

基于 CA-Markov 模型的宁夏沿黄生态经济带 土地利用变化及模拟研究

冯丽媛¹, 米文宝², 马国庆¹

(1. 宁夏土地勘测规划院 宁夏 银川 750002; 2. 宁夏大学 资源环境学院, 宁夏 银川 750021)

摘要: [目的] 研究宁夏沿黄生态经济带 2009—2017 年土地利用变化特点, 并模拟 2025 年土地利用空间格局, 为宁夏沿黄生态经济带土地开发、利用与保护提供引导, 为国土空间规划编制提供参考。[方法] 基于时间尺度和空间尺度, 对宁夏沿黄生态经济带 2009—2017 年各类用地变化情况进行了分析, 计算得出了各类用地转移概率矩阵, 并基于 CA-Markov 模型, 对自然发展情景、土地规划情景、耕地和生态保护情景下宁夏沿黄生态经济带 2025 年土地利用格局进行了模拟研究。[结果] 2009—2017 年, 宁夏沿黄生态经济带土地利用整体呈现出耕地、其他农用地及各类建设用地不断增加, 园地、林地、草地、水域及自然保留地均有所减少的特点; 除水域、其他建设用地外, 其他各类用地转为城乡建设用地概率普遍较高, 特别是耕地转为城乡建设用地概率最高, 达到 10.65%。[结论] 在自然发展、土地规划、耕地和环境保护 3 种情景下, 宁夏沿黄生态经济带 2025 年土地利用结构仍然以牧草地、耕地、自然保留地为主, 但随着城镇化进程加快和基础设施持续完善, 城乡建设用地和交通水利用地增加幅度较大。

关键词: CA-Markov 模型; 转移概率矩阵; 宁夏沿黄生态经济带

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2019)05-0218-05

中图分类号: F301.2

文献参数: 冯丽媛, 米文宝, 马国庆. 基于 CA-Markov 模型的宁夏沿黄生态经济带土地利用变化及模拟研究[J]. 水土保持通报, 2019, 39(5): 218-222. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2019.05.030; Feng Liyuan, Mi Wenbao, Ma Guoqing. A study of land use change and simulation of a Ningxia eco-economic belt along Yellow River based on CA-Markov model[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(5): 218-222.

A Study of Land Use Change and Simulation of a Ningxia Eco-economic Belt Along Yellow River Based on CA-Markov Model

Feng Liyuan¹, Mi Wenbao², Ma Guoqing¹

(1. Ningxia Land Survey and Planning Institute, Yinchuan, Ningxia 750002, China;

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

Abstract: [Objective] The characteristics of land use change from 2009 to 2017 were analyzed, and the spatial pattern of land use in 2025 of Ningxia eco-economic belt along the Yellow River was simulated in order to provide guidance for land development, utilization and protection of the studied area, and to provide reference for the preparation of land space planning. [Methods] Based on the time scale and spatial scale, this study analyzed the changes in land use from 2009 to 2017, calculated the probability matrix for land transfer, and used the CA-Markov model to simulate the land use pattern in 2025 of Ningxia eco-economic belt along the Yellow River based on natural development, land planning, cultivated land and ecological protection scenarios. [Results] All kinds of construction and the cultivated land and other agricultural land exhibited a continuous increase in the Ningxia eco-economic belt along the Yellow River from 2009 to 2017, meanwhile, the garden land, forest land, grassland, water area, natural reservations were reduced. Except for water area and other construction land, the conversion probability of other types of land to urban and rural construction land were

收稿日期: 2019-04-11

修回日期: 2019-05-08

资助项目: 宁夏自然科学基金项目“宁夏限制开发区生态区土地结构优化研究”(NZ16013); 宁夏青年人才托举工程项目

第一作者: 冯丽媛(1988—), 女(汉族), 宁夏回族自治区吴忠市人, 硕士研究生, 研究方向为土地规划与土地利用。E-mail: shuizuodehua@163.com.

generally higher, especially the conversion probability of cultivated land to urban and rural construction land was the highest, reaching 10.65%. [Conclusion] Based on the three scenarios, the land use structure of the Ningxia eco-economic belt along the Yellow River in 2025 is still dominated by grassland, arable land and natural reservations. However, with the acceleration of urbanization and the continuous improvement of infrastructure, the increase in the land used for urban and rural construction, transportation and irrigation works is much more.

