宁夏沿黄生态经济带耕地的时空演变及驱动力

舒 瑞[1], 孙鸿睿[1], 邹业斌[2], 侯 琴[1]

(1.宁夏自然资源勘测调查院 宁夏 银川 750002; 2.宁夏大学 土木与水利工程学院 宁夏 银川 750021)

摘 要:[目的] 研究耕地空间分布格局与演变的驱动机制,为严守耕地保护红线及宁夏沿黄生态经济带制定耕地资源保护政策与措施,优化耕地保护格局提供参考。[方法] 利用土地变更调查数据和社会经济数据,采用核密度、空间自相关、土地利用动态度、转移矩阵、二元 Logistic 回归模型等方法,分析 2010—2018 年宁夏沿黄生态经济带耕地的空间分布、时空演变及其驱动机制。[结果] ①研究区耕地的空间分布呈现出明显的差异性,整体以中、低密度区分布为主,且由低、高密度区向中密度区演变;②耕地空间分布呈正相性,高—高聚类区域主要集中在银川平原,低—低聚类区域分布在灵武市东部、沙坡头区中西部等生态相对脆弱区;③研究区耕地的双向流转是以未利用地—耕地—建设用地为主的生态转换系统,耕地数量稳中有增;④耕地动态度变化有明显的空间聚类现象,且与距离城市的距离成正比,与城市规模成反比;⑤自然条件因子是耕地增加的主要驱动因素,社会经济因子是耕地减少主要驱动因素。[结论] 宁夏沿黄经济带耕地保护基本实现动态平衡。耕地变化是以一定的自然条件因子为基础,受经济、人口等社会经济因子综合作用下的效益择优过程。

关键词:耕地;时空演变;沿黄生态经济带;Logistic 回归模型;宁夏回族自治区

文献标识码:A **文章编号**:1000-288X(2021)03-0267-08 **中图分类号**:F323.2

文献参数:舒瑞, 孙鸿睿, 邹业斌, 等.宁夏沿黄生态经济带耕地的时空演变及驱动力[J].水土保持通报, 2021,41(3):267-274.DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2021.03.035; Shu Rui, Sun Hongrui, Zou Yebin, et al. Driving forces of spatio-temporal changes in cultivated land in Ningxia Eco-economic Belt along Yellow River [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021,41(3):267-274.

Driving Forces of Spatio-Temporal Changes in Cultivated Land in Ningxia Eco-economic Belt Along Yellow River

Shu Rui[1], Sun Hongrui[1], Zou Yebin[2], Hou Qin[1]

(1.*Ningxia Natural Resources Survey and Investigation Institute*, *Yinchuan*, *Ningxia* 750002, *China*; 2.*School of Civil and Hydraulic Engineering*, *Ningxia University*, *Yinchuan*, *Ningxia* 750021, *China*)

Abstract: [Objective] The spatial distribution patterns of cultivated land and the driving mechanisms of its evolution were studied in order to provide a reference for strictly observing the red line of cultivated land protection, and to formulate farmland resource protection policies and measures in order to optimize the pattern of farmland protection in the Ningxia Eco-economic Belt along the Yellow River. [Methods] Land change survey data and socio-economic data, in conjunction with methods such as nuclear density, spatial autocorrelation, land use dynamics, transfer matrix, and binary Logistic regression modeling were used to analyze the spatial distribution, spatio-temporal evolution, and driving mechanism of cultivated land in the study area from 2010 to 2018. [Results] ① The spatial distribution of cultivated land in the study area showed obvious differences. The overall distribution was mainly in the middle and low density areas, and the distribution evolved from low and high density areas to medium density areas. ② The spatial distribution of arable land was positive. The high-high clustering areas were mainly concentrated in the Yinchuan Plain, and the low-low clustering areas were located in the eastern part of Lingwu City, the central and western parts of Shapotou, and other ecologically fragile areas. ③ The two-way transfer of cultivated land in the study area

收稿日期:2020-11-16 **修回日期**:2021-02-24

资助项目:宁夏自然科学基金项目"西部地区耕地数量—质量—生态、粮食安全耦合机理及预警防范机制研究"(2020AAC03478)

第一作者:舒瑞(1992—),男(汉族),宁夏回族自治区中宁县人,硕士,工程师,主要从事土地规划与可持续利用研究。Email:shurui_92@163.com。

was an ecological conversion system dominated by unused land-cultivated land-construction land. The amount of cultivated land had been steadily increasing. ④ Cultivated land dynamic changes had obvious spatial clustering that was proportional to the distance from the city and inversely proportional to the city size. ⑤ Natural condition factors were the main driving factors for increases in cultivated land, and socioeconomic factors were the main driving factors for decreases in cultivated land. [Conclusion] The protection of cultivated land in the Ningxia Eco-economic Belt along the Yellow River has basically achieved a dynamic balance. Cultivated land change is based on certain natural condition factors, and is a process of benefit selection under the comprehensive effects of economic, population, and other socio-economic factors.

