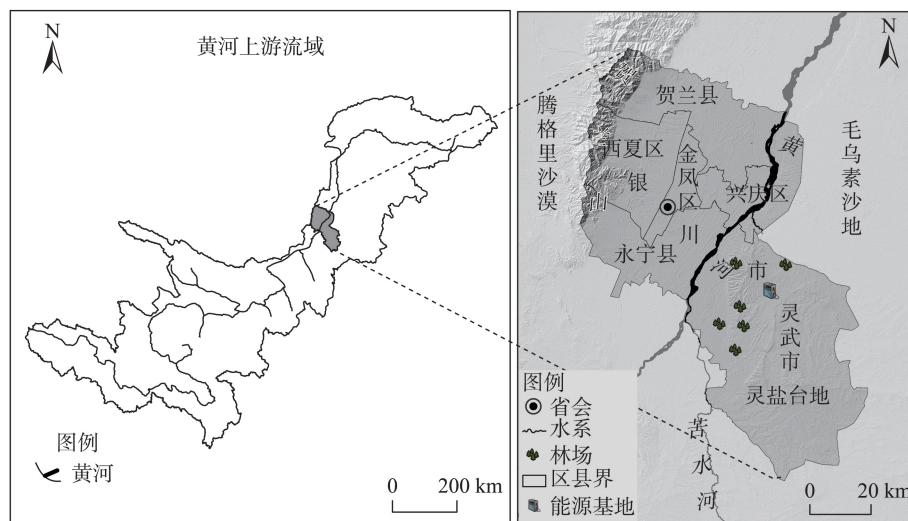


图1 银川市区位图

Figure 1 Location of Yinchuan City

DEM数据、NDVI数据以及社会经济数据。其中,遥感影像数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>),数据以Landsat TM/ETM遥感影像为主要数据源,通过ENVI5.5软件对影像数据进行几何校正、图像增强与拼接等预处理,通过人机交互目视解译的方法,数据综合精度均高于85%。其中2020年的土地利用数据在2018年国土二调的成果基础上进行校验,Kappa系数为0.88,精度满足研究需求。行政区划数据来源于国家基础地理信息中心([www.ngcc.cn/ngcc](http://www.ngcc.cn/ngcc)),DEM数据来源于地理空间数据云([www.gscloud.cn/search](http://www.gscloud.cn/search))。NDVI数据与年降雨量数据均来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)。社会经济数据来源于《宁夏统计年鉴》和《全国农产品成本收益资料汇编》。上述数据统一投影为空间参考CGCS 2000,分辨率统一重采样为30 m×30 m。

根据《土地利用现状分类》(GB/T21010-2017),参照张红旗等<sup>[33]</sup>、邹利林等<sup>[34]</sup>对三生用地的分类评价体系,结合银川市土地利用实际情况,采用主导功能原则,建立银川市三生用地与土地利用对应关系表(表1)。其中,生产用地主要指农业生产用地,种植农作物,有经济产出功能;生活用地为人们提供重要的居住和休憩场所;生态用地提供调节气候、美化环境、水源涵养等功能,对生物的多样性、调节区域气温,稳定局部气候有重要作用,具有一定的生态容纳功能。

## 2.3 研究方法

### 2.3.1 三生用地变化动态分析方法

主要采用三生用地动态度<sup>[11]</sup>和土地利用转移流分析法<sup>[35]</sup>。三生用地动态度源于土地利用动态度,通过将土地利用动态度中的地类替换为三生用地

类型得来,用来反映三生用地变化的活跃程度。土地利用转移流通过统计特定时段中某地类转为其他地类的数量,采用代码记录转移初期和末期的土地利用类型,以同时记录土地利用变化的方向与数量属性的方法。其中,由某地类转为其他地类的转移流称为转出流,由其他地类转为该地类的转移流称为转入流。公式如下:

$$L = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta LU_{i-j}|}{2 \sum_{i=1}^n LU_i} \right] \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

$$M_t = M_{out} + M_{in} \quad (2)$$

式中: $L$ 为三生用地动态度; $LU_i$ 为研究初期*i*类三生用地类型面积; $\Delta LU_{i-j}$ 为研究时段内从*i*类转移为*j*类的面积; $T$ 是以年为单位的时段; $M_t$ 为三生用地转移流; $M_{out}$ 为转出流; $M_{in}$ 为转入流。

### 2.3.2 基于系数调整法的生态系统服务价值当量因子修订

谢高地等以Costanza<sup>[36]</sup>提出的对全球生态系统服务价值评估模型为基础,提出基于全国尺度的生态系统服务价值当量因子。受植被生物量密度和降水的时空异质性影响,生态系统服务价值当量同样具有异质性。本文采用1990年、2000年、2010年与2020年的NDVI<sup>[21]</sup>数值对林地与草地的当量因子进行修正;采用主要粮食单位面积产值<sup>[37]</sup>对耕地的当量因子进行修正;采用年降雨量<sup>[38]</sup>对水域与湿地的当量因子进行修正;未利用地与建设用地的当量因子不做调整。其中耕地根据种植粮食类型不同,旱地和水田的当量因子系数分别以小麦、水稻和玉米的单位面积的产值为基准进行比值计算,得出银川市生态系统服务价值当量因子修正系数。修正

表1 银川市三生用地与土地利用类型的对应关系

Table 1 Correspondence between the production-living-ecological land and land use types in Yinchuan City

三生用地及编码	一级地类(代码)	二级地类(代码)
生产用地(I)	耕地(1)	水田(11)、旱地(12)
生活用地(II)	建设用地(5)	城镇用地(51)、农村居民点(52)、其他建设用地(53)
生态用地(III)	林地(2)	有林地(21)、灌木林地(22)、其他林地(23)
	草地(3)	高覆盖度草地(31)、中覆盖度草地(32)、低覆盖度草地(33)
	水域(4)	河渠(41)、湖泊(42)、水库坑塘(43)
	湿地(6)	滩地(61)、沼泽地(62)
	未利用地(7)	沙地(71)、戈壁(72)、盐碱地(73)、裸土地(74)、裸岩石质地(75)

2023年1月

公式如下:

$$Y_z = \frac{G}{G_k} \times Q_z \tag{3}$$

式中:  $Y_z$  为研究区第  $z$  类所需修正的地类经修正后的生态系统服务价值当量因子;  $G$  和  $G_k$  分别为研究区和全国的 NDVI 均值、年降水量均值及主要种植粮的单产值;  $Q_z$  为第  $z$  类所需修正的地类其全国生态系统服务价值当量因子。银川市当量因子修正系数结果如表 2。

2.3.3 单位面积生态系统服务价值计量

依据修正后的当量因子,生态系统服务价值计量公式如下:

$$ESV = \sum_{s=1}^n VC_s \times A_s \tag{4}$$

式中:  $ESV$  为研究区生态系统服务价值量;  $VC_s$  为地类  $s$  的单位面积生态系统服务价值;  $A_s$  为地类  $s$  的

面积。为消除长时段粮食价格变化导致的价值量的不可比性,分别计算 1990 年、2000 年、2010 年及 2020 年银川市种植规模最大的 3 种作物(小麦、水稻、玉米)的平均粮食单产市场价值<sup>[15]</sup>,最终取 4 期均值的 1/7 作为 1 个生态服务价值当量因子价格,为 1606.99 元/hm<sup>2</sup>。

