

延安市 2000—2020 年耕地非农化 时空格局演变及其影响因素

李宏鹏¹, 田达睿¹, 谭静斌²

(1.西安建筑科技大学 建筑学院, 陕西 西安 710055; 2.长安大学 建筑学院, 陕西 西安 710061)

摘要: [目的] 分析陕西省延安市 2000—2020 年耕地非农化的时空变化特征与影响因素, 为该市耕地保护的政策制定与防止耕地非农化提供理论依据。[方法] 以延安市为研究对象, 基于 2000, 2005, 2010, 2020 年 4 期 LUCC 数据, 运用核密度估计、地理探测器等方法开展研究, 揭示黄土高原地区耕地非农化程度及其动因。[结果] ① 2000—2020 年, 延安市耕地非农化面积呈现出“增—减—增”的变化, 累计耕地非农化总面积为 7 865.28 hm², 耕地非农化率为 8.45%。② 2000—2020 年, 延安市耕地非农化主要沿洛河、延河的河谷川道分布, 集中发生于中部和南部, 核密度最大值为 155.03, 位于宝塔区延安新城附近; 耕地非农化的次集中区是黄陵县和洛川县, 核密度最大值分别是 75.95, 51.77。③ 延安市耕地非农化现象主要发生在坡度较低, 海拔中等, 地形位指数较低的地区。④ 延安市耕地非农化最主要的影响因素是城镇人口、户籍人口、地区生产总值, 其解释率分别为 68.65%, 68.45%, 66.54%。[结论] 延安市 2000—2020 年耕地非农化现象显著, 时间变化呈现波动性, 空间异质性较强, 是自然、人口、社会经济综合作用的结果。

关键词: 耕地非农化; 时空变化; 核密度分析; 地形梯度; 地理探测器; 延安市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)04-0330-08

中图分类号: F301.24

文献参数: 李宏鹏, 田达睿, 谭静斌. 延安市 2000—2020 年耕地非农化时空格局演变及其影响因素[J]. 水土保持通报, 2022, 42(4): 330-337. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.04.041; Li Hongpeng, Tian Darui, Tan Jingbin. Spatio-temporal pattern evolution and influencing factors of cultivated land non-agriculturalization in Yan'an City [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(4): 330-337.

Spatio-temporal Pattern Evolution and Influencing Factors of Cultivated Land Non-agriculturalization in Yan'an City

Li Hongpeng¹, Tian Darui¹, Tan Jingbin²

(1. School of Architecture, Xi'an University of Architectural Science and Technology, Xi'an, Shaanxi 710055, China; 2. School of Architecture, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: [Objective] The temporal and spatial variation characteristics and their the influencing factors of cultivated land conversion in Yan'an City from 2000 to 2020 were analyzed in order to provide a theoretical basis for policy-making regarding cultivated land protection and prevention of farmland conversion. [Methods] Land-use and land-cover change data for 2000, 2005, 2010, and 2020 were analyzed to reveal the degree and causes of non-agriculturalization in the Loess Plateau. The research was carried out by using the methods of kernel density estimation and geodetector. [Results] ① From 2000 to 2020, the non-agricultural area of cultivated land in Yan'an City changed following a pattern of increase-decrease-increase. The total non-agricultural area was 7 865.28 hectares, and the non-agricultural conversion rate of cultivated land was 8.45%. ② From 2000 to 2020, cultivated land conversion in Yan'an City was mainly located along the river valleys of the Luohe River and the Yanhe River. The non-agricultural conversion of cultivated land was concentrated in the central and southern regions, with a maximum kernel density of 155.03 located near Yan'an New City, Baota District. The sub-concentration areas of non-agricultural cultivated land were Huangling County and

收稿日期: 2022-02-28

修回日期: 2022-04-16

资助项目: 国家自然科学基金项目“基于三维人地耦合的陕北黄土高原丘陵沟壑区‘次沟’人居空间优化研究”(520784060); 国家自然科学基金项目(52178056); 中国博士后科学基金面上项目(2020M673358); 中央高校基本科研业务费专项资金(300102411101)

第一作者: 李宏鹏(1997—), 男(汉族), 黑龙江省黑河市人, 硕士研究生, 主要研究方向是黄土高原人居环境。Email: 1073996269@qq.com。

通讯作者: 谭静斌(1984—), 女(汉族), 湖南省衡阳市人, 讲师, 博士研究生, 主要从事人居环境可持续规划设计。Email: tanjingbin84@163.com。

Luochuan County, with maximum kernel densities of 75.95 and 51.77, respectively. ③ The phenomenon of non-agriculturalization of cultivated land in Yan'an City mainly occurred in areas with low slope, medium altitude, and low topographic index. ④ The most important factors affecting the conversion of cultivated land in Yan'an City were urban population, registered population, and gross domestic product, with explanation rates of 68.65%, 68.45%, and 66.54%, respectively. [Conclusion] The phenomenon of cultivated land conversion in Yan'an City from 2000 to 2020 was significant. The temporal changes were volatile, and the spatial heterogeneity was strong due to the comprehensive effects of nature, population, and social economy.

Keywords: non-agriculturalization of cultivated land; spatio-temporal changes; kernel density estimation; terrain gradient; geodetector; Yan'an City