Keywords: cultivated land; spatio-temporal evolution; eco-economic belt along the Yellow River; Logistic regression model; Ningxia Hui Autonomous Region

耕地是人类依存度最高的复合生态系统,具有极大的经济价值、社会价值及生态价值[1]。在耕地的开发利用过程中,从基础的食物生产到就业保障、从生态服务到社会安定维护[2],其功能不断外延。但受经济建设活动的驱动,大量优质耕地非农化[2-3],并且随着城市化、工业化进程的加速推进,人地矛盾将日益突出[4]。因此厘清耕地的演变过程,找到耕地变化的影响因素,对端稳"中国饭碗"具有重要意义。

近年来国内外研究者主要围绕构建适合不同区域的模型来解释和分析典型区域耕地演变与驱动力机制间的关系。在研究尺度方面,形成了微观(县区级)、中观(省市级、流域)和宏观(全球及国家级)尺度等一系列研究成果[4-7],但以中观较为多见。在驱动因子选择方面,主要集中在社会经济、自然条件、国家政策、农业科技水平等方面,如耿艺伟等[5]采用了自然地理基底、经济发展水平、社会生活状况 3 个方面 10 项指标对河南省耕地演变进行了驱动力分析;周晨晴等[6]从地形影响因素、社会经济影响因素、空间距离影响方面对广河县土地利用变化进行了分析。在研究方法方面,早期多以定性分析和因子分析法[7]、主成分分析法[8]、多元线性回归分析法等[9]定量研究为主,此类方法无法分析其空间异质性[10],而 Logistic 不仅能处理耕地变化过程中的空间变量,还能很好的解决多元线性回归因变量必须为连续变量、因子分析不能解释因变量的发生概率等局限,目前已逐步应用到土地变化预测模拟、驱动力分析等方面。

自 2010 年间,中共中央国务院《关于深入实施西部大开发战略的若干意见》《国家主体功能区规划》《国家"十二五"规划纲要》等相关文件相继出台,宁夏"沿黄经济区"上升为国家战略以来,该区域土地利用变化频率较快,经济社会快速发展产生的用地需求与耕地保护的矛盾更为突出。因此,本文以宁夏回族自治区(以下简称"宁夏")沿黄生态经济带为研究对象,分析 2010—2018 年耕地演变,并选取影响研究区耕地变化的自然环境和社会经济等变量,运用二元 Logistic 回归模型,揭示该区域耕地的演变规律和驱动机制,以期为政府管理部门制定合理的耕地资源保护政策与措施、优化耕地保护格局提供一定的参考借鉴依据。

1 研究区概况

自 20 世纪 90 年代初宁夏首次提出"黄河经济"发展战略,到 2017 年宁夏第十二次党代会提出全力打造生态优先、绿色发展、产城融合、人水和谐的"沿黄生态经济带"以来,经过近 30 a 的探索与发展,宁夏沿黄生态经济带已成为宁夏经济发展的核心和精华地带,并跃升为国务院确定的 18 个重点开发区之一。宁夏沿黄生态经济带位于宁夏北部,地处东经 104°17′—106°57′,北纬 37°25′—39°23′之间,海拔 956～3 542 m,包括银川市、石嘴山市全域以及吴忠市利通区、青铜峡市和中卫市沙坡头区、中宁县共 13 个县(市、区),面积 226.92 km^2,占宁夏总面积的 43.68%。截止 2018 年底,常住人口 4.53×10^6 人,占宁夏全区 65.91%(城镇人口占全区 78.22%);地区生产总值 3.21×10^{11} 元,占宁夏全区 86.67%;耕地面积占宁夏全区 33.81%;粮食产量为 2.22×10^9 kg,占宁夏全区的 56.42%;耕地质量等别为 9.09 等,远高于宁夏全区平均 11.07 等,略高于全国平均 9.96 等(2015 年度)。

2 研究方法与数据处理

2.1 数据来源

主要数据来源:①本文土地利用现状数据来源于宁夏各县(市、区)土地利用现状变更调查成果;②DEM数据来源于地理空间数据云(http://www.gscloud.cn),分辨率为 30 m,同时利用 ArcGIS 空间表面分析功能提取坡度;③农村居民点、城市中心点、道路、黄河流域数据来源于宁夏基础地理数据库;④城镇化率、农村人均可支配收入、第三产业产值数据来源于《宁夏统计年签》(2010—2018);⑤人口及 GDPkm 格网数据来源于中国科学院资源环境数据云平台(http://www.resdc.cn),时间为 2010,2015 年。

耕地的空间分布及变化特征主要受区域自然环境和社会经济因素的影响[11]。为了对宁夏沿黄生态经济带耕地演变驱动力进行全面的分析,同时考虑到因子的代表性、可量化性、区域差异性和资料的可获得性等因素,选取了 7 个自然因素因子,5 个社会经济因素因子(详见表 1)。其中:①沟渠密度从土地利用现状数据中提取,并以行政村为单位统计计算;②各距离因子(到最近道路、农村居民点、城市、黄河及其主要支流的距离)由 ArcGIS 中的近邻分析功能计算得到;③相比自然因素,社会经济因素相对活跃,因此采用研究时段内的变化量作为因子进行驱动力分析。