3 结果与分析

3.1 三生用地时空动态变化特征

3.1.1 三生用地时间序列变化特征

1990—2020 年,由于城市化和工业化,以及宁夏南部生态移民向北部灌区的迁移,使得生活用地和生产用地以较快速度扩张,存在明显的挤占生态用地现象(图 2)。研究时段内,生产用地由 19.54 万 hm<sup>2</sup> 增长为 22.57 万 hm<sup>2</sup>,所占比例由 27.90% 增为 32.60%;生活用地由 1.65 万 hm<sup>2</sup> 增长为 6.81 万 hm<sup>2</sup>,所占比例由 2.75% 增至 9.73%;生态用地由 48.24 万

表 2 银川市生态系统服务当量因子修正系数

Table 2 Correction coefficients of ecological service value (ESV) equivalent factors in Yinchuan City

地类(代码)	1990 年	2000 年	2010 年	2020 年	均值	修订依据
水田(11)	1.01	1.33	1.32	1.19	1.29	水田主要作物水稻和玉米的单产值
旱地(12)	0.77	0.68	0.70	0.52	0.67	旱地主要作物小麦的单产值
林地(2)	0.50	0.46	0.49	0.56	0.50	研究区林地 NDVI 值
草地(3)	0.66	0.71	0.56	0.66	0.65	研究区草地 NDVI 值
水域(4)	0.33	0.32	0.35	0.27	0.32	研究区年降雨量
湿地(6)	0.33	0.32	0.35	0.27	0.32	研究区年降雨量
建设用地(5)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	不做调整
未利用地(6)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	不做调整

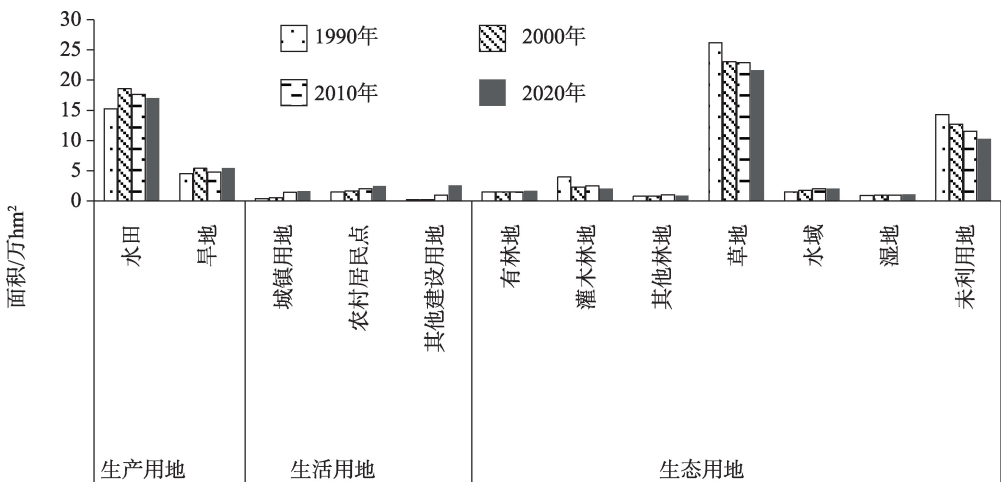


图 2 1990—2020 年银川市三生用地数量动态变化

Figure 2 Quantity of the production-living-ecological land in Yinchuan City, 1990-2020

hm<sup>2</sup>降低为40.04万hm<sup>2</sup>,所占比例由69.36%降为57.67%。各类用地呈现不同的动态特征:生产用地以2000年、2010年为节点的3个阶段表现为“增-减-增”的“N”形特征,且以水田变化为主;生活用地持续扩张但表现出一定的城乡差异,城镇用地在2000—2010年扩张较快,农村居民点用地在各个时段平稳增长,其他建设用地主要在2010—2020年快速增长;生态用地以草地和未利用地比例最高且持续减少,水域、有林地、其他林地以及湿地略增,灌木林地略减。草地和未利用地分别减少4.53万hm<sup>2</sup>和4.01万hm<sup>2</sup>,占比分别下降5.56%和5.26%,水域增加0.55万hm<sup>2</sup>。

研究时段内,银川市三生用地中,除了生活用地动态度有明显的上升趋势外,生产用地和生态用地的动态度均表现为降低态势。按照10年时段进行计算,1990—2000年、2000—2010年和2010—2020年3个时段中,生活用地的动态度依次为0.92%、2.73%和4.41%,表明受城市化和工业化的快速推进,生活用地的扩张速度渐次加快;生产用地的动态度依次为1.06%、0.32%和0.11%,且以2000—2010年下降速度最快,比上一时段下降0.74个百分点;生态用地的动态度依次为0.79%、0.70%和0.70%,表明生态用地动态度有所降低但趋势平缓(图3)。总体来看,1990—2000年,银川市三生用地的动态度相差程度较小,该时段中生产用地的动态度最高,生态用地的动态度最低;到了2010—2020年,三生用地的动态度相差程度较大,该时段中生活用地动态度最大,生产用地动态度最低。

转移流方面,银川市三生用地变化特征表现为生活用地扩张、生产用地缩减、生态用地内部转换频繁的特征,但存在阶段性差异(图4)。1990—2020

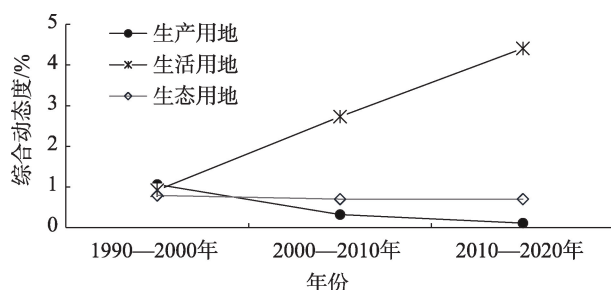


图3 不同时段银川市三生用地动态度变化趋势

Figure 3 Dynamic degree trends of the production-living-ecological land in Yinchuan City in different periods

年,生态用地转为生产用地6.12万hm<sup>2</sup>(图4a),占总面积的8.82%,以草地和未利用地的转出为主;生态用地内部互转较为频繁,占比达7.26%;生活用地扩张明显,为4.93万hm<sup>2</sup>,主要表现为其他建设用地占用草地和未利用地。各阶段的三生用地的转移流呈现明显差异:1990—2000年,以生态用地转生产用地和生态用地内部互转为主(图4b)。生态用地转为生产用地为4.56万hm<sup>2</sup>,占总面积的6.57%,主要是草地和未利用地被开垦为水田;生态用地内部互转为4.41万hm<sup>2</sup>,占总面积的6.35%,主要表现为未利用地转为草地和草地转为水域。2000—2010年,以生产用地转为生态用地和生态用地内部互转为主要特征(图4c):生产用地转为生态用地1.91万hm<sup>2</sup>,占总面积的2.75%,主要是旱地转向草地;生态用地内部互转2.53万hm<sup>2</sup>,占总面积的3.65%。2010—2020年,以生态用地转为生活用地和生产用地为主要特征,分别转移1.83万hm<sup>2</sup>和1.44万hm<sup>2</sup>,占总面积的2.63%和2.07%(图4d)。