耕地资源是保障人类生存和可持续发展的重要资源。但是随着我国经济发展和城镇化进程的加速,大量耕地资源被占用,耕地转化成非农建设用地的现象日益突出^[1]。2022年2月22日发布的中央一号文件《中共中央国务院关于做好2022年全面推进乡村振兴重点工作的意见》指出:“落实‘长牙齿’的耕地保护硬措施。实行耕地保护党政同责,严守18亿亩(1.20×10^7 hm²)耕地红线。加大耕地执法监督力度,严厉查处违法违规占用耕地从事非农建设^[2]。”表明了耕地保护的迫切性,研究耕地非农化对于保护有限的耕地资源、防止城镇无序蔓延有重要的意义。耕地非农化的本质是改变耕地的农业用途转化为非农建设用地的过程,即耕地的非农占用,它具有动态性、难逆转性、政策倾向性、阶段性和危害性等特征^[3]。目前,国内外针对耕地非农化的研究主要集中于非农化的驱动因素^[4-5]、非农化的政策^[6]、非农化过程的资源配置^[7-9]、非农化与经济的关系等^[10-11]方面。例如,苑韶峰等^[4]研究了耕地非农化的社会经济驱动因素,发现受到人口、富裕度产生的正效应和第三产业的比重高低影响,东部地区经济发达省市的耕地非农化程度相对较高,而中西部地区相对较低。郭晓炜等^[6]从新型农业经营主体视角下研究耕地保护,发现经济效益低、制度不健全、耕地保护意识不强等问题加剧了耕地非农化。诸培新等^[9]从经济学视角研究耕地资源非农化配置,发现耕地保护政策及相关政策宏观调控上的失误,会导致耕地的农业获利能力与非农化开发成本降低等问题。综合来看,我国耕地非农化研究内容较为丰富^[12],但对于黄土高原丘陵沟壑区的研究较少。同时,耕地非农化是城镇化过程中各种要素综合作用的结果,在时空上呈现出一个动态变化的过程^[13-15],因此研究耕地非农化需要以动态的视角聚焦城镇发展对土地利用的影响。

黄土高原丘陵沟壑区由于沟壑纵横、地形复杂,可用于耕作的平坦土地较少,耕地多分布于河谷平缓的阶地。丘陵沟壑区具有独特的气候、地貌与土壤条件,因此其耕地存在总体质量较差、中低产田面积较

大、坡耕地广布、耕地后备资源匮乏、开发难度大等问题。同时,由于城镇化的发展、特色果业的发展以及不合理的耕作制度,黄土高原丘陵沟壑区耕地面临着“非农化”“非粮化”“轮荒耕作”等威胁。根据《延安市土地利用总体规划(2006—2020年)调整完善方案》,2006—2014年全市新增建设占用耕地面积累计3757 hm²,实际新增建设占用耕地面积占新增建设占用面积的69.57%,耕地非农化形势严峻。为此,本文选取黄土高原典型城市陕西省延安市为研究对象,基于2000—2020年土地利用栅格数据及相关年份的社会经济统计数据,运用核密度分析、地形梯度分析、地理探测器等方法,分析延安市耕地非农化的时空格局演变特征及其影响因素,为延安市的耕地保护与耕地可持续利用的政策制定提供理论依据。

1 研究区概况

延安市位于陕西省北部,北纬 $35^{\circ}21'$ — $37^{\circ}31'$,东经 $107^{\circ}41'$ — $110^{\circ}31'$,总面积37037 km²。同时延安市位于黄河中游地区,主要河流有北洛河、延河、汾川河。地貌以黄土高原、丘陵为主,地势西北高东南低,平均海拔约为1200 m。北部为黄土丘陵沟壑区,占全市总面积的72%;南部北洛河沿岸是黄土塬沟壑区,占总面积的19%;西南、东南为土石山区,占总面积的9%。根据DEM数据,延安市大于 25° 的土地面积占区域面积的24.65%,地形起伏较大。基于延安市2000和2020年的LUCC数据,将延安市的土地分类分为耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用土地6类。延安市2000年的主要土地利用类型是草地、耕地、林地,面积分别为 1.59×10^6 , 1.18×10^6 , 9.05×10^5 hm²,所占比例分别为42.98%, 31.78%, 24.45%。延安市2020年的主要土地利用类型是草地、林地、耕地,面积分别为 1.75×10^6 , 9.78×10^5 , 9.3×10^5 hm²,所占比例分别为47.26%, 26.44%, 25.13%。2021年延安市下辖1个县级市,2个区,10个县。根据《延安统计年鉴》,自2000年以来,全市城镇人口增幅迅速,截至2020年全市城镇人口

总数达 140.08 万人,城镇化率为 61.37%。2020 年延安市粮食产量为 7.18×10^5 t,与 2000 年相比增加

5.21×10^4 t,地区生产总值(GDP)1 601.48 亿元。延安市概况如图 1 所示。

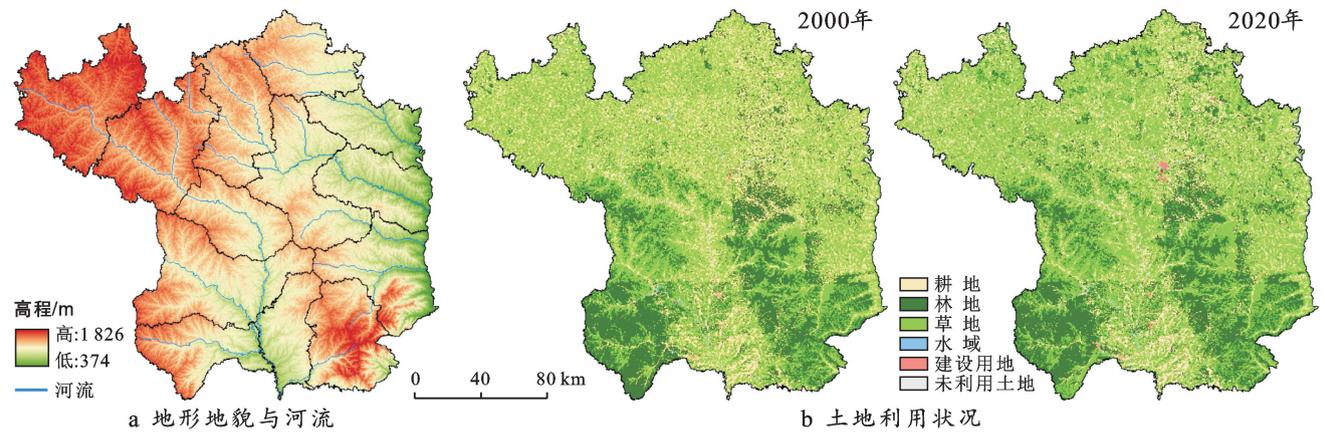


图 1 延安市地形地貌、河流及土地利用状况

2 数据与方法

2.1 数据来源

(1) 30 m 空间分辨率的 LUCC 数据。2000, 2005, 2010, 2015 和 2020 年 5 期 LUCC 数据来自于中国科学院资源环境数据云 (<http://www.resdc.cn>),用于提取非农化栅格数据。