表 1　宁夏沿黄生态经济带耕地变化及影响因子变量

变 量	数据层	因 子	变量性质	单位或描述
因变量	耕地变化	耕地增加	二分类	0,1
		耕地减少	二分类	0,1
自变量	自然因素	高 程	连续型	m
		坡 度	多分类	Ⅰ—Ⅴ
		沟渠密度(以村庄为单位统计)	连续型	km/km^2
		距最近黄河及其主要支流的距离	连续型	km
		距最近城市的距离	连续型	km
		距最近道路的距离	连续型	km
		距最近农村居民点的距离	连续型	km
	社会经济因素	城镇化率变化量(2010—2018 年)	连续型	%
		人口密度变化量(2010—2015 年)	连续型	人/km^2
		农村人均可支配收入变化量(2010—2018 年)	连续型	元/人
		地均第三产业产值变化量(2010—2018 年)	连续型	10^4 元
		GDP 变化量(2010—2015 年)	连续型	10^4 元/km^2

2.2　研究方法

(1) 核密度分析。核密度分析是通过样本数据来计算和估计数据聚集情况,并通过既定的距离衰减函数来度量研究要素密度的变化情况,以此来探索空间区域中的热点分布和变化特征[12-13]。本文通过核密度分析方法实现耕地分布整体性和连续性的空间表达。核密度计算公式为:

$$f(x)=\frac{1}{nh}\sum_{i=1}^{n}k\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \tag{1}$$

式中:$f(x)$为耕地地块分布核密度估计值(即单位面积上的耕地面积);$k(x)$称为核函数;h 为带宽,带宽的选择决定了生成密度图形的光滑性和准确性;$x-x_i$表示估计点到样本点 x_i 处的距离。

(2) 空间自相关性分析。空间自相关是指某空间单元与其周围单元间就某种特征值进行空间自相关性程度计算,以分析这些空间单元在空间上的分布特征[14]。本文通过全局莫兰指数来判断研究区耕地在空间上是否具有集聚性及聚集程度,计算公式如下:

$$I=\frac{n\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}w_{ij}(x_i-\bar{x})(x_j-\bar{x})}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}w_{ij}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2} \tag{2}$$

式中:I 为全局莫兰指数;n 为空间单元总数量;x_i,x_j代表 i 和 j 空间单元的耕地面积;$\bar{x}$ 是所有空间单元耕地面积的平均值;w_{ij} 为空间权重值。若 Moran's I 大于 0,表示耕地面积大(小)的区域越容易聚集在一起。

通过局部莫兰指数来反映研究区内耕地聚集地区的空间分布,计算公式如下:

$$I_i=\frac{(x_i-\bar{x})}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}\sum_{j=1}^{n}w_{ij}\times(x_j-\bar{x}) \tag{3}$$

式中:I_i 为 i 空间单元的局部莫兰指数,其他变量含义与公式(2)相同。

(3) 土地利用转移矩阵。土地利用转移矩阵可以全面、定量地反映研究时段内各土地利用方式转换的流向、数量和速率,其数学模型为:

$$S_{ij}=\begin{bmatrix}S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n}\\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n}\\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{nm}\end{bmatrix} \tag{4}$$

式中:S_{ij} 为研究期初与期末的土地利用状态;n 为土地利用类型数量。

(4) 耕地变化动态度。耕地变化动态度大小可以反映耕地变化的剧烈程度,计算公式如下:

$$K=\frac{U_b-U_a}{U_a}\times\frac{1}{T}\times100\% \tag{5}$$

式中：K 为耕地动态度；U_a 为期初耕地面积；U_b 为期末耕地面积；T 为研究时段长度。

(5) 二元 Logistic 回归模型。

① 模型原理。当因变量为二分类变量时，常使用二元 Logistic 回归模型，该模型是基于抽样数据得到各自变量的回归系数，并通过这些系数来讨论模型中因变量与自变量的关系。设 p 为事件发生概率，值域为 0～1，其概率可以用 Logistic 函数计算，表达式如下：

$$p=\frac{e(\beta_0+\beta_1x_1+\beta_2x_2+\cdots+\beta_nx_n)}{1+e(\beta_0+\beta_1x_1+\beta_2x_2+\cdots+\beta_nx_n)} \quad (6)$$

Logistic 函数是协变的非线性函数，为求回归系数，首先求得事件发生与不发生的概率之比 $p/(1-p)$，记为 Odds，然后对 Odds 进行对数转换，得到 Logistic 回归模型的线性模式：

$$\ln(\frac{p}{1-p})=(\beta_0+\beta_1x_1+\beta_2x_2+\cdots+\beta_nx_n) \quad (7)$$

式中：x_1，x_2，…，x_n 为耕地变化驱动因子；β_0，β_1，…，β_n 为待求的回归系数。

本文利用 SPSS 22.0 计算出回归系数 β 及统计量 Waldχ^2，估计的显著性水平 P 和发生比率 OR。其中，β 表示对应驱动因子单位变化导致的耕地变化情况，变化程度可以用 OR 来衡量，当 $\beta>0$ 且统计显著(95%置信区间时，$p<0.05$)，表示其他因子不变的情况下，OR 随对应因子的增加而增加，相反，则表示 OR 随对应因子的增加而减少；Waldχ^2 表示各驱动因子对耕地变化的解释程度，其值越大，代表解释程度越高[15]。