Keywords: CA-Markov model; the probability matrix of land transfer; Ningxia eco-economic belt along the Yellow River

土地作为人类活动与自然环境相互作用的纽带,是人类生产生活的空间载体和社会经济发展的重要保障,其开发利用受自然、经济、政策等因素综合影响。自改革开放以来,土地资源有力保障了社会经济的快速发展,促进了农业现代化、工业化和城镇化的快速推进,同时土地利用覆被特征也出现明显变化,进而影响区域国土空间格局优化、生态环境保护和经济社会可持续发展。特别是近年来随着生态文明战略的深入推进,国家对国土开发利用保护提出了更高要求,提出节约优先、保护优先和自然恢复为主的方针,重点解决国土无序开发等问题,构建有序、高效、可持续的国土空间开发格局,未来将对土地利用变化产生新的影响。因此,开展土地利用变化和模拟,有助于揭示人类社会经济活动规律,对引导地区合理开发利用保护土地和国土空间格局优化具有重要意义。自 1995 年“国际地圈与生物圈计划(IGBP)”和“全球变化的人文因素计划(IHDP)”联合制订“土地利用与土地覆被变化”研究计划以来,土地利用变化研究成为各界专家研究的重点及热点问题。在研究尺度方面,形成了宏观、中观和微观尺度等一系列研究成果,其中刘纪远等^[1]对中国 2010—2015 年土地利用变化的时空格局变化进行了研究;杨浩等^[2]对京津冀城市群土地利用变化对热环境的影响情况进行了研究;李丹等^[3]对绥芬河市土地利用变化的时空格局进行了研究。在研究内容方面,主要有土地利用变化时空特征、空间模拟、驱动力以及对生态环境影响等研究,如柯新利等^[4]对 1990 年以来武汉城市圈土地利用变化时空特征进行了研究;邓华等^[5]对三峡库区土地利用未来情景进行了模拟;郭燕燕^[6]对深圳市土地利用变化情况进行了模拟研究;史培军等^[7]对影响深圳市土地利用变化的驱动力进行了研究;于森等^[8]对江苏省沿海地区土地利用变化产生的生态效应进行了研究。在研究方法方面,主要有 CLUE-S^[9]、CA-Markov^[10]、Logistic-Markov^[11]、土地利用动态度^[8,4,12]等方法。总体来看,之前的研究成果对自然、区位等驱动因素考虑的较多,但对政策方面的驱动因素如禁止建设区、永久基本农田等研究较少。

宁夏沿黄生态经济带作为宁夏全域经济社会发展的增长极,人口、产业和资本要素高度集聚,城镇建设和产业发展势头强劲,是国家重点开发区之一;同时,宁夏沿黄生态经济带基本农田集中连片分布,河流、湖泊等水域规模较大,是国家农产品主产区和平原绿洲生态带,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、生态环境保护之间的矛盾更为突出,有序开发利用自然资源对实现宁夏沿黄生态经济带可持续发展具有重要意义。因此,本研究运用 Markov 方法对宁夏沿黄生态经济带土地利用变化情况进行了分析,并基于 CA-Markov 方法,对自然发展情景、土地规划情景、耕地和环境保护情景下的 2025 年土地利用格局进行了模拟,以期将来为国土空间规划编制、优化国土空间格局和自然资源配置提供重要参考。

1 研究区概况

自 20 世纪 90 年代宁夏提出“黄河经济”战略以来,逐步整合资源、优化生产力布局,逐步形成分工合理、产业配套、密切协作、竞争有序的产业集群,经济实力强劲,带动了宁夏经济社会整体快速发展,并跃升为国务院确定的 18 个国家重点开发区之一。2017 年,宁夏第十二次党代会将生态文明建设思想融入沿黄经济带建设,正式提出要打造“宁夏沿黄生态经济带”。宁夏沿黄生态经济带共涉及 13 个县(市、区),分别为银川市 5 个县(市、区)、石嘴山市 3 个县(市、区)、吴忠市利通区和青铜峡市、中卫市沙坡头区和中宁县,用地总面积 226.92 km²,其中建设用地 19.78 km²,占宁夏建设用地面积的 61.03%。截止 2017 年底,宁夏沿黄生态经济带实现地区生产总值 3.00×10¹¹ 元,占宁夏整体 87.12%;固定资产投资 2.88×10¹¹ 元,占宁夏整体 75.59%;常住人口 4.50×10⁶ 人,城镇人口 3.95×10⁶ 人,城镇化率达到 69.39%。