(2) 30 m 空间分辨率的 DEM 数据。来源是地理空间数据云平台 (<http://www.gscloud.cn>),提取高程与坡度后用于分析延安市非农化耕地的地形梯度特征。

(3) 社会经济面板数据。延安市各县级行政区的社会经济和粮食产量等数据来源于各年份的《延安统计年鉴》。2020 年人口数据来源于第 7 次人口普查。由于 2000 年统计年鉴中常住人口缺失,因此在影响因素分析时使用的人口数据为户籍人口。

2.2 研究方法

2.2.1 非农化耕地的提取 根据耕地非农化的定义,用末年的建设用地与初年的耕地叠加,获取该时间段的耕地非农化 30 m 栅格。计算各时间段的非农化率,即非农化面积占初期耕地面积的比例,表达式为:

$$C_i = \frac{F_i}{S_i} \times 10000\% \quad (1)$$

式中: i 表示时间段; C_i 表示某时间段非农化率(%); F_i 表示某时间段非农化面积; S_i 表示某时间段初期耕地面积。

2.2.2 核密度估计法 核密度估计法主要是借助一个移动的单元格对点或线格局的密度进行估计,可有效捕捉到数据分布的客观实际,因而能较好地刻画空间分布特征。核密度估计可以分析耕地非农化的空

间聚集特征,了解具体的分布位置,最大的优势是对耕地非农化的可视化表达。数学表达式为:

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (2)$$

式中: n 为数据个数; h 为带宽; K 为核密度函数; $(x-x_i)$ 是估计点 x 到样本 x_i 的距离。其中带宽 h 的确定或选择对于计算结果影响很大,随着 h 的增加空间上点密度的变化更为光滑但会掩盖密度的结构; h 减小时,估计点密度变化突兀不平^[16]。先将延安市耕地非农化的栅格图像转为点,再将每个点的值均设为 1 进行核密度分析。分别对 $h=2000, 4000, 6000, 8000, 10000$ 进行试验,发现 $h=8000$ 时空间上点密度的变化较为平滑且密度的结构显示效果较好,确定采用 $h=8000$ 的带宽进行核密度估计,得到耕地非农化的分布密度。

2.2.3 地形梯度特征 地形是影响城市建设和农业生产的重要因素。在黄土高原丘陵沟壑区中,坡度和高程的影响程度更为明显。地形位指数综合了高程和坡度的特点,可以重新计算某一地区的地形分布特征^[17],弥补了单一海拔或高程对地形因素的影响特点分析的片面性。基于此选取海拔、坡度、地形位指数 3 个要素,求出各要素的值域后,分别划分为 15 个间隔相等的梯度,研究延安市耕地非农化空间分布的地形梯度特征。地形位指数的表达式为:

$$T = \lg \left[\left(\frac{E}{\bar{E}} + 1 \right) \times \left(\frac{S}{\bar{S}} + 1 \right) \right] \quad (3)$$

式中: T 为地形位指数; E, S 代表空间内任何一点的高程和坡度值; \bar{E}, \bar{S} 代表该点所在研究区的平均高程和坡度值。高程高、坡度大的空间位置地形位指数大,而高程低、坡度小的空间位置地形位指数小^[18]。

2.2.4 地理探测器 地理探测器是探测空间分异性,以及揭示其背后驱动力的一组统计学方法。其核心思想是如果某个自变量对某个因变量有重要影响,那么自变量和因变量的空间分布应该具有相似性。包括分异及因子探测、交互作用探测、风险区探测和生态探测4种。使用分异与因子探测器和交互作用探测器研究所选因子对耕地非农化影响程度的大小以及因子间的交互作用。

(1) 分异及因子探测器。研究某因子 X 多大程度上解释了耕地非农化 Y 的空间分异。用 q 值度量,计算表达式为:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (4)$$

式中: $h = 1, \dots, L$ 为变量 Y 或因子 X 的分层,即分类或分区; N_h, N 分别为层 h 和全区的单元数; σ_h^2, σ^2 分别是层 h 和全区的 Y 值的方差。 q 的值域为 $[0, 1]$, q 值越大表示自变量 X 对属性 Y 的解释力越强,反之则越弱, q 值可表示 X 解释了 $100 \times q\%$ 的 Y 。 q 值为 1 表明因子 X 完全控制了 Y 的空间分布, q 值为 0 则表明因子 X 与 Y 没有任何关系。

(2) 交互作用探测器。识别不同因子 X_i 之间的交互作用,即评估两个因子共同作用时是否会增加或减弱对因变量 Y 的解释力,或这些因子对 Y 的影响是相互独立的。方法是首先分别计算两种因子对 Y 的 q 值,并计算它们交互时的 q 值,对 $q(X_1), q(X_2)$ 与 $q(X_1 \cap X_2)$ 进行比较。两个因子之间的关系可分为双因子增强、独立、非线性增强、非线性减弱、单因子非线性减弱 5 类^[19]。

3 结果与分析

3.1 延安市耕地非农化的时空变化特征

3.1.1 延安市耕地非农化规模的总体变化特征 利用 ArcGIS 中的空间叠加分析工具计算出延安市在 2000—2005, 2005—2010, 2010—2015 年以及 2015—2020 年 4 个时间段内的耕地非农化面积及耕地非农化率,绘制延安市耕地非农化时间变化图(图 2)。由图 2 可知,延安市 2000—2020 年的耕地非农化面积与耕地非农化率的变化总体上趋势一致,均为波动上升状态,呈现“增—减—增”的变化趋势。2005—2010 年与 2015—2020 年两个时间段的变化最为剧烈且呈上升趋势,说明延安市在这两个时间段内大量耕地发生了非农化。其中耕地非农化面积与耕地非农化率最大值出现在 2005—2010 年,非农化面积为 4 152.96 hm^2 ,非农化率达到 3.80%,最小值出现在