② 抽样过程。研究区共有 100 m×100 m 的格网 2 659 458 个，为保证样本数量至少应是自变量 20～30 倍[16]，且避免数据的空间自相关，本文对耕地增加和耕地减少分别采用分层抽样法，并使用 ArcGIS 的创建随机点功能，随机抽取耕地增加、减少、未发生变化样本点各 5 000 个，保证了耕地变化与未变化大致相同的预测精度。根据得到的样本点矢量图层分别提取自变量的值，并利用 Z-score 法对样点数据库进行标准化处理后作为 Logistic 回归模型的基础数据。

③ 模型检验。模型检验包含自变量之间的多重共线性检验和模型运算结果的有效性检验。自变量间的共线性诊断常用的统计量有方差膨胀因子 VIF 或容限 TOL，一般若 VIF>10 且 TOL<0.1，自变量存在共线性[17-18]。通过检验的自变量可以进入 Logistic回归模型，模型运算后常用皮尔逊 χ^2(Pearson χ^2)、偏差 D(deviance，D)和 Homsmer-Lemeshow (HL)等指标进行拟合优度检验。其中，皮尔逊 χ^2 和偏差 D 仅在分类变量或协变量类型的数据较少时适用，当自变量数量增加，尤其是连续自变量纳入模型之后，HL 是广为接受的拟合优度指标。当 HL 指标统计不显著表示模型拟合好，即显著性水平取 0.05 时，若 $p>0.05$ 则反而说明显著性较好。

3 结果与分析

3.1 耕地分布格局特征

3.1.1 *耕地核密度分析* 首先使用 ArcGIS 的 Feature to point 工具将耕地图斑转换成矢量点，然后利用 Kernel Density 工具，以耕地图斑面积为统计分析字段，通过多次试验，确定带宽为 5 km，分别就 2010 年和 2018 年耕地进行核密度估算〔公式(1)〕，最后按照自然断点法将耕地核密度分为低、中低、中、中高、高密度区 5 类等级(见封 3 附图 1)，并统计各等级比例(表 2)。

表 2 2010—2018 年宁夏沿黄生态经济带耕地核密度等级比例

等级	2010 年		2018 年		2010—2018 年
	个数/个	比例/%	个数/个	比例/%	比例/%
低密度区	680 299	43.10	692 649	43.04	−0.05
中低密度区	276 838	17.54	284 339	17.67	0.13
中密度区	254 763	16.14	256 388	15.93	−0.21
中高密度区	243 589	15.43	261 033	16.22	0.79
高密度区	123 014	7.79	114 803	7.13	−0.66
合 计	1 578 503	100	1 609 212	100	—

整体来看，研究区耕地的空间分布呈现出明显差异性，其中：低密度区面积最大，约占 43%，主要分布在远离城市的边缘地区和城市郊区，以沙坡头区、中宁县、大武口区、灵武市分布最多；高密度区面积最小，仅占约 7%，主要以吴忠市中心城区为中心团状分布及贺兰县、平罗县北部条状分布；中低、中及中高密度区占比均在 15%～17%，主要分布在近郊区和远郊区之间。

从耕地密度的时空分布来看，2010，2018 年研究区耕地密度分别为 28.94，28.97 hm^2/km^2，耕地密度变化不大。各等级耕地密度中，低密度区和高密度区均略有下降，向中低、中及中高密度集中，主要是由于城市向外扩张占用了周边密度较高地区耕地，以及土地整治、占补平衡等项目实施，使低密度地区耕地更加集中。

3.1.2 *空间分布关联性分析* 将研究区划分为 1 049 个 5 km×5 km 的格网(其中 703 个格网含有耕地)，作为耕地面积空间自相关分析的空间单元，并统计格网内的耕地面积，然后分别使用 ArcGIS 的 Spatial

Autocorrelation 工具,Cluster and Outlier Analysis 工具进行全局和局部空间自相关分析。

全局自相关分析结果显示,2018 年研究区内耕地面积的全局 Moran's I 为 0.643 且检验结果高度显著($p<0.001$),表明研究区耕地面积不是随机分布的,具有明显的空间集聚特征。局部自相关分析结果显示(见封 3 附图 2),除不显著区域外,耕地面积的高—高与低—低正相关类型共有 295 个网格,占 96.72%,负相关类型占 3.28%。其中,高—高型主要分布在银川平原,包括惠农区南部、平罗县、贺兰县、永宁县中南部、青铜峡东北部、利通区北部、灵武市西部,少量分布在宁卫平原沙坡头区东北部,这些地区灌溉水源充足、地形平坦、土壤肥沃,是宁夏的主要粮食产地;低—低型主要分布在灵武市东部、沙坡头区中西部,这些地区属于生态脆弱区,耕地分布数量少、质量等别低。

3.2　耕地演变格局特征

3.2.1　土地利用转移矩阵　对研究期初(2010 年)和期末(2018 年)土地利用现状数据进行空间叠置分析,得到 2010—2018 年宁夏沿黄生态经济带土地利用类型转移矩阵(表 3)。