2 数据来源和方法

2.1 数据来源及处理

2.1.1 数据来源 本文采用的 2009 年、2017 年土

地利用现状地类来源于宁夏各县(市、区)土地利用现状变更调查成果;2020 年土地利用规划地类、禁止建设区、永久基本农田保护数据来源于各县(市、区)土地利用总体规划调整完善成果(2016 年版);坡度和高程来源于地理空间数据云,分辨率为 30 m。

2.1.2 数据预处理 首先,运用 ArcGIS 软件的空间分析功能,提取研究区坡度和高程;其次,对 2009 年、2017 年土地利用现状数据,2020 年土地规划数据及其他矢量数据进行栅格化处理,转化为 30 m×30 m 的栅格数据。

2.2 研究方法

CA-Markov 模型综合了 Markov 模型时间序列预测和 CA 模型空间分布模拟的优势,可以较好的对土地利用变化数量、空间格局进行模拟^[13]。本文基于 2017 年土地利用现状情况,采用 CA-Markov 模型,分别基于自然发展情景、土地规划情景、耕地和环境保护情景,对 2025 年宁夏沿黄生态经济带土地利用状况进行了模拟。具体步骤如下:

(1) 转换规则。运用 Markov 模型,将时间周期设置为 8 a,比例误差设置为 0.15,分别得到了宁夏沿黄生态经济带 2009—2017 年和 2009—2020 年土地利用转移面积矩阵和转移概率矩阵。

(2) 制作适宜性图集。在自然发展情景下,以 2009—2017 年土地转移面积矩阵作为适宜性图集进行了模拟;在土地规划情景下,以 2009—2020 年土地利用转移面积矩阵作为适宜性图集进行了模拟;在耕地和环境保护情景下,综合考虑了耕地、生态环境保护等因素,并结合宁夏沿黄生态经济带发展实际,将水域、建设用地、永久基本农田、禁止建设区作为限制因子,将坡度和高程作为限制条件,制作了适宜性图集。

(3) 构造 CA 滤波器。根据相关文献,一个元胞周围 5×5 个元胞组成的矩形空间对该元胞状态的改变具有显著影响,故采用 5×5 的滤波器^[14]。

(4) 确定 CA 循环次数。首先,以 2009 年为基期,循环次数设置为 8 a,对 2017 年土地利用变化情况进行模拟,用于计算模拟精度;以 2017 年为基期,循环次数设置为 8 a,对沿黄生态经济带 2025 年土地利用格局进行模拟。

3 结果与分析

3.1 土地利用分析

3.1.1 土地利用变化分析 结合《土地利用现状分类》(GB/T 21010-2007),将土地划分为 10 个类别,分别为耕地、园地、林地、牧草地、其他农用地、城乡建设用地、交通水利用地、其他建设用地、水域及自然保留地。通过对原始数据进行重分类,得到宁夏沿黄生态经济带 2009,2017 年土地利用现状栅格图(见附图 4—5)。

通过对宁夏沿黄生态经济带 2009—2017 年各类用地面积及比例变化情况进行分析,发现土地利用整体呈现出耕地、其他农用地及各类建设用地不断增加,园地、林地、牧草地、水域及自然保留地均不断减少的特点(见表 1)。农用地中,随着耕地占补平衡政策落实、土地整治工程有力推进,宁夏沿黄生态经济带耕地得到有效保护,沟渠等农田设施用地不断完善,2009—2017 年耕地和其他农用地面积有所增加;园地、林地及牧草地面积均有所下降。2009—2017 年间,各类建设用地均有所增加,其中城乡建设用地增幅最大,依次为交通水利用地和其他建设用地。其他土地中,水域和自然保留地面积均有所减少,尤其是自然保留地降幅较大为 1.12%。