2010—2015 年,非农化面积为 513.81 hm^2 ,非农化率为 0.54%。

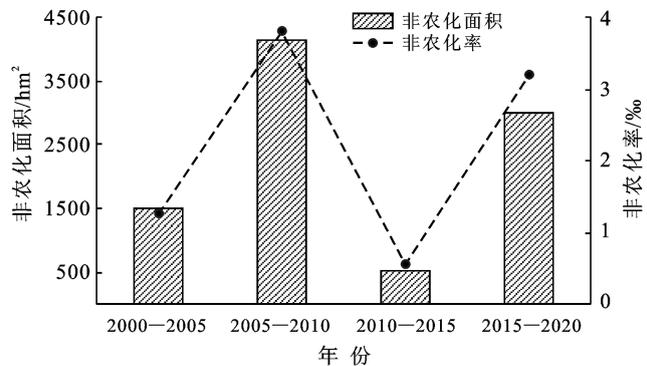


图 2 延安市耕地非农化的时间变化

3.1.2 各区县耕地非农化规模的变化特征 对延安市耕地非农化面积进行分区县统计得到各时间段延安市分区县的耕地非农化时间变化表(表 1)。由表 1 可知,总体来看,2000—2020 年延安市耕地非农化主要发生在经济快速发展、城镇化进程持续加快的地区。其中非农化面积最大的区县是宝塔区,面积达 2 860.29 hm^2 ,非农化面积最小的区县是黄龙县,面积为 71.01 hm^2 。非农化最为严重的 5 个区县分别是宝塔区、安塞区、富县、洛川县和黄陵县。从分区县角度来看,延安市耕地非农化具有明显的空间差异。除黄龙县外,2000—2020 年延安市各区县的耕地非农化依旧呈现“增—减—增”的趋势,其中宝塔区、洛川县、黄陵县、志丹县和吴起县变化较为明显。按非农化量峰值出现的时间段可将延安市 13 个区县分为 3 种类型。第一种为峰值出现在 2000—2005 年,其特征为“减—增—增”,仅有黄龙县属于这种类型。第二种为峰值出现在 2015—2020 年,其特征为“增—减—增”,且第二次增加大于第一次增加,有宝塔区和延川县。第三种为峰值出现在 2005—2010 年,其特征为“增—减—增”,但第二次增加小于第一次增加,与延安市整体非农化的趋势相同。除黄龙县、宝塔区和延长县,其余 10 个区县均属于这种类型。

3.1.3 延安市耕地非农化的核密度分析 以耕地非农化的面积为基础,生成 2000—2020 年耕地非农化变化量核密度分析图(图 3),分析 2000—2020 年耕地非农化的时空动态变化特征。总体来看,2000—2020 年延安市耕地非农化集中发生于中部和南部,核密度最大值是 155.03,位于宝塔区延安新城附近;耕地非农化的次集中区是黄陵县和洛川县,核密度最大值分别是 75.95, 51.77。2000—2005 年延安市耕地

非农化发生较少,主要集中于洛川县与黄陵县东部,2005—2010年延安市北部的宝塔区、吴起县、志丹县的县城周边也发生了较为明显的耕地非农化,洛川县与黄陵县的耕地非农化进一步加剧。2010—2015年延安市全域耕地非农化发生较少,但洛川县仍有较大面积发生耕地非农化现象。2015—2020年延安市再次发生较为严重的耕地非农化,主要集中于宝塔区、安塞区、洛川县、黄陵县东部以及延川县等县城附近。由图3可知,耕地非农化主要发生于地势较为平坦的河谷川道地区,以延河和洛河流域为主要集中地。延安市位于黄土高原中部,丘陵沟壑地貌复杂,地势平缓的河谷阶地往往是较好的农田区,但有限的建设用

地和快速城镇化需求导致城乡空间发展与田争地的矛盾突出,耕地大面积转为非农建设用地。此外,由于城镇化用地连续扩张和蔓延,城镇周边的农田耕地最容易被占用和侵蚀,各县级行政区的耕地非农化区域均明显分布于县城周边,表明耕地非农化与城镇化发展关系密切。结合延安市的地形地貌来看,延安市东南和西南分别有子午岭和黄龙山两座山脉,山地在中部面积所占比例较大。两座山之间的洛川县虽地形相对平坦,适宜发展种植业和建设城镇,但土地面积相对有限。另一方面,近年来洛川县大力发展延安山地苹果等特色果业,同样需要大量土地,因此南部耕地还面临着耕地“非粮化”这一威胁。

表 1 延安市分区县耕地非农化的时间变化

行政区	耕地非农化面积/hm ²				
	2000—2005年	2005—2010年	2010—2015年	2015—2020年	2000—2020年
宝塔区	172.44	1 033.29	20.43	1 592.73	2 860.29
安塞区	107.46	229.41	9.09	142.47	465.66
延长县	0.18	35.37	1.08	48.69	78.48
延川县	80.01	135.99	3.42	113.22	215.28
志丹县	10.08	227.43	2.61	21.96	89.64
吴起县	22.77	308.88	21.69	52.56	328.77
甘泉县	51.84	159.30	16.02	47.88	225.54
富县	128.43	230.85	37.62	68.94	399.15
洛川县	487.71	584.73	283.50	469.53	1 311.21
宜川县	72.18	150.84	8.73	12.24	216.18
黄龙县	45.81	3.15	9.27	25.29	71.01
黄陵县	286.83	977.04	57.15	379.44	1 499.85
子长市	22.41	76.68	41.67	37.53	104.22
总计	1 488.24	4 152.96	513.81	3 012.48	7 865.28

3.2 耕地非农化的地形梯度特征

选取海拔、坡度、地形位指数 3 个指标研究延安市耕地非农化的地形梯度效应。经计算,延安市耕地非农化区域的海拔高度的范围是 609~1 670 m,坡度的范围是 0°~55.50°,地形位指数的范围是 0.200~0.916。结合延安市实际,确定按间隔相等原则将 3 项指标划分为 15 个梯度,间隔分别为 70.74 m, 3.7°, 0.047 8,并分为低(1~5)、中(6~10)、高(11~15)这 3 个区段。以梯度为横轴,各梯度面积占总面积的比率为纵轴,绘制延安市耕地非农化地形梯度效应图(图 4)。由图 4 可知,延安市耕地非农化 5 个时间段坡度的分布特征一致性很高,均分布在坡度较低的部分。集中分布在第 2~3(3.70°~11.10°)梯度,峰值均出现在第 2(3.70°~7.40°)梯度,其中最大值出现于 2000—2005 年,所占比例为 34.05%。黄土高原丘陵沟壑区地形复杂,沟壑纵横,低坡度土地面积所占比例相对较小。而平坦的土地同时适宜发展种植业和