### 3.1.2 三生用地空间格局变化

银川市生态用地主要分布在贺兰山地和灵盐台地上,生产用地主要分布于银川平原绿洲灌

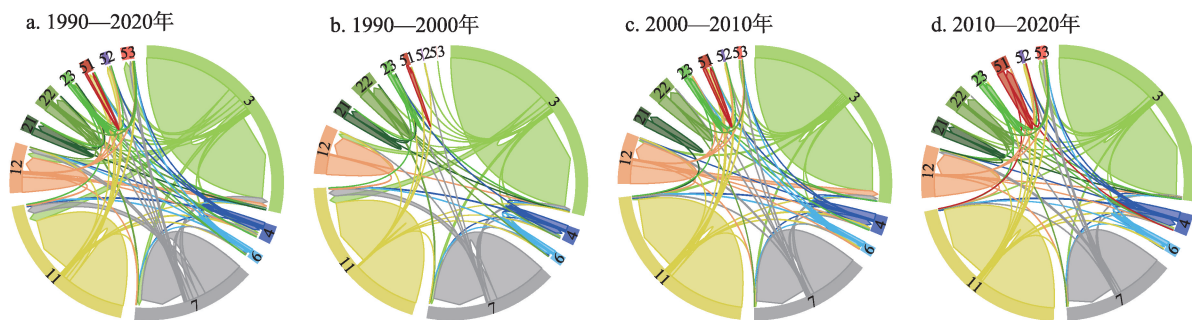


图4 1990—2020年银川市三生用地转移变化弦图

Figure 4 Land transfer change of the production-living-ecological land in Yinchuan City, 1990-2020

2023年1月

区,生活用地以银川市城区为核心,乡村居民点以散点形态主要分布于绿洲灌区(图5)。研究时段内生产用地扩张,主要在绿洲灌区、贺兰山东麓、黄河右岸的灵盐台地,以及西夏区兴泾镇和良田镇区域。随着城乡结合发展与乡村振兴等政策大力实施,工业化、城镇化加快推进,农村作为首府城市功能拓展区、城镇发展新区和生态涵养发展区的主要空间,全面进入新的发展阶段,生活用地扩张迅速且主要表现为城镇用地的扩张,主要扩张区域为银川市城区和宁东能源基地。银川市城区主要表现为南北扩张,尤其在2000—2020年,这种扩张特征在贺兰县和永宁县境内表现更为显著;宁东能源基地主要表现为其他建设用地的扩张。生态用地主要沿贺兰山东侧与银川平原分布,其中,有林地与灌木林地主要分布在贺兰山浅山区生态建设带与灵武市林场附近,形成了防风固沙的天然屏障;2010—2020年,草地在西夏区与永宁县交界处和宁

东能源基地缩减明显,但在灵武市西南侧小幅度扩张,这得益于对未利用地的合理开发。

3.2 生态系统服务对三生用地变化的响应

3.2.1 生态系统服务价值总量响应特征

银川市的生态系统服务价值总体呈增长状态,由1990年的467808.25万元增长为2020年的506231.90万元,增长了38423.65万元,增长率为8.21%(表3)。1990—2020年,生态用地ESV总值增长12623.22万元,增长率为3.83%,对ESV的贡献比例最大,均在65%以上。生产用地的ESV比例均在30%左右,呈现出先增后减态势,但ESV总体增长,增长量17532.41万元,增长率为12.99%。生活用地的ESV总体增长了8268.03万元,2010年之前生活用地的ESV比例小幅增长,2010年及之后ESV比例逐渐提升,到2020年增至2.31%。

3.2.2 生态系统服务价值流响应特征

1990—2020年三生用地转移流135种,贡献率

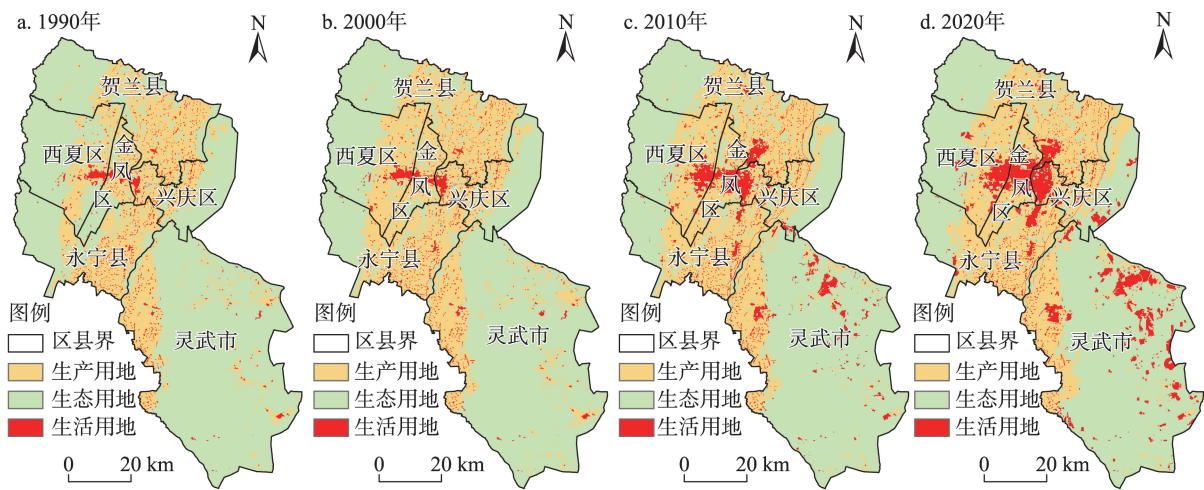


图5 1990—2020年银川市三生用地格局演变

Figure 5 Change of the spatial pattern of the production-living-ecological land in Yinchuan City, 1990-2020

表3 1990—2020年银川市三生用地的ESV变化

Table 3 Ecological service value (ESV) change of the production-living-ecological land in Yinchuan City, 1990-2020

三生用地	1990年		2000年		2010年		2020年	
	ESV/万元	比例/%	ESV/万元	比例/%	ESV/万元	比例/%	ESV/万元	比例/%
生产用地	135002.98	28.86	163893.13	33.12	154214.43	30.11	152535.39	30.13
生态用地	329364.38	70.41	326909.03	66.06	350098.84	68.36	341987.60	67.56
生活用地	3440.88	0.73	4068.13	0.82	7857.65	1.53	11708.91	2.31
总计	467808.25	100.00	494870.29	100.00	512170.92	100.00	506231.90	100.00

≥0.01%的转移流共计66种,称为重要转移流,合计17.78万hm<sup>2</sup>(表4),占总转移流的99.33%。其中,转移流数量最多的是生态用地内部互转流(24条),占重要转移流总数的36.36%;其次为生态用地转生活用地流(14条),占21.21%;转移流面积最高的是生态用地转生产用地,占重要转移流面积的34.36%,其次为生态用地内部互转流,占28.07%;重要转移流中,使得ESV净增的转移流有4类,其中,ESV净

增最大的是生态用地内部互转流,其次为生产用地转生态用地流,分别占净增总量的73.59%和24.92%,合计达98.51%;使得ESV净损的转移流有3类,其中,ESV净损最严重的为生态用地转生活用地流,其次为生产用地转生活用地流,分别占净损总量的51.27%和36.74%,合计达87.99%。

进一步统计分析三生用地关键转移流的土地转移流与ESV响应关系(图6),发现生活用地的扩

表4 1990—2020年银川市主要三生用地转移流与ESV响应

Table 4 Transfer flow and ecological service value (ESV) response of the production-living-ecological land in Yinchuan City, 1990-2020