表 3　2010—2018 年宁夏沿黄生态经济带土地利用类型转移矩阵

(流入)流出		耕地	园地	林地	牧草地	其他农用地	交通水利用地	城镇村及工矿用地	水域	其他土地	流出总量	净增长面积
农用地	耕地	468 333.83	80.10	223.74	405.26	1 211.22	2 828.75	10 857.63	52.79	112.19	15 771.68	12 187.88
	园地	2 564.56	44 842.68	11.48	11.88	164.49	331.82	1 233.64	0.00	3.63	4 321.51	−3 694.69
	林地	2 040.20	148.14	126 674.07	199.01	611.80	734.08	1 339.76	14.15	207.59	5 294.72	−4 680.89
	牧草地	3 967.46	340.69	25.43	775 522.55	1 680.22	1 496.75	4 537.41	0.00	2 005.38	14 053.34	−13 084.60
	其他农用地	806.39	9.98	64.88	61.43	53 229.98	476.18	1 307.53	0.00	10.88	2 737.27	3 860.84
建设用地	交通水利用地	4.56	0.00	0.55	0.47	0.39	19 560.40	6.74	0.00	2.05	14.75	8 285.83
	城镇村及工矿用地	1 648.32	5.26	203.35	135.93	85.32	332.87	136 026.01	0.00	391.30	2 802.35	26 937.62
未利用地	水域	1 414.51	0.00	0.84	21.60	54.85	209.20	233.37	56 959.96	16.35	1 950.73	−1 882.99
	其他土地	15 513.56	42.66	83.56	133.17	2 789.82	1 890.93	10 223.89	0.80	510 991.90	30 678.38	−27 929.01
流入总量		27 959.56	626.83	613.83	968.74	6 598.12	8 300.58	29 739.97	67.74	2 749.38	77 624.73	0.00

从表 3 中可以看出,耕地的双向流转是以未利用地—耕地—建设用地为主的生态转换系统。耕地主要流出至建设用地,面积为 13 686.38 hm^2,占耕地流出总面积的 86.78%。城市扩张、工矿企业增加是耕地流向建设用地的主要原因,其次农村道路、沟渠等农业基础设施不断完善,占耕地流出总面积的 7.68%,流出至其他地类的比例均小于 3%。相应的耕地流入来源主要是其他土地(主要为其他草地、盐碱地)、牧草地和园地,分别占流入总面积的 55.49%,14.19%,9.17%,主要是由于永久基本农田政策全面铺开,生态移民与城乡建设用地增减挂钩政策相继出台使耕地面积减少、建设用地扩张态势得以有效控制,同时"十二五""十三五"期间的土地整治、中北部重大工程、高标准农田建设等项目的实施进一步增加了耕地面积。

3.2.2　耕地变化动态度分析　根据公式(5),分别以城镇群、城市规模和乡镇为分析单元,进行耕地动态度变化分析(表 4)。由表 4 可知,研究区耕地动态度为 2.52%,耕地数量稳中有增,耕地保护基本实现动态平衡。从城市规模来看,城市规模与耕地动态度成反比。大城市耕地动态变化剧烈,耕地数量大幅减少,动态度最小,为 −7.74%;城市规模最小的Ⅱ型小城市,耕地数量增加幅度最大,耕地动态度为 4.29%。

表 4　2010—2018 年宁夏沿黄生态经济带耕地变化动态度

项目	类型	2010 耕地面积/hm^2	2018 耕地面积/hm^2	动态度/%
发展规划	核心城镇群	239 016.57	238 189.15	−0.35
	南翼城镇群	95 143.83	103 012.91	8.27
	北翼城镇群	149 945.11	155 091.32	3.43
城市规模	大城市	47 679.06	43 990.00	−7.74
	Ⅰ型小城市	117 713.78	119 920.11	1.87
	Ⅱ型小城市	318 712.67	332 383.28	4.29
	研究区整体	484 105.51	496 293.39	2.52

注:① 根据沿黄经济区城市带发展规划,一核:以中心城市银川市以及贺兰县、永宁县、灵武市、吴忠市利通区、青铜峡市为城市带核心区;两翼:北翼石嘴山市、南翼中卫市。② 根据 2018 年城镇人口数量及城市规模划分标准,将城市划分为大城市:银川市辖区;Ⅰ型小城市:大武口区、利通区、沙坡头区;Ⅱ型小城市:贺兰县、惠农区、灵武市、平罗县、青铜峡市、永宁县、中宁县。

从空间分布来看,耕地动态度的空间差异性较大(见封 3 附图 3)。其中,耕地动态度最小的乡镇低达 −87.38%,最大的高达 57.59%,有 27 个(占乡镇总数的 20%)乡镇耕地动态度小于 −11.37%,有 14 个乡镇动态度高于 12.89%。同时耕地动态度变化有明显空间聚类现象(图 3,表 4),靠近城市周边的乡镇耕地动态度低,远离城市周边的乡镇动态度高;核心城镇群耕地减

少聚集明显，动态度为－0.35%，北翼城镇群和南翼城镇群耕地增加聚集明显，动态度分别为 3.43%，8.27%。

3.3 耕地变化驱动力分析

自变量多重共线性诊断结果显示，自变量的方差膨胀因子 VIF 在 1.35～4.5 之间，容限 TOL 在 0.22～0.74之间，表明自变量间多重共线性不严重，都可以纳入 Logistic 回归模型。在耕地变化 Logistic 回归模型中，坡度用 4 个虚拟变量分别代表坡度Ⅱ(2°～6°)，Ⅲ(6°～15°)，Ⅳ(15°～25°)，Ⅴ(＞25°)，坡度Ⅰ(＜2°)作为它们的参照对象。然后将其他自变量代入到 Binary logistic 模块中，通过计算分别得到耕地减少和耕地增加的 logistic 回归模型(表 5—6)。