城市建设,导致这些地区的耕地与建设用地的土地利用冲突激烈,耕地非农化发生较多。海拔的分布特征一致性一般,集中分布于第 5~9(891.96~1 245.66 m)梯度,峰值集中出现于第 8~9(1 104.18~1 210.29 m)梯度,其中最大值出现于 2015—2020 年的第 8(1 139.55~1 174.92 m)梯度,所占比例为 28.96%。表明延安市 2000—2020 年耕地非农化主要发生于海拔中等的地段,高海拔或低海拔地区较少出现耕地非农化。地形位指数的分布特征一致性较高,集中分布于第 3~5(0.295 6~0.439 0)梯度,峰值集中呈现于第 4~5(0.343 4~0.439 0)梯度,其中最大值出现在 2010—2015 年,所占比例为 22.93%。可见,延安市耕地非农化总体上集中于地形位指数较低的梯度区间,但更低的地形位指数地区,即河流及其滩涂地区,虽然坡度较小,但由于土壤、地质条件和生态保护等原因,不适宜发展农业和建设城镇,因此也未出现大面积的耕地非农化。

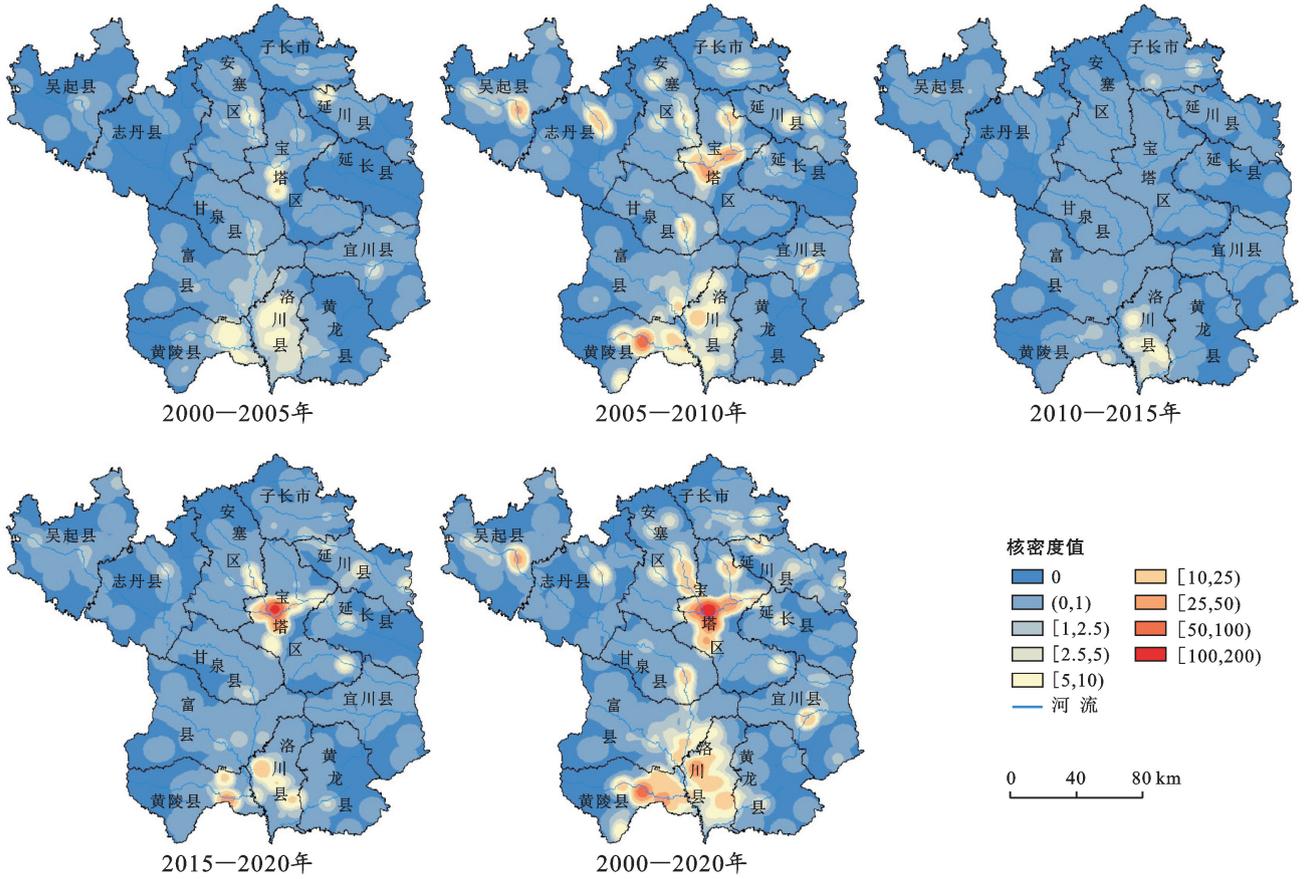


图 3 延安市耕地非农化核密度分析

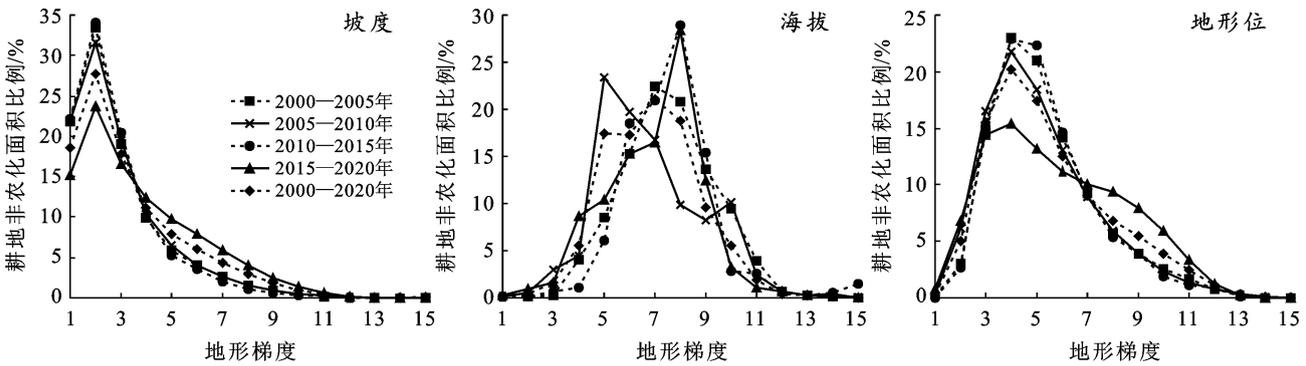


图 4 延安市耕地非农化地形梯度分布

3.3 延安市耕地非农化的影响因素

3.3.1 分异与因子探测器结果与分析 耕地非农化受地形,尤其是坡度的影响很强。但究其根本,耕地非农化是一种土地利用现象,是城市发展与粮食生产之间的冲突。因此,研究进一步从社会经济角度出发分析耕地非农化的主要影响因素。参考前人^[20-22]研究成果,结合数据的可获取性,选取户籍人口(X_1)、城镇人口(X_2)、地区生产总值(X_3)、人均生产总值(X_4)、农林渔牧业增加值(X_5)、工业总产值(现价)(X_6)、财政收入(X_7)、财政支出(X_8)、粮食产量(X_9)

共 9 个影响因素,计算各影响因素的变化量,以自然断点法将数据离散化为 3 层,运用地理探测器的分异及因子探测器研究其对延安市耕地非农化的影响,计算出相应的 q 值,结果详见表 2。根据表 2 可知,延安市耕地非农化最主要影响因素为户籍人口、城镇人口和地区生产总值,解释率分别为 68.64%、68.45%、66.54%,表明耕地非农化与经济增长和人口城镇化具有很高的相关性。人口是城镇化的主要动力,人口城镇化是衡量一个地区城镇化水平的重要指标。在城镇化与经济增长的过程中,一方面,人口是劳动力,

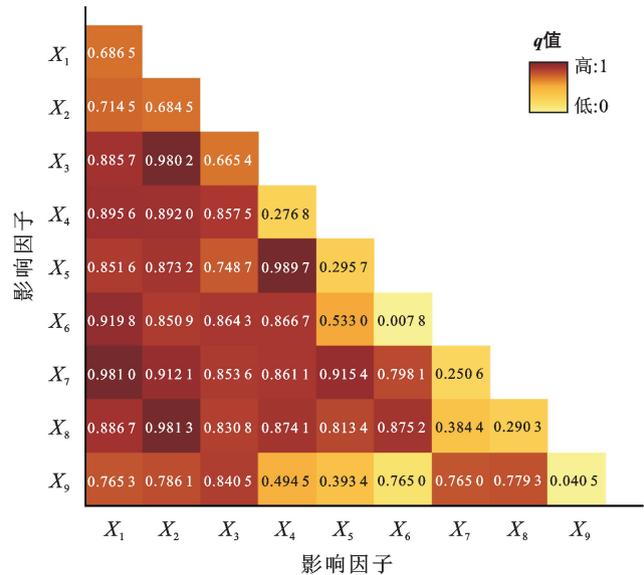