转移方向	转移流数量/条	转移面积/万hm <sup>2</sup>	ESV增加值/万元	ESV减少值/万元	ESV合计
生态用地转生产用地	9	6.11	19507.07	-23309.27	-3802.20
生产用地转生态用地	7	1.34	18229.16	-667.34	17561.82
生产用地转生活用地	6	2.17	—	-11640.13	-11640.13
生态用地转生活用地	14	2.75	1053.50	-17297.63	-16244.14
生活用地转生产用地	2	0.13	668.59	—	668.59
生产用地内部互转	2	0.25	598.68	-222.85	375.83
生态用地内部互转	24	4.99	75183.86	-23329.33	51854.53
生活用地内部互转	2	0.05	—	—	—
合计	66	17.78	115240.86	-76466.55	38774.31

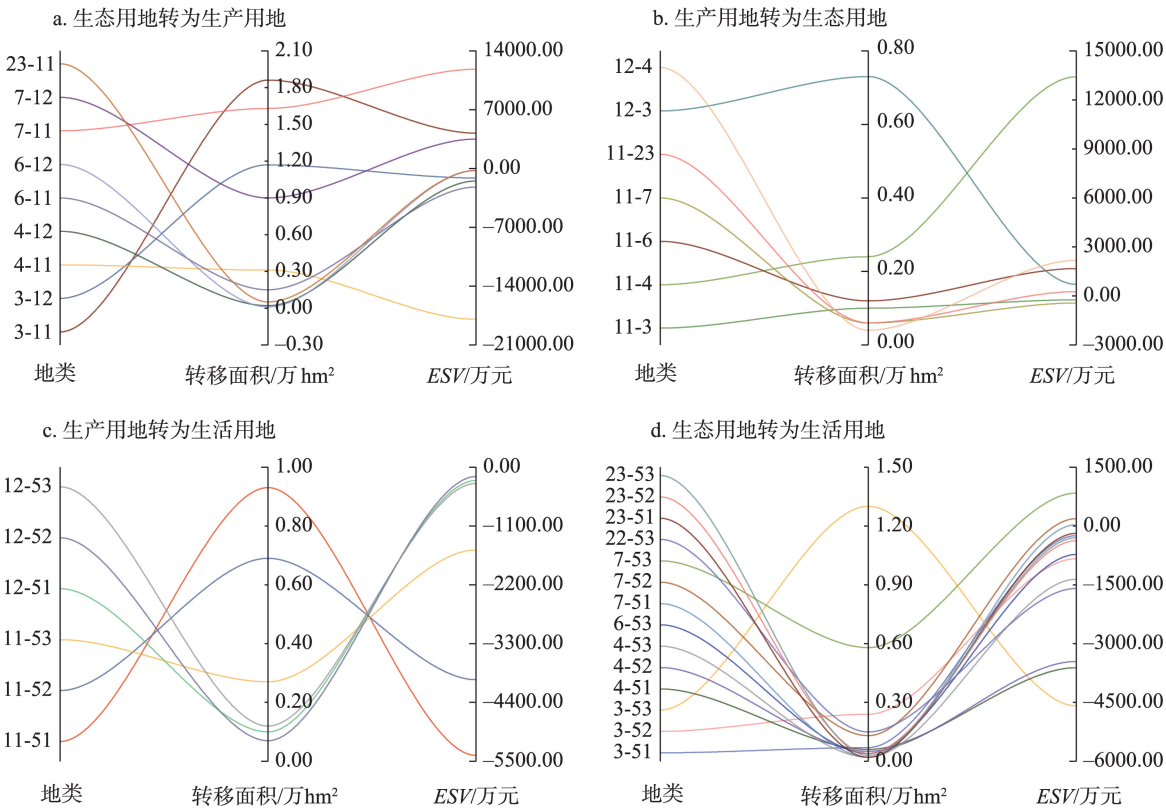


图6 1990—2020年银川市三生用地转移流与ESV对应关系

Figure 6 Relationship between the production-living-ecological land flows and ecological service value (ESV) in Yinchuan City, 1990-2020

2023年1月

张是导致银川市 *ESV* 下降的主因,其中生态用地转为生产用地的转移流中未利用地的转入和草地转为水田对 *ESV* 值的提升有益,提高约 20545.83 万元,表明合理规划使用未利用地,保护耕地有益于生态系统服务价值的提升(图 6a)。生产用地转为生态用地的转移流中(图 6b),水田转为未利用地与草地使 *ESV* 下降之外,其余都对 *ESV* 值有益,*ESV* 累计提高 17561.82 万元,尤其转为水域和湿地的 *ESV* 值提升明显。生产用地转为生活用地的转移流中(图 6c),*ESV* 整体下降,下降 11640.13 万元,其中水田面积缩减是导致生产用地 *ESV* 下降的主因。生

态用地转为生活用地的转移流使得 *ESV* 值降低 16244.14 万元(图 6d),其中其他建设用地面积扩张是生态用地减少的主因。

### 3.2.3 生态系统服务结构响应特征

银川市四大生态系统服务对三生用地变化的响应程度和趋势差异明显(图 7):1990—2020 年,调节服务中,气体调节、水文调节与净化环境调节分别增加 3268.87 万元、35604.31 万元和 2190.42 万元,气候调节价值下降 1974.10 万元。支持服务中,维持养分循环与生物多样性分别增加 626.83 万元和 45.47 万元,土壤保持降低 395.57 万元。文化服务的