表 5 2010－2018 年宁夏沿黄生态经济带耕地减少的 Logistic 回归模型相关系数

自变量	发生比率 OR(95% CI)	参数估计 β	标准误差 S.E.	显著性水平 p	统计量 Waldχ^2
距最近黄河及其主要支流的距离	0.99(0.88～1.12)	－0.01	0.06	0.90	0.02
高 程	1.4(1.18～1.66)	0.34	0.09	＜0.01	15.00
城镇化率变化量	1.57(1.44～1.71)	0.45	0.04	＜0.01	106.94
距最近城市的距离	0.33(0.3～0.36)	－1.12	0.05	＜0.01	539.69
距最近道路的距离	0.59(0.54～0.64)	－0.53	0.04	＜0.01	148.97
距最近居民点的距离	0.87(0.8～0.95)	－0.13	0.04	＜0.01	9.22
沟渠密度	0.53(0.49～0.56)	－0.64	0.03	＜0.01	349.76
地均第三产业产值变化量	1.34(1.23～1.46)	0.29	0.04	＜0.01	47.36
GDP 变化量	1.52(1.41～1.64)	0.42	0.04	＜0.01	110.27
人口密度变化量	0.75(0.7～0.79)	－0.29	0.03	＜0.01	87.03
农村人均可支配收入变化量	1.11(1.02～1.22)	0.11	0.05	0.02	5.66
坡度(2°～6°)	0.9(0.81～1)	－0.11	0.05	0.04	4.12
坡度(6°～15°)	0.78(0.59～1.04)	－0.24	0.14	0.09	2.88
常 量	0.68(0～0)	－0.39	0.04	＜0.01	95.49

表 6 2010－2018 年宁夏沿黄生态经济带耕地增加的 Logistic 回归模型相关系数

自变量	发生比率 OR(95% CI)	参数估计 β	标准误差 S.E.	显著性水平 p	统计量 Waldχ^2
距最近黄河及其主要支流的距离	1.01(0.91～1.11)	0.01	0.05	0.92	0.01
高 程	0.23(0.19～0.26)	－1.49	0.08	＜0.01	335.45
城镇化率变化量	0.9(0.82～0.99)	－0.11	0.05	0.04	4.37
距最近城市的距离	1.67(1.53～1.83)	0.52	0.05	＜0.01	125.78
距最近道路的距离	0.99(0.93～1.05)	－0.01	0.03	0.72	0.13
距最近居民点的距离	1.54(1.45～1.64)	0.43	0.03	＜0.01	184.03
沟渠密度	0.44(0.41～0.47)	－0.83	0.04	＜0.01	513.11
地均第三产业产值变量	0.68(0.6～0.78)	－0.38	0.07	＜0.01	32.92
GDP 变化量	0.91(0.78～1.07)	－0.09	0.08	0.27	1.24
人口密度变化量	1.63(1.43～1.85)	0.49	0.07	＜0.01	54.56
农村人均可支配收入变化量	0.64(0.58～0.7)	－0.45	0.05	＜0.01	93.29
坡度(2°～6°)	1.26(1.13～1.42)	0.24	0.06	＜0.01	16.36
坡度(6°～15°)	1.58(1.2～2.08)	0.46	0.14	＜0.01	10.86
坡度(15°～25°)	0.7(0.13～3.68)	－0.35	0.84	0.68	0.17
常 量		－0.33	0.04	＜0.01	60.79

3.3.1 *耕地减少的驱动力分析* 通过计算，耕地减少驱动力模型预测准确率达 75.9%，高—低指标为 7.067，显著性为 0.529，统计检验不显著，即模型拟合程度较好。通过 Waldχ^2 可以得出，宁夏沿黄生态经济带耕地减少的驱动因子影响效应从大到小分别为：距最近城市的距离＞沟渠密度＞距最近道路距离＞GDP 变化量＞城镇化率变化量＞人口密度变化量＞地均第三产业产值变化量＞高程＞距最近农村居民点的距离＞农村人均可支配收入变化量。

经济发展是耕地减少的重要原因。从回归结果

可以看出,GDP 变化量、城镇化率变化量、地均第三产业产值变化量、农村人均可支配收入变化量每增加一个单位,耕地减少的概率分别约增加 1.52,1.57,1.34倍和 1.11 倍。作为宁夏社会经济最发达、产业最为集中、城镇化率最高的区域,宁夏沿黄生态经济带“虹吸效应”明显,吸引了大量产业和人口的聚集,加剧了城市承载压力,势必导致城市扩张。而存量建设用地数量少、挖潜难度大、成本高,难以满足需求时,耕地资源不得不受到挤占。经统计 2010—2018 年,宁夏沿黄生态经济带新增建设用地 4.01×10^4 hm^2,占宁夏整体的 78%,可以从侧面反映出耕地的减少情况。