人口的增长带来的是劳动力的增长,进而推动经济增长。另一方面,人口也是城市物质产品的需求者与消费者,人口的增长势必导致建设用地需求量上升,对耕地保护形成潜在威胁。从经济角度看,当经济发展到了一定的水平,产业结构转型,反映到土地上就是土地结构的转变。此外,延安市因为其特殊的自然禀赋,煤炭与油气资源丰富,耕地还面临着采矿用地这一特殊类型非农化的威胁。综合来看,人口是延安市 2000—2020 年耕地非农化的内生驱动因素,而经济与产业是直接驱动因素。自然、人口、经济三者综合作用,形成了延安市耕地非农化的基本格局。

表 2 延安市耕地非农化的分异及因子探测器结果

编号	因子名称	q 值
X_1	户籍人口	0.686 4
X_2	城镇人口	0.684 5
X_3	地区生产总值	0.665 4
X_4	人均生产总值	0.276 8
X_5	农林渔牧业增加值	0.295 6
X_6	工业总产值(现价)	0.007 8
X_7	财政收入	0.250 6
X_8	财政支出	0.290 3
X_9	粮食产量	0.040 5

3.3.2 交互作用探测器结果与分析 基于交互作用探测器,研究因子两两交互作用对耕地非农化影响的类型与大小。结果显示,户籍人口与财政支出、户籍人口与工业总产值(现价)、城镇人口与地区生产总值、城镇人口与财政收入、城镇人口与财政支出、人均生产总值与农林渔牧业增加值、农林渔牧业增加值与财政收入的交互作用类型为双因子增强,其余因子之间的相互作用类型为非线性增强。表明上述因子两两交互作用时对耕地非农化的影响高于任一单因子作用时的影响;且其他因子交互作用的 q 值大于两因子 q 值之和。可见,各因子对耕地非农化的作用都不是独立的,存在两两交互作用增强的情况。根据交互作用的 q 值,绘制延安市耕地非农化影响因素交互探测结果图(图 5)。交互探测结果对分异与因子探测结果做了进一步补充。其中,户籍人口和城镇人口与其他各因子均有较强的交互作用,说明人口城镇化引起了居民对住房、公共服务设施和重大基础设施等的需求增加,建设用地随之发生扩张,加剧了耕地非农化。地区生产总值和人均生产总值与其他因子交互作用也很强。此外,其余单因子解释力较弱的因子与其他因子交互产生了明显的木桶效应。其中交互作用最强的人均生产总值与农林渔牧增加值,交互 q 值

为 0.989 7,从侧面说明,随着科技与生产力的进步,农业生产效率提高,同等面积的土地与过去相比能产生更多的物质产品与经济效益,客观上为耕地非农化提供了有利条件。再如,单因子工业生产总值(现价)解释力最弱,但工业生产总值(现价)与户籍人口的交互作用很强,交互 q 值为 0.919 8,说明人口与产业的协同效应对耕地非农化也有很强的影响。