表 1 2009—2017 年土地利用变化情况分析

| 土地类型 | 2009 年 | | 2017 年 | | 变化 | | |
|------|--------------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|------------|-------|
| | 面积/hm ² | 比例/% | 面积/hm ² | 比例/% | 面积/hm ² | 比例/% | |
| 农用地 | 耕地 | 436 162.73 | 19.22 | 440 529.69 | 19.41 | 4 366.96 | 0.19 |
| | 园地 | 44 523.68 | 1.96 | 42 611.94 | 1.88 | -1 911.74 | -0.08 |
| | 林地 | 129 612.47 | 5.71 | 125 579.23 | 5.53 | -4 033.24 | -0.18 |
| | 牧草地 | 786 034.13 | 34.64 | 773 329.45 | 34.08 | -12 704.68 | -0.56 |
| | 其他农用地 | 120 933.15 | 5.33 | 123 157.03 | 5.43 | 2 223.88 | 0.10 |
| | 小计 | 1 517 266.16 | 66.86 | 1 505 207.34 | 66.33 | -12 058.82 | -0.53 |
| 建设用地 | 城乡建设用地 | 127 362.35 | 5.61 | 157 392.49 | 6.94 | 30 030.14 | 1.32 |
| | 交通水利用地 | 23 126.20 | 1.02 | 30 984.93 | 1.37 | 7 858.73 | 0.35 |
| | 其他建设用地 | 8 859.61 | 0.39 | 9 452.00 | 0.42 | 592.39 | 0.03 |
| | 小计 | 159 348.16 | 7.02 | 197 829.42 | 8.72 | 38 481.26 | 1.70 |
| 其他土地 | 水域 | 57 628.99 | 2.54 | 56 530.88 | 2.49 | -1 098.11 | -0.05 |
| | 自然保留地 | 534 972.13 | 23.58 | 509 647.80 | 22.46 | -25 324.33 | -1.12 |

3.1.2 土地利用流向分析 在对宁夏沿黄生态经济带 2009 年和 2017 年土地利用现状栅格数据进行叠加分析后,计算出 2009—2017 年各类土地转换概率矩阵(见表 2)。由表 2 可知,农用地中,耕地转为城乡建设用地的概率最大,达到 10.65%,依次为交通水利用地和牧草地;园地转为城乡建设用地和耕地的概率相当,分别为 8.58%和 8.2%;林地转为牧草地的概率最大,为 5.25%,依次为耕地、城乡建设用地和自然保留地;牧草地主要转为城乡建设用地,其概率

为 5.22%,依次为自然保留地和牧草地;其他农用地转为城乡建设用地概率较高,为 9.14%。建设用地中,城乡建设用地转为耕地概率远高于其他用地,达到 9.85%;交通水利用地转为城乡建设用地概率为 7.28%,其次为自然保留地;其他建设用地转为自然保留地概率高于其他用地,为 7.18%。其他土地中,水域转为耕地概率高达 10.34%;自然保留地转为耕地和城乡建设用地概率均较高,分别为 6.52%和 6.06%。

表 2 2009—2017 年土地利用转移概率矩阵

%

| 地类 | 耕地 | 园地 | 林地 | 牧草地 | 其他农用地 | 城乡建设用地 | 交通水利用地 | 其他建设用地 | 水域 | 自然保留地 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 耕地 | 81.29 | 0.11 | 0.80 | 2.37 | 1.40 | 10.65 | 2.99 | 0.11 | 0.05 | 0.24 |
| 园地 | 8.20 | 78.87 | 0.87 | 0.18 | 1.05 | 8.58 | 2.01 | 0.17 | 0.00 | 0.05 |
| 林地 | 3.99 | 0.35 | 79.90 | 5.25 | 1.67 | 3.69 | 1.93 | 0.09 | 0.04 | 3.10 |
| 牧草地 | 3.32 | 0.37 | 0.05 | 83.36 | 1.71 | 5.22 | 1.79 | 0.11 | 0.00 | 4.07 |
| 其他农用地 | 3.74 | 0.13 | 0.64 | 1.28 | 80.82 | 9.14 | 3.53 | 0.47 | 0.05 | 0.19 |
| 城乡建设用地 | 9.85 | 0.07 | 1.38 | 3.22 | 0.31 | 82.47 | 1.76 | 0.06 | 0.00 | 0.88 |
| 交通水利用地 | 0.88 | 0.04 | 1.11 | 1.56 | 0.64 | 7.28 | 84.69 | 0.04 | 0.21 | 3.56 |
| 其他建设用地 | 1.21 | 0.00 | 0.58 | 5.34 | 0.99 | 0.41 | 1.01 | 80.39 | 2.88 | 7.18 |
| 水域 | 10.34 | 0.00 | 0.17 | 0.24 | 0.95 | 2.64 | 2.38 | 0.44 | 82.65 | 0.19 |
| 自然保留地 | 6.52 | 0.02 | 0.28 | 2.94 | 1.35 | 6.06 | 1.03 | 0.16 | 3.86 | 77.77 |