优越的区位条件增加了耕地减少概率,其中距离城市和道路的距离每近一个 1 个单位,耕地减少的概率将分别增加 3.03 倍(发生比率 OR=0.33),1.69 倍(OR=0.59)。城市和道路作为建设用地扩展的中心和极轴,其周边耕地有着优越的区位条件,同时相比农业生产,变为建设用地更能迅速带来的巨大经济收益,这些都吸引着耕地迅速向建设用地流转。值得注意的是,距离农村居民点近的耕地容易被占用,距离居民点每近1 个单位的距离,耕地减少的概率就增加 1.15 倍(OR=0.87)。

3.3.2　*耕地增加的驱动力分析*　通过计算,耕地增加驱动力模型预测准确率达 70.9%,高—低指标为 10.169,显著性为 0.253,模型拟合程度较好。通过 Waldχ^2 统计量可知,沟渠密度、高程、距最近农村居民点距离、距最近城市距离等自然资源因素是耕地增加的主要驱动因素,贡献力达 86.49%,其中沟渠密度和高程贡献最大,分别为 37.43%,24.47%。在高程低、灌溉条件好的区域,土壤、水分、养分流失量小,耕地开垦费用低,土地更加适宜耕作,因此耕地增加的概率大。距离最近居民点、城市的距离每远一个单位,耕地增加的概率分别增加 1.54,1.67 倍,主要是由于距离城市和道路近的区域能够开垦为耕地的后备资源本就寥寥无几,只能向远离城市和道路的边缘地区挖掘耕地潜力。

人口密度变化、农村人均可支配收入变化等社会经济因素对耕地增加贡献力为 13.51%。人口密度变化与耕地增加呈正比:①因为大量生态移民从宁南山区迁移到沿黄生态经济带的兴庆区、永宁县等地方,外来移民进入农村从事农业生产,为满足生产与生活的需求,他们会进行土地开发,促进整个地区耕地数量的增加;②外来人口涌入城市,会促进城市发展,由于城市的运作会消耗大量的资源,其中对于农产品的需求增加会间接引起耕地数量增加;③随着第三产业产值、农村人均可支配收入的变化值每增加一个单位,耕地增加的概率分别降低 47%(OR=0.68),56%(OR=0.64),主要是而随着农村人均可支配收入的提高,农民收入日益多元化,耕地收入占比不断下降,并且农业收入低、稳定性差,因此造成耕地非农化和非粮化(据宁夏第三次国土调查初步统计显示,研究区非粮化率高达约 25%)。

4　讨论与结论

本文以宁夏沿黄生态经济带 2010—2018 年耕地为研究对象,借助核密度分析、空间相关性分析等方法,摸清了研究区耕地分布特征及演变规律,并采用 Logistic 回归模型,揭示了耕地变化的驱动机制。

(1) 研究区耕地的空间分布呈正相性,且具有明显的差异性。高—高聚类区域,耕地密度以高、中高和中密度区为主,主要集中在平罗县、惠农区南部、贺兰县、永宁县、青铜峡东北部、利通区北部。低—低聚类区域,耕地密度以低、中低、中密度区为主,主要分布在灵武市东部、沙坡头区中西部等生态相对脆弱区。

(2) 耕地动态度变化有明显的空间聚类现象。耕地动态度与距离城市的距离成正比,与城市规模成反比,这与宁夏沿黄经济区城市带“一核、两轴、两翼”的发展规划(图 3)密切相关:①自 2010 年该规划实施以来,沿黄生态经济区地区生产总值(以 2010 年可比价为准)由 1.37×10^{11} 元增加至 2.81×10^{11} 元,年均增速为 13.25%,占全区的比重也由 82.81%上升至 86.67%,经济高速发展使城市建设用地沿“两轴”链式扩展,沿“一核、两翼”多中心辐射扩展,占用了大量耕地。同时,规模大的城市“虹吸效应”愈加明显,吸引了大量产业和人口聚集,加剧了城市承载压力,势必导致城市扩张占用耕地;②受占补平衡政策约束,建设占用耕地后只能向远离中心城区的城市边缘补充耕地,使城市边缘耕地大量增加,耕地动态度高。

(3) 耕地增加是自然资源禀赋、区位可达性及社会经济条件等综合作用下的区位与效益择优过程。一般来说,自然禀赋是耕地增加的根本制约因子,在高程低、坡度小、灌溉条件好的区域,土壤、水分、养分流失量小,耕地开垦费用低,土地更加适宜耕作,因此耕地增加的概率大。而距离城市、道路、居民点距离近,这些本该有利于耕地增加的区域,反而会因为区位可达性高、经济收益潜力大,非耕地会优先转变为建设用地以实现收益的快速变现,同时这些区域能够开垦为耕地的后备资源本就寥寥无几,只能向远离城市和道路的边缘地区挖掘耕地潜力。这种耕地的边缘化、集聚发展趋势,不仅减少了因人类剧烈活动使

土地生态环境破坏、灌溉水源和土壤被污染带来的隐形耕地数量减少，也能使大量零碎、分散的土地得到适当归并，继而提升耕地聚集程度，为后期加快农用土地向种田大户、家庭农场流转奠定基础。