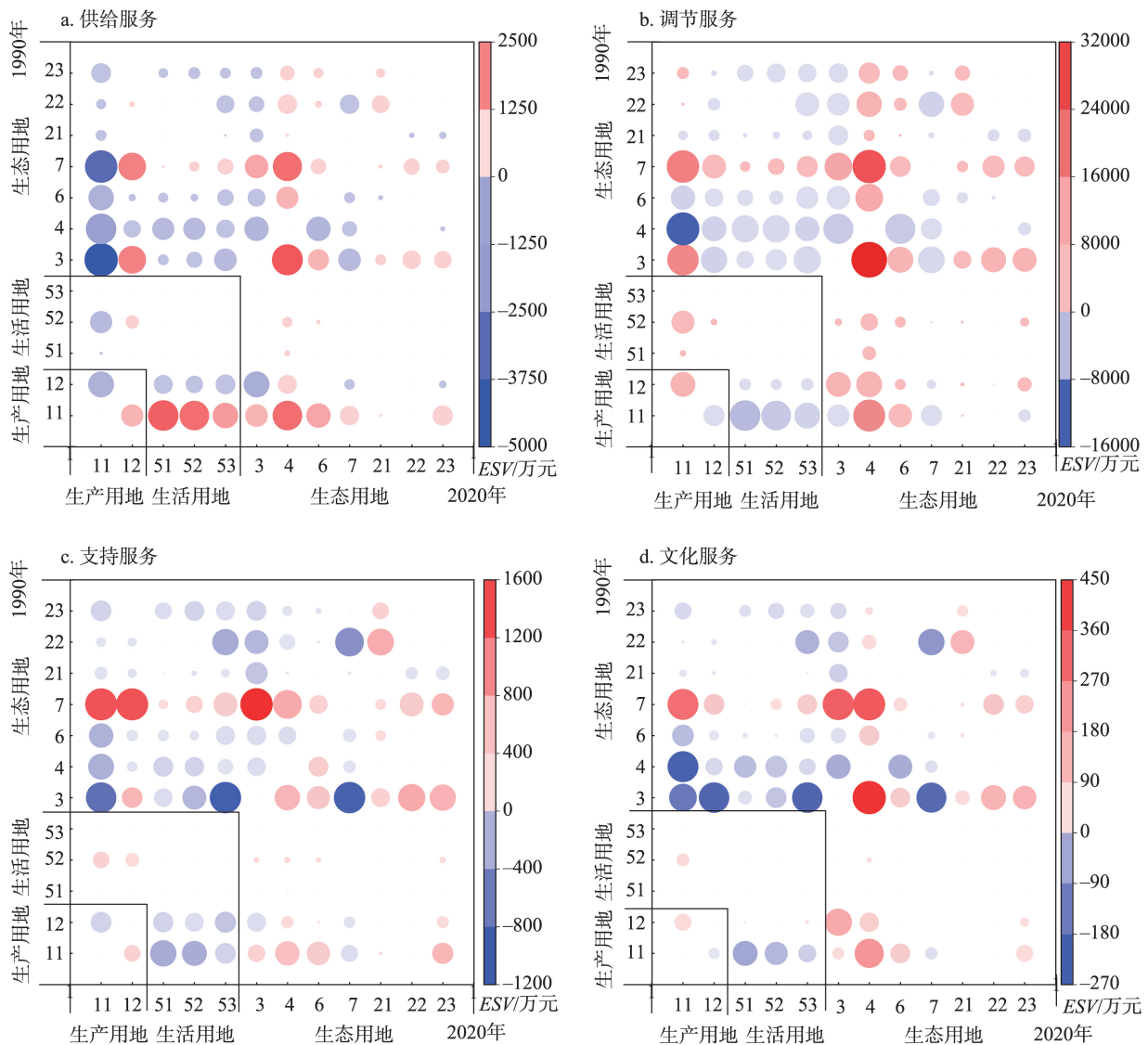


图7 1990—2020年银川市四大类生态系统服务对三生用地变化的响应关系

Figure 7 Response of ecological service value (*ESV*) types to production-living-ecological land change in Yinchuan City, 1990-2020

二级分类只有美学美观类别的价值增加。水田在供给服务中的价值明显降低,损失约5094.47万元;水域在调节服务与文化服务中的价值均增加,增加值分别为31655.90万元、448.18万元;有林地 in 支持服务与文化服务中的价值均增加,分别增加119.63万元、61.45万元。城镇用地、其他建设用地及农村居民点的 $ESV$ 呈下降趋势。比例上,调节服务占 $ESV$ 总量的比例由82.29%增为83.76%,支持服务由15.92%降为14.77%,文化服务由3.27%降为3.05%,供给服务比例由-1.48%降为-1.58%。供给服务的降低主要与绿洲区水稻面积增加有关,因此,银川市十四五规划中提出实施节水型现代生态农业示范区建设的明确任务。

### 3.2.4 生态系统服务价值空间响应特征

生态系统服务价值损益程度受三生用地结构变化与人类活动影响显著,1990—2020年银川市生态系统服务价值空间分布区域差异性明显(图8),呈现出从城区到周边地区递增的趋势。其中,银川市中心城区城市化扩张快速,人口密集且活动频繁,生活用地侵占生态用地发展,生态系统服务价值下降显著;兴泾镇与良田镇移民区在西夏区、金凤区与永宁县的交界处,生态移民的迁入使得荒漠化土地得到开发性保护和治理,生产用地得到大力发展,移民更是将半荒漠生态系统逐步建设成为新的人工生态绿洲, $ESV$ 增量明显。生态移民迁入使三生用地的结构和功能发生变化,部分区域经济发展与生态价值互相影响,其中 $ESV$ 减量较为明显的区域有两处,其一位于西夏区镇北堡移民区和闽宁镇移民区,生态移民的迁入一方面对未利用地进行保护性开发,促进当地旅游业与葡萄酒特色农产业等多元化产业发展,同时提高居民社会经济收入与生态系统服务的价值,但居民点有所增加,居民聚集性与流通性强烈,生产用地与生活用地对草地与未利用地的侵占降低生态系统服务价值;其二是灵武市能源基地的开发使得建设用地扩张占用草地,引起 $ESV$ 下降,但灵武市东缘区域通过修复保护白芨滩保护区,减缓了 $ESV$ 的下降趋势。此外,贺兰山东麓葡萄酒文化长廊既是生态修复区,又是特色农业发展区,实现了经济与生态的价值并举;黄河

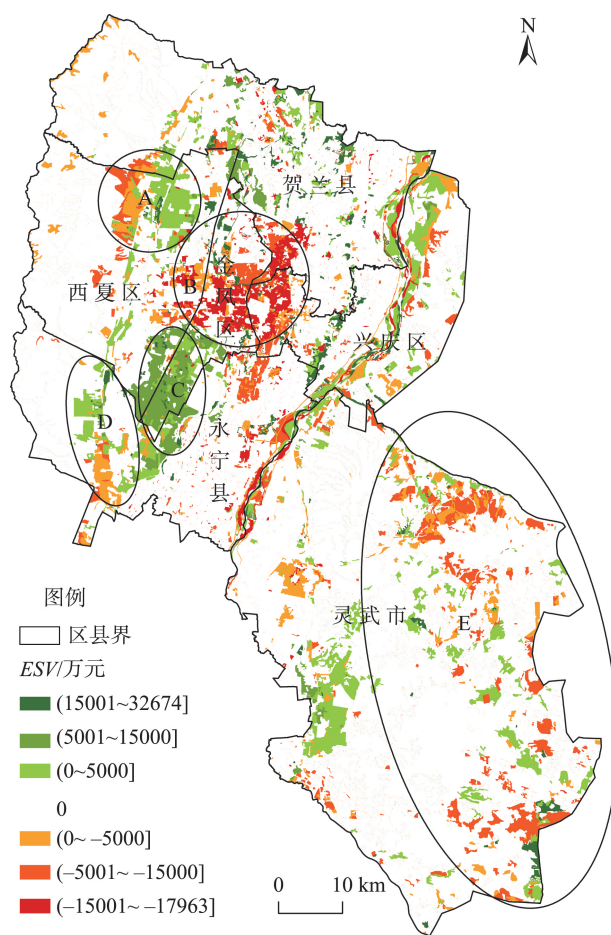


图8 1990—2020年银川市 $ESV$ 对三生用地转移的响应空间格局

Figure 8 Ecological service value ( $ESV$ ) response of the production-living-ecological land in Yinchuan City, 1990-2020

注:A:镇北堡移民区,B:城市扩张区,C:良田镇与兴泾镇移民区,D:闽宁镇移民区,E:宁东能源基地。

生态带核心区随着部分移民的迁入将部分生态用地转为生产用地,沙地被垦殖为耕地或者林地, $ESV$ 有所提升。

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

(1)基于系数调整法的荒漠绿洲生态系统服务当量因子修正

当量因子法在生态系统服务价值核算中因可操作性强被广泛使用。谢高地等<sup>[10]</sup>确定的当量因子主要针对全国尺度,考虑到时空异质性,在区域生态系统服务价值评估中需要对其进行修正以提高核算精度。已有研究表明,NDVI是植被覆盖度与植被生长状况的最佳反映,而植被的生长状况是影