注: X_1 为户籍人口; X_2 为城镇人口; X_3 为地区生产总值; X_4 为人均生产总值; X_5 为农林渔牧业增加值; X_6 为工业总产值(现价); X_7 为财政收入; X_8 为财政支出; X_9 为粮食产量。

图 5 延安市耕地非农化影响因素交互探测结果

4 讨论与结论

4.1 讨论

2000 年以来,随着全国各地的快速城镇化,耕地非农化现象较为突出。有学者针对该问题进行了讨论,如李丹等^[14]发现不同时期不同等级城市的耕地非农化分布特征不同,在空间扩散路径上呈现出随时间变化的规律;叶宇航^[3]从城镇化、经济和人口的视角总结了我国耕地非农化的主要驱动因素。本文从时、空间视角进一步分析了延安市耕地非农化的空间分布演化特征,并验证了黄土高原丘陵沟壑区河谷地貌、经济、人口等对当地耕地非农化的影响。延安市的耕地非农化现象是黄土高原地区的一个缩影,当前黄土高原地区仍有大量城镇区县具有较大的经济发展潜力和城镇化动力,耕地非农化的风险仍然较大,必须采取严格的耕地保护措施。此外,除了耕地的非农化,耕地非粮化也是耕地保护的另—潜在威胁。在耕地保护工作中,不仅要协调好耕地与城市建设的关系,也应该重视耕地保护与特色林果业的关系,有序引导林果上山,不与粮争地。此外,耕地非农化受到

多元因素的综合影响。研究选取了社会、经济等方面的可量化因子,在一定程度上揭示了城镇化、产业发展等与耕地非农化的相互关系。但需要说明的是,耕地非农化不仅仅受这些可量化因素的影响,更受到诸如政策、监管力度等难以量化因素的影响,这些因素独立于人口、经济与产业等客观条件,但影响效果明显。在耕地保护政策执行力度大的地区,耕地非农化发生率也会降低。以全国八大防护林区之一的黄龙县为例,由于黄龙山占据全县主体、山地广布,21 世纪初黄龙县在种植业方面大多延续传统的轮作耕作制度,坡地种植、轮作抛荒问题突出,随着退耕还林工程与生态文明建设的推进,生态保护红线内的耕地和 25° 以上的坡耕地均恢复为林地。这些政策的推进对控制耕地非农化起到了积极作用。最后,对耕地非农化的统计存在一定的时间尺度效应,即选取不同的时间间隔,统计结果会有差异。例如,2000—2010 年由于退耕还林工程,五年内耕地可能先退耕为林地,再转为建设用地,这种情况不能称之为“耕地非农化”,可能引起数据异常。针对这一问题,本文在识别耕地非农化的过程中,通过遥感影像复核校验了样本的实际变更情况,确保对耕地非农化识别的准确性。此外,较大的时间尺度可能会导致耕地非农化面积波动较大、变化不平滑,不利于进一步分析。因此在研究中,应该尽可能选取较小的时间间隔进行监测,才能更准确地掌握其动态变化。

4.2 结论

(1) 延安市 2000—2020 年耕地非农化现象显著,时间变化呈现波动性。2000—2020 年,延安市耕地非农化面积呈现出“增—减—增”的变化,累计非农化总面积为 7 865.28 hm²,耕地非农化率为 8.45%。城乡空间发展与农田保护的矛盾较为突出,大量耕地被占用,耕地非农化现象不断加剧。

(2) 延安市 2000—2020 年耕地非农化的空间异质性较强,沿河流聚集分布明显。耕地非农化集中在中部的宝塔区和南部的洛川县、黄陵县等城镇化较快的地区,主要沿洛河、延河流域的河谷川道分布。

(3) 延安市耕地非农化的分布受地形影响明显,主要发生在坡度较低、海拔中等、地形位指数较低的地区。在黄土高原丘陵沟壑区,城镇建设用地与耕地对河谷平缓阶地的依赖性都很高,尽管二者对稀缺土地的需求都很高,但耕地是国家粮食安全的重要保障,且在地形位置较高的丘陵坡地较难开垦良田,所以应首先严格保护农田,防止耕地非农化,而城镇发展在控制其沿川道无序蔓延的前提下,可引导城乡空间向川道两侧的沟谷和浅山坡地上发展。

(4) 经济发展带来的人口与建设用地需求的增長是延安市耕地非农化的主要驱动力。地理探测器结果显示最主要的影响因素为户籍人口、城镇人口、地区生产总值,解释率分别为 68.65%,68.45%,66.54%。延安市耕地非农化的主要形式包括占用耕地建房、重大工程建设、采矿及其相关工业的占用等。另外,在双因子交互作用下,农业生产效率的提高、人口与产业的协同发展等也为耕地非农化提供了一些条件。因此,在黄土高原城乡发展的过程中要协调好耕地保护与经济发展的关系,维护耕地数量和质量对人类可持续发展与生存具有重要意义。

[参 考 文 献]

- [1] 崔许锋,马云梦,张光宏.基于模型集成的中国耕地非农化影响因素及其时空特征研究[J].中国农业科学,2018,51(22):4316-4327.
- [2] 国务院·中共中央国务院关于做好 2022 年全面推进乡村振兴重点工作的意见[EB].(2022-02-22)[2022-03-13]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2020-09/15/content_5543645.htm.
- [3] 叶宇航.我国耕地非农化的驱动因素研究[J].科学决策,2015(9):33-50.
- [4] 苑韶峰,杨丽霞,杨桂山,等.耕地非农化的社会经济驱动因素异质性研究:基于 STIRPAT 和 GWR 模型的实证分析[J].经济地理,2013,33(5):137-143.
- [5] 谭永忠,吴次芳,牟永铭.20 世纪 90 年代浙江省耕地非农化过程分析[J].地理科学,2004,24(1):14-19.
- [6] 郭晓炜,康涌泉.新型农业经营主体视角下耕地保护问题研究[J].农业与技术,2021,41(18):152-155.
- [7] 任平,吴涛,周介铭.耕地非农化的空间过程与扩散路径研究:以成都市龙泉驿区为例[J].中国土地学,2015,29(12):68-73,94.
- [8] Mark W S, Richard G K, Alun E J. Agricultural land protection in China: A case study of local governance in Zhejiang Province [J]. Land Use Policy, 2001, 18(2): 329-340.
- [9] 诸培新,曲福田.耕地资源非农化配置的经济学分析[J].中国土地科学,2002,16(5):14-17.
- [10] 王荧.运用可交易耕地发展权优化耕地非农化配置分析[J].福建农林大学学报(哲学社会科学版),2012,15(2):25-30.
- [11] Zhai G F, Ikeda S. An empirical model of land use change in China [J]. Reviews of Urban & Regional Development Studies, 2000,12(1):36-53.
- [12] 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.