(4) 耕地减少主要受社会经济因素影响较大，GDP，城镇化率，地均第三产业产值，农村人均可支配收入的增加都增大了耕地减少的概率。同时城市和道路作为建设用地扩展的中心和极轴，其周边耕地有着优越的区位条件，相比农业生产，变为建设用地更能迅速带来的巨大经济收益，这些都吸引着耕地迅速向建设用地流转。

(5) 距离农村居民点近的耕地更容易被占用。①由于土地产出效益低下，《土地管理法》宣传贯彻不到位，农民珍惜土地、节约用地意识淡薄；同时，乱占耕地违法成本低，在高额利益的驱使下，一些人会铤而走险占用耕地搞开发建设；②随着农村居民生活水平的提高，希望获取更大居住面积，同时，新增人口住房刚性需求加之老宅基地缺乏有效退出机制，以及部分市县多年未新批宅基地等一系列综合因素作用下，使农村居民点就近无序扩张，占用了耕地。“大棚房”“违建别墅”“农村乱耕耕地建房”等专项整治都很好地印证了这一点。因此要通过“疏、堵、促”结合的方式减少耕地的非农化。“疏”指通过统一规划、统一计划住宅用地，保障农民的合理住宅需求；“堵”指对于违法占用耕地的，要以“零容忍”态度进行处置，同时要借助遥感影像、人工智能、互联网＋等先进技术，将耕地占用情况能够发现在初始，解决在萌芽，严防增量；“促”指继续加大耕地保护宣传力度和农业种植补贴，提高农民保护耕地意识、调动农民种粮积极性。

本文采用的是土地利用现状变更调查数据，能够真实地反映实际用地情况，但也存在农用地、自然保留地内部转化，而未及时变更的问题。同时，耕地变化是一个复杂的过程，其变化不仅受到自然条件、人口变化、经济发展的影响，还受到土地政策制度、价值观念等难以量化因素的影响。因此，下一步研究应注重应用最新遥感影像解释作为补充资料，提高土地利用现状数据时效性、准确性；同时，要运用系统思维，深入探讨政策制度等难以量化的因素对耕地变化的作用机制。

[参 考 文 献]

[1] 俞奉庆，蔡运龙.耕地资源价值探讨[J].中国土地科学，2003，17(3)：3-9.

[2] 刘彦文，周霞，何宗宜，等.基于Logistic回归的耕地数量演变及其空间要素边际效应分析[J].农业工程学报，2020，36(11)：267-276.

[3] 袁晓妮，鲁春阳，吕开云，等.我国耕地非农化研究进展及展望[J].中国农业资源与区划，2019，40(1)：128-133.

[4] 刘纪远，匡文慧，张增祥，等.20世纪80年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J].地理学报，2014，69(1)：3-14.

[5] 耿艺伟，陈伟强，张峰，等.黄河中下游地区耕地轨迹演变及驱动机制研究：以河南省为例[J].农业资源与环境学报，2021，38(2)：294-258.

[6] 周晨晴，刘淑英，王平.基于GIS-Logistic耦合模型的广河县土地利用变化及其驱动因素分析[J].甘肃农业大学学报，2018，53(3)：118-125.

[7] 李帅，顾艳文，陈锦平，等.宁夏黄河流域土地利用时空变化特征分析[J].西南大学学报(自然科学版)，2016，38(4)：42-49.

[8] 陈正发，史东梅，何伟，等.1980—2015年云南坡耕地资源时空分布及演变特征分析[J].农业工程学报，2019，35(15)：256-265.

[9] 卞德鹏，常庆瑞，柳艺博，等.黄土丘陵沟壑区耕地数量动态变化及其驱动力分析：以吴起县为例[J].干旱地区农业研究，2009，27(3)：245-248.

[10] 姜楠，贾宝全，宋宜昊.基于Logistic回归模型的北京市耕地变化驱动力分析[J].干旱区研究，2017，34(6)：1402-1409.

[11] 陈伟.多视角常州市耕地景观时空变化分析[D].江苏南京：南京大学，2014.

[12] 尹言军，黄海涛，余咏胜，等.基于空间核密度分析的二手房交易热点变化研究：以武汉为例[J].测绘与空间地理信息，2020，43(9)：55-58.

[13] 蔡为民，肖婷，毕芳英，等.基于核密度估算的大都市耕地数量空间分布特征分析：以天津市为例[J].中国农业资源与区划，2019，40(1)：152-160.

[14] 张扬，周忠发，黄登红，等.喀斯特山区耕地时空演变与影响因子分析[J].农业工程学报，2020，36(22)：266-275.

[15] 谢花林.典型农牧交错区土地利用变化驱动力分析[J].农业工程学报，2008，24(10)：56-62.

[16] 吴振强，王杨，李卫.采用Logistic回归分析时需注意的问题[J].中国循环杂志，2014，29(3)：230-231.

[17] 马雄威.线性回归方程中多重共线性诊断方法及其实证分析[J].华中农业大学学报(社会科学版)，2008(2)：78-81，85.

[18] 徐嘉兴，李钢，陈国良.基于logistic回归模型的矿区土地利用演变驱动力分析[J].农业工程报，2012，28(20)：247-255.