2023年1月

响生态系统服务价值的重要因素<sup>[21]</sup>,单位面积的农作物产值可以直接体现出农田经济价值量的大小<sup>[37]</sup>;降水量是影响水域和湿地生态价值量的重要因素<sup>[38,39]</sup>。本文提出了当量因子系数调整法,基于植被指数、主要农作物单产值与年降雨量提出系数修正和改进,建立了荒漠绿洲区的生态系统服务当量因子与全国尺度当量因子之间的系数关系;未对未利用地与建设用地的当量因子作修正处理,尽管这在一定程度上对生态系统服务价值的核算产生不确定性,但因旱区未利用地与建设用地上植被稀少<sup>[40]</sup>,不影响核算结果的整体趋势。目前普遍采用农作物经济价值对生态系统服务价值当量因子的经济价值进行计算,但受社会经济、自然灾害与政策的影响较大,采用研究时期内单位面积农作物价格的平均值进行计算,以尽可能消除误差影响。

#### (2) 生态系统服务对三生用地变化的响应综合研究视角问题

银川市地处黄河流域生态脆弱区,集聚山水林田湖草沙多种要素,生态功能各异。本文从三生用地变化分析入手,从生态系统服务价值的数量变化、结构变化、价值流、空间格局等复合视角开展研究,为系统认知生态系统对土地利用的变化响应提供综合性、系统性的研究视角,从而为揭示生态系统服务对三生用地变化的响应机理机制提供重要依据。后续研究中将根据相关统计数据使用相关预测模型模拟三生用地在未来的变化,探索生态系统服务之间的权衡与协同关系,助力区域国土资源得到最优利用和生态系统服务价值提升。

#### (3) 荒漠绿洲区三生用地动态变化及ESV提升的重点

1990—2020年银川市城乡过渡带的三生用地转换最为频繁。城市化的快速推进和大量生态移民迁入,使得生活用地的急速扩张是导致ESV下降的主要原因。今后发展中,对于生产用地,需要坚守耕地红线,保护永久基本农田,提升已有的土地质量与功能,优化农业产业结构,促进土地集约利用。银川市的耕地以黄河灌溉区水田为主,需要严防水资源在农业方面的过度消耗,应加快对高耗水作物水稻的压减,并加快推进现代化灌区的建设。

对于生活用地,应该科学规划城镇、村庄的扩张范围,合理分配其他建设用地的用地资源,提升生活用地的容纳量与宜居性,尤其是城区范围与移民区域,应该严格控制生活用地挤占生产和生态用地。对于生态用地,虽生态系统治理良好,但依然需要在发展生产用地的前提下,继续恢复生态植被,坚持退耕还林还草政策,改良退化草地,重点保护林地、水域、湿地和草地,建设美丽生态空间。未利用地是很有潜力的待开发土地资源,结合区域实际,以提高生态系统服务价值为目标可进行高质量开发,以此促进三生用地协同发展,加快经济建设的同时提高生态系统服务价值,提升黄河流域的高质量发展。

#### 4.2 结论

本文以黄河上游荒漠绿洲区银川市为研究区,基于多源数据支持,提出了基于系数调整法的生态系统服务价值当量因子修正方法,综合分析ESV对三生用地变化的时空响应特征。主要结论如下:

(1) 1990—2020年,银川市三生用地以生态用地为主,但其面积比例由1990年的69.49%下降为2020年的57.68%;生产用地稳中有增,所占比例由28.54%提升为32.52%;生活用地扩张迅速,其面积所占比例由2.37%提升为9.81%。生活用地扩张显著且动态变化强烈,生产用地与生态用地动态逐渐趋于平缓;生态用地内部转换频繁,以草地与未利用地的转移为主。

(2) 三生用地变化对生态系统服务价值总量和结构均产生一定影响。研究时段内,ESV总量增加了38423.65万元,生态用地质量提升对ESV的增加效应大于生产用地和生活用地扩张导致的ESV降低效应。结构上,调节服务对生态系统服务总价值的贡献始终最大,其贡献比例从1990年的82.29%增为2020年的83.76%;支持服务从15.92%降为14.77%;文化服务从3.27%降为3.05%;供给服务比例最低且从-1.48%降为-1.58%,主要与绿洲耗水农作物面积比例高有关。

(3) 城市扩张、能源基地建设、移民迁入、生态建设是生态系统服务价值变化的主要原因。其中银川市城市扩张区、宁东能源基地的ESV显著降

低,形成明显的减量区;白芨滩自然保护区、黄河生态带核心区、贺兰山东麓葡萄长廊的 *ESV* 显著提升,形成明显的增量区。移民迁入区的 *ESV* 响应与迁入地原地类有关,迁入区以荒草地为主要地类的区域如闽宁镇和镇北堡镇等形成 *ESV* 减量区,迁入区原地类以沙地为主的迁入区如良田镇与兴泾镇等,形成 *ESV* 增量区。