- [16] 朱会义,孙明慧.土地利用集约化研究的回顾与未来工作重点[J].地理学报,2014,69(9):1346-1357.
- [17] 曾杰,姚小微.武汉城市圈耕地集约利用时空分异特征[J].农业工程学报,2013,29(19):215-223.
- [18] 刘新卫,张丽君,李茂.中国土地资源集约利用研究[M].北京:地质出版社,2006:75-90.
- [19] 王宁,杨光,韩雪莹,等.内蒙古 1990—2018 年土地利用变化及生态系统服务价值[J].水土保持学报,2020,34(5):244-250.
- [20] 李明轩,孙欢.内蒙古东西部区域差异性分析[J].财经界,2014(12):14-15.
- [21] 赵志荣,许端阳,张绪教,等.2000—2015 年内蒙古地区土地沙漠化脆弱性评估[J].水土保持研究,2020,27(1):168-175.
- [22] 王建庆,冯秀丽,李加林,等.浙江省耕地利用集约度时空变化及其影响因素[J].水土保持通报,2014,34(6):270-276.
- [23] 邓楚雄,谢炳庚,李晓青,等.长沙市耕地集约利用时空变化分析[J].农业工程学报,2012,28(1):230-237.
- [24] Chen Shiyin, Ma Zhiyu. Temporal and spatial characteristics and optimization of the intensive use of cultivated land in Maoming City [J]. Journal of Resources and Ecology, 2020,11(6):598-605.
- [25] 张荣天,陆建飞.长江经济带耕地集约利用多尺度时空特征与影响因素分析[J].农业工程学报,2019,35(24):271-278.
- [26] 井睿,张蚌蚌,赵敏娟,等.近 35 年中国耕地集约度时空变化特征分析[J].水土保持研究,2019,26(5):353-358.
- [27] 荆延德,张全景,吕晓,等.山东省西部经济隆起带耕地集约利用评价与空间分异研究[J].水土保持通报,2015,35(6):260-266.
- [28] 杨晓辉,杜荣,秦瑞敏,等.基于主成分分析的山西省集中连片特困区农业经济发展评价[J].农学学报,2021,11(8):116-124.
- [29] 李靖华,郭耀煌.主成分分析用于多指标评价的方法研究:主成分评价[J].管理工程学报,2002,16(1):39-43.
- [30] 余建英,何旭宏.数据统计分析与 SPSS 应用[M].北京:人民邮电出版社,2003.
- [31] 曹银贵,周伟,王静,等.基于主成分分析与层次分析的三峡库区耕地集约利用对比[J].农业工程学报,2010,26(4):291-296.
- [32] 杜国明,刘彦随.黑龙江省耕地集约利用评价及分区研究[J].资源科学,2013,35(3):554-560.
- [33] 吴郁玲,顾湘,周勇.农户视角下湖北省耕地集约利用影响因素分析[J].中国土地科学,2012,26(2):50-55.
- [34] 张蚌蚌,郭芬,黄丹,等.陕北“一户一田”和“一组一田”耕地细碎化整治模式与绩效评价[J].农业工程学报,2020,36(15):28-36.
- [35] 马成杰,高尚华,敖其尔巴图.大力发展农牧业产业化绘制社会主义新农村新牧区蓝图:认真贯彻《中共中央关于推进农村改革发展若干重大问题的决定》[J].内蒙古草业,2008,20(4):5-7.
- [36] 陈水生.土地流转的政策绩效和影响因素分析:基于东中西部三地的比较研究[J].社会科学,2011(5):48-56.
- [37] 刘玉,郝星耀,潘瑜春,等.河南省耕地集约利用时空分异及分区研究[J].地理科学,2014,34(10):1218-1225.

(上接第 337 页)

- [13] 张孝宇,谢新朋,张安录.武汉市耕地非农化的空间非均衡发展及空间扩散路径分析[J].自然资源学报,2014,29(10):1649-1659.
- [14] 李丹,曲建光,王帅.黑龙江省耕地非农化的空间格局与重心曲线分析[J].测绘科学,2021,46(2):171-177.
- [15] 马才学,温槟荧,柯新利.基于 SOM 神经网络模型的耕地非农化压力区域差异研究:以湖北省为例[J].华中农业大学学报(社会科学版),2017(04):109-117,150. DOI:10.13300/j.cnki.hnwkxb.2017.04.015.
- [16] 王远飞,何洪林.空间数据分析方法[M].北京:科学出版社 2007:66-71.
- [17] 武爱彬,秦彦杰,赵艳霞.地形综合指数及其在土地利用地形梯度效应分析中的应用:以太行山浅山丘陵区为例[J].地理与地理信息科学,2018,34(6):93-99,118.
- [18] 巩杰,高彦净,张玲玲,等.基于地形梯度的景观生态风险空间分析:以甘肃省白龙江流域为例[J].兰州大学学报(自然科学版),2014,50(5):692-698.
- [19] 王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J].地理学报,2017,72(1):116-134.
- [20] 任平,吴涛,周介铭.耕地非农化的空间过程与扩散路径研究:以成都市龙泉驿区为例[J].中国土地科学,2015,29(12):68-73,94.
- [21] 郇红艳,孙君.中部地区耕地非农化及其驱动因子的灰色关联分析:以安徽省阜阳市为例[J].水土保持通报,2012,32(1):82-88.
- [22] 张孝宇,赖宗裕,张安录.基于地块尺度的耕地非农化驱动力空间异质性研究:以武汉市为例[J].长江流域资源与环境,2015,24(6):994-1002.