## 参考文献(References):

- [1] Fu X X, Wang X F, Zhou J T, et al. Optimizing the production-living-ecological space for reducing the ecosystem services deficit [J]. *Land*, 2021, DOI: 10.3390/land10101001.
- [2] 李江苏, 孙威, 余建辉. 黄河流域三生空间的演变与区域差异: 基于资源型与非资源型城市的对比[J]. *资源科学*, 2020, 42(12): 2285-2299. [Li J S, Sun W, Yu J H. Change and regional differences of production-living-ecological space in the Yellow River Basin: Based on comparative analysis of resource-based and non-resource-based cities[J]. *Resources Science*, 2020, 42(12): 2285-2299.]
- [3] 李寒冰, 金晓斌, 吴可, 等. 土地利用系统对区域可持续发展的支撑力评价: 方法与实证[J]. *自然资源学报*, 2022, 37(1): 166-185. [Li H B, Jin X B, Wu K, et al. Evaluation of the support capacity of land use system on regional sustainable development: Methods and empirical evidence[J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(1): 166-185.]
- [4] 黄晶, 薛东前, 董朝阳, 等. 干旱绿洲农业区土地利用转型生态环境效应及分异机制: 基于三生空间主导功能判别视角[J]. *地理科学进展*, 2022, 41(11): 2044-2060. [Huang J, Xue D Q, Dong Z Y, et al. Eco-environmental effects and spatial differentiation mechanism of land use transition in agricultural areas of arid oasis: A perspective based on the dominant function of production-living-ecological spaces[J]. *Progress in Geography*, 2022, 41(11): 2044-2060.]
- [5] 刘晨光. 黄河流域专业村空间格局演化及影响因素[J]. *资源科学*, 2020, 42(12): 2300-2313. [Liu C G. Spatial evolution of specialized villages and influencing factors in the Yellow River Basin [J]. *Resources Science*, 2020, 42(12): 2300-2313.]
- [6] 杨光宗, 吕凯, 李峰. 基于格网尺度的南昌市土地利用变化及生态系统服务价值时空相关性分析[J]. *中国土地科学*, 2022, 36(8): 121-130. [Yang G Z, Lv K, Li F. Spatial and temporal correlation analysis of land use change and ecosystem service value in Nanchang City based on grid scale[J]. *China Land Science*, 2022, 36(8): 121-130.]
- [7] 高会, 付同刚, 梁红柱, 等. 太行山区生态系统服务冷热点区域识别及其权衡/协同关系分析[J]. *中国生态农业学报*, 2022, 30(7): 1045-1053. [Gao H, Fu T G, Liang H Z, et al. Cold/hot spots identification and tradeoff/synergy analysis of ecosystem services in Taihang Mountain area[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2022, 30(7): 1045-1053.]
- [8] 凌子燕, 李延顺, 蒋卫国, 等. 山江海交错带城市群国土三生空间动态变化特征: 以广西北部湾城市群为例[J]. *经济地理*, 2022, 42(2): 18-24. [Ling Z Y, Li Y S, Jiang W G, et al. Dynamic change characteristics of "production-living-ecological spaces" of urban agglomeration interlaced with mountains, rivers and sea: A case study of the Beibu Gulf urban agglomeration in Guangxi[J]. *Economic Geography*, 2022, 42(2): 18-24.]
- [9] 于淑会, 康园园, 邓伟, 等. 太行山东部县域“三生”用地转型与景观生态风险分析: 以河北省平山县为例[J]. *中国生态农业学报*, 2022, 30(7): 1113-1122. [Yu S H, Kang Y Y, Deng W, et al. Analysis of "production-living-ecological land transformation and landscape ecological risk in the eastern counties of Taihang Mountain: A case study in Pingshan County[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2022, 30(7): 1113-1122.]
- [10] 于正松, 程叶青, 李小建, 等. 工业镇“生产-生活-生态”空间演化过程、动因与重构: 以河南省曲沟镇为例[J]. *地理科学*, 2020, 40(4): 646-656. [Yu Z S, Cheng Y Q, Li X J, et al. Spatial evolution process, motivation and restructuring of "production-living-ecology" in industrial town: A case study on Qugou Town, Henan Province[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(4): 646-656.]
- [11] 李红润, 刘慧芳, 王瑾, 等. 基于 Markov-FLUS-MCR 模型的晋中市“三生”空间优化[J]. *农业工程学报*, 2022, 38(10): 267-276. [Li H R, Liu H F, Wang J, et al. Optimization of production-living-ecological space based on Markov-FLUS-MCR Model in Jinzhong, Shanxi of China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2022, 38(10): 267-276.]
- [12] Wang A Y, Liao X Y, Tong Z J, et al. Spatial-temporal dynamic evaluation of the ecosystem service value from the perspective of "production-living-ecological" spaces: A case study in Dongliao River basin, China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.130218.
- [13] Zhang S B, Zhao K X, Ji S Y, et al. Evolution characteristics, eco-environmental response and influencing factors of production-living-ecological space in the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Land*, 2022, DOI: 10.3390/land11071020.
- [14] Wang M, Qin K T, Jia Y H, et al. Land use transition and eco-environmental effects in karst mountain area based on production-living-ecological space: A case study of Longlin multinational autonomous county, southwest China[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022, DOI: 10.3390/

2023年1月

- ijerph19137587.
- [15] 耿鑫, 胡实, 肖玉, 等. 基于生态系统服务价值的东北农牧交错区土地利用格局优化与评价[J]. 自然资源学报, 2022, 37(7): 1799–1814. [Geng X, Hu S, Xiao Y, et al. Land use pattern optimization and evaluation based on ecosystem service value of agro-pastoral ecotone in Northeast China[J]. Journal of Natural Resources, 2022, 37(7): 1799–1814.]
- [16] 张芊芊, 邵战林, 林娟, 等. “三生空间”视角下西部绿洲城市土地利用功能转型的时空格局演变分析: 以乌鲁木齐市为例[J]. 中国农机化学报, 2022, 43(1): 176–185. [Zhang Q Q, Shao Z L, Lin J, et al. Analysis on the temporal and spatial pattern evolution of land use function transformation in Western Oasis Cities from the perspective of “production–living–ecological spaces”: A case study of Urumqi[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2022, 43(1): 176–185.]
- [17] 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. [An S W, Ma C H, Yuan Q Y, et al. Effects of “ecological–production–living” land changes on ecosystem services in ecological migration area: A case of Hongsibu district in Ningxia[J]. Arid Land Geography, 2021, 44(6): 1836–1846.]
- [18] 郑德凤, 王燕燕, 曹永强, 等. 基于生态系统服务的生态福祉分类与时空格局: 以中国地级及以上城市为例[J]. 资源科学, 2020, 42(6): 1110–1122. [Zheng D F, Wang Y Y, Cao Y Q, et al. Classification and spatiotemporal patterns of ecological well-being based on ecosystem services: Taking China’s prefecture-level and above cities for example[J]. Resources Science, 2020, 42(6): 1110–1122.]
- [19] 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. [Xie G D, Zhang C X, Zhang C S, et al. The value of ecosystem services in China[J]. Resources Science, 2015, 37(9): 1740–1746.]
- [20] 申梦姝, 郑航, 刘悦忆, 等. 基于改进的当量因子法对生态服务价值的时空变化研究: 以长江流域为例[J/OL]. 长江科学院院报, (2022–08–12) [2022–12–02]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1171.TV.20220811.1027.004.html>. [Sheng M S, Zheng H, Liu Y Y, et al. Research on the spatio-temporal change of ecological service value based on the improved equivalent factor method: Taking the Yangtze River Basin as an example[J/OL]. Journal of Yangtze River Scientific Research, (2022–08–12) [2022–12–02]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1171.TV.20220811.1027.004.html>.]
- [21] 崔旺来, 奚恒辉, 蔡莉, 等. 基于NDVI的中国海岛县生态系统服务价值时空变化[J]. 经济地理, 2021, 41(9): 184–192. [Cui W L, Xi H H, Cai L, et al. Spatial and temporal change ecosystem service value in China’s island counties base on NDVI[J]. Economic Geography, 2021, 41(9): 184–192.]
- [22] 马伟波, 杨帆, 王楠, 等. 长三角城市群地区生态系统服务价值时空演变及驱动因素研究[J]. 生态与农村环境学报, 2022, 38(11): 1365–1376. [Ma W B, Yang F, Wang N, et al. Study spatial-temporal evolution and driving factors of ecosystem service value in the Yangtze River Delta urban agglomerations[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2022, 38(11): 1365–1376.]
- [23] 龙精华, 张卫, 付艳华, 等. 鹤岗矿区生态系统服务价值[J]. 生态学报, 2021, 41(5): 1728–1737. [Long J H, Zhang W, Fu Y H, et al. The value of ecosystem services in Hegang coal mining area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(5): 1728–1737.]
- [24] 张莉金, 白羽萍, 胡业翠, 等. 不同SSP–RCP情景下中国生态系统服务价值评估[J]. 生态学报, 2023, 43(2): 510–521. [Zhang L J, Bai Y P, Hu Y C, et al. Value assessment of ecosystem services in China under different SSP–RCP scenarios[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(2): 510–521.]
- [25] 薛明皋, 邢路, 王晓艳. 中国土地生态系统服务当量因子空间修正及价值评估[J]. 中国土地科学, 2018, 32(9): 81–88. [Xue M G, Xing L, Wang X Y. Spatial correction and evaluation of ecosystem services in China[J]. China Land Science, 2018, 32(9): 81–88.]
- [26] 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. [Xie G D, Zhang C X, Zhang L M, et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(8): 1243–1254.]
- [27] 张华, 康旭, 王利, 等. 辽宁近海海洋生态系统服务及其价值测评[J]. 资源科学, 2010, 32(1): 177–183. [Zhang H, Kang X, Wang L, et al. An assessment of offshore marine ecosystem value and services in Liaoning Province[J]. Resources Science, 2010, 32(1): 177–183.]
- [28] 王娜, 楚鑫磊, 勾蒙蒙, 等. 三峡库区森林生态系统服务权衡与协同分析[J]. 生态环境学报, 2021, 30(3): 475–484. [Wang N, Chu X L, Gou M M, et al. Tradeoffs and synergies analysis on forest ecosystem services in the Three Gorges Reservoir area[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2021, 30(3): 475–484.]
- [29] 姚礼堂, 张学斌, 周亮, 等. “山地–绿洲–荒漠”复合系统土地利用变化的生态系统服务权衡与协同效应: 以张掖市为例[J]. 生态学报, 2022, 42(20): 8138–8151. [Yao L T, Zhang X B, Zhou L, et al. Ecosystem service tradeoffs and synergies effects of land use change in mountain–oasis–desert complex system: A case study of Zhangye City[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(20): 8138–8151.]
- [30] 张佰发, 苗长虹. 黄河流域土地利用时空格局演变及驱动力[J]. 资源科学, 2020, 42(3): 460–473. [Zhang B F, Miao C H. Spatio-temporal changes and driving forces of land use in the Yellow River Basin[J]. Resources Science, 2020, 42(3): 460–473.]

- [31] 杨润佳, 叶艳妹. 基于土地资源优化配置的国土整治修复潜在区域识别: 以黄河流域为例[J]. 资源科学, 2022, 44(5): 886–898. [Yang R J, Ye Y M. Identification of potential areas for land consolidation and ecological restoration via optimal allocation of land resources: Taking the Yellow River Basin as an example[J]. Resources Science, 2022, 44(5): 886–898.]
- [32] 马彩虹, 阿斯文, 滑雨琪, 等. 宁夏沿黄经济带生态用地格局演变及其驱动机制[J]. 经济地理, 2022, 42(6): 179–187. [Ma C H, An S W, Hua Y Q, et al. Evolution and driving mechanism of ecological land use along the Yellow Economic Belt in Ningxia[J]. Economic Geography, 2022, 42(6): 179–187.]
- [33] 张红旗, 许尔琪, 朱会义. 中国“三生用地”分类及其空间格局[J]. 资源科学, 2015, 37(7): 1332–1338. [Zhang H Q, Xu E Q, Zhu H Y. An ecological–living–industrial land classification system and its spatial distribution in China[J]. Resources Science, 2015, 37(7): 1332–1338.]
- [34] 邹利林, 王建英, 胡学东. 中国县级“三生用地”分类体系的理论构建与实证分析[J]. 中国土地科学, 2018, 32(4): 59–66. [Zou L L, Wang J Y, Hu X D. An classification systems of production–living–ecological land on the county level: Theory building and empirical research[J]. China Land Science, 2018, 32(4): 59–66.]
- [35] 马彩虹, 任志远, 李小燕. 黄土台塬区土地利用转移流及空间集聚特征分析[J]. 地理学报, 2013, 68(2): 257–267. [Ma C H, Ren Z Y, Li X Y. Land use change flow and its spatial agglomeration in the loess platform region[J]. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(2): 257–267.]
- [36] Costanza R, d'Arge R, de Groot R S, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Ecological Economics, 1998, 25(1): 3–15.
- [37] 朱文娟, 李建兵, 高阳, 等. 基于经济–社会–生态价值的耕地价值量核算研究: 以Y市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(9): 2086–2095. [Zhu W J, Li J B, Gao Y, et al. Cultivated land value accounting based on economic–social–ecological value: A case study of Y city[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2022, 31(9): 2086–2095.]
- [38] 高超, 赵军, 王玉纯, 等. 石羊河流域自然植被对生态系统服务的约束效应[J]. 生态学报, 2020, 40(9): 2851–2862. [Gao C, Zhao J, Wang Y C, et al. Study on the constraint effect of natural vegetation on ecosystem services in the Shiyang River Basin[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(9): 2851–2862.]
- [39] 徐丽芬, 许学工, 罗涛, 等. 基于土地利用的生态系统服务价值当量修订方法: 以渤海湾沿岸为例[J]. 地理研究, 2012, 31(10): 1775–1784. [Xu L F, Xu X G, Luo T, et al. Services based on land use: A case study of Bohai Rim[J]. Geographical Research, 2012, 31(10): 1775–1784.]
- [40] 韩鹏, 司令, 王应刚. 生态服务价值计算方法对比分析: 以黄土丘陵区纸坊沟流域为例[J]. 应用基础与工程科学学报, 2009, 17(1): 102–112. [Han P, Si J, Wang Y G. Contrastive analysis of valuation methods of ecosystem services value: A case study of Zhifanggou watershed in a Hilly and Gully region of Loess Plateau [J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2009, 17(1): 102–112.]

# Response of desert oasis ecosystem services to the production–living–ecological land change in the upper reaches of the Yellow River:

## A case study in Yinchuan City

LI Conghui, MA Caihong, HUA Yuqi, YANG Hang, LIU Yuanyuan  
(College of Geographical Sciences and Planning, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

**Abstract: [Objective]** Exploring the changes and ecological effects of the ecological land in the desert oasis area can provide a decision-making reference for the ecological protection and high-quality development of the Yellow River Basin. **[Methods]** Taking Yinchuan City, a desert oasis in the upper reaches of the Yellow River, as an example, this study put forward the coefficient revision method of ecological service value (*ESV*) equivalent factors, established the relationship of *ESV* equivalent factor coefficients between Yinchuan City and China nationwide, and analyzed the

response characteristics of *ESV* to the spatial and temporal changes of production-living-ecological land. **[Results]** The results show that: (1) The proportion of ecological land was the highest among the production-living-ecological land in Yinchuan City, but this proportion decreased during the study period, from 69.49% in 1990 to 57.68% in 2020. During the same period, the production land increased steadily, from 28.54% to 32.52%, and the living land expanded rapidly, from 2.37% to 9.81%. The dynamic degree of living land changed dramatically, but the dynamic degree trends of production land and ecological land gradually became smooth. (2) During the study period, the total amount of *ESV* increased by 384.2365 million yuan, and the positive effect of ecological land quality improvement on *ESV* was greater than the negative effect of the expansion of production land and living land on *ESV*. The contribution of regulating services to *ESV* was the largest and continued to increase, with the proportion increasing from 82.29% in 1990 to 83.76% in 2020, but the proportion of other services had decreased. The negative supply services are mainly related to the increase of water-consuming crop planting. (3) Urban expansion, energy base construction, and migration into the city are important reasons for the decline in *ESV*, resulting in lower *ESV* in the urban area, the Ningdong energy base, and key immigration areas; ecological construction is the main reason for the increase in *ESV*, with significant increases in areas such as the Bailitan Nature Reserve, the core area of the Yellow River Ecological Belt, and the grape production corridor at the eastern foot of the Helan Mountains. **[Conclusion]** In future development, it is necessary to improve the efficiency of living land and production land use to reduce the pressure of their expansion on ecological land, and to continuously improve the quality of ecological land to promote the healthy and sustainable development of the desert oasis ecosystem.

**Key words:** production-living-ecological land; spatial pattern; ecosystem services; oasis area; upper reaches of the Yellow River; Yinchuan City