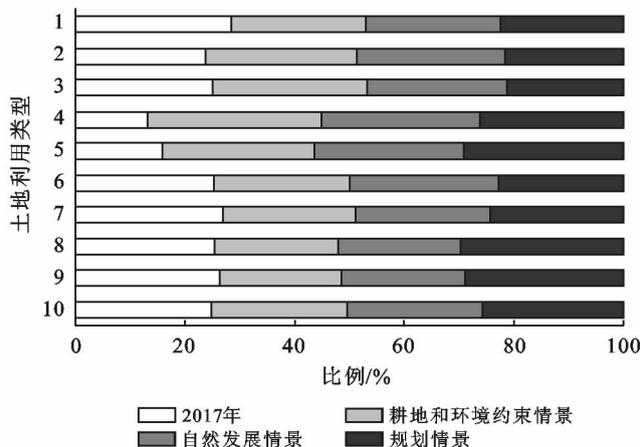
从空间分布看,增加的耕地主要为近年来大力实施中北部土地开发整理重大工程新增耕地,集中分布在石嘴山市惠农区、平罗县及银川市永宁县等地;增加的建设用地在各县(市、区)均有分布,主要是随着西部大开发战略深入实施,城镇化进程不断推进,宁夏沿黄生态经济带投资环境不断改善,城镇发展、产业集聚用地需求不断增强,导致近几年建设用地增加,主要分布于城镇周边及工业园区范围内,尤其是银川市辖区、滨河新区及宁东能源化工基地建设用地的增加规模较大;增加的牧草地主要是由于退耕还林还草政策的贯彻落实,导致一定规模的劣等耕地转为牧草地,对提高耕地整体质量,促进生态环境保护具有重要作用。

3.2 2025 年土地利用演变模拟

基于预处理后的各类数据及适宜性图集,以 2017 年土地利用现状地类为初始年,运用 CA-Markov 模型,将迭代次数设置为 8,实现了自然发展情景、土地规划情景、耕地和环境保护情景下宁夏沿黄生态经济带 2025 年土地利用格局的模拟,具体见附图 6—8。

如图 1 所示,将 3 种情景下宁夏沿黄生态经济带土地利用空间分布及各类用地面积进行对比后发现,

各类用地空间分布格局大体一致,但用地面积有所差异。随着宁夏沿黄生态经济带城镇化进程进一步推进,基础设施不断完善,土地资源开发力度持续加大,3 种情景模拟结果均呈现出自然保留地、草地较 2017 年均有所减少;城乡建设用地、交通水利用地均有所增加;其他各类用地不同情景下有增有减的特点。耕地和环境约束情景下,宁夏沿黄生态经济带 2025 年耕地、城乡建设用地、交通水利用地、其他建设用地、水域较 2017 年均有所增加,特别是耕地和水域得到了有效保护,较 2017 年分别增加了 3 147.78、10 667.61 hm^2 ;自然保留地、其他农用地、草地、林地、园地较 2017 年均有所下降。自然发展情景下,宁夏沿黄生态经济带 2025 年自然保留地、草地、林地、园地及耕地均较 2017 年有所减少,但水域、其他建设用地、交通水利用地、城乡建设用地、其他农用地均有所增加,其中城乡建设用地较 2017 年增加了 109 926.54 hm^2 。土地规划情景下,宁夏沿黄生态经济带 2025 年自然保留地、水域、其他建设用地、其他农用地、草地比 2017 年有所减少;交通水利用地、城乡建设用地、林地、园地及耕地均有所增加,其中耕地较 2017 年增加了 19 934.73 hm^2 ,城乡建设用地增加了 128 223.99 hm^2 。



注:1 为自然保留地; 2 为水域; 3 为其他建设用地; 4 为交通水利用地; 5 为城乡建设用地; 6 为其他农用地; 7 为草地; 8 为林地; 9 为园地; 10 为耕地。

图 1 不同情景下各类土地面积对比

4 结论与讨论

4.1 结论

通过对宁夏沿黄生态经济带 2009—2017 年土地利用变化及流向进行全面分析,并运用 CA-Markov 模型,基于自然发展情景、土地规划情景、耕地和生态保护情景对 2025 年土地利用演变进行模拟,得出以下结论:

(1) 2009—2017 年间,随着耕地占补平衡政策落实、土地整治工程有力推进、城镇化进程的不断加快,作为宁夏人口、产业、资本要素集聚地和经济社会发展辐射中心,宁夏沿黄生态经济带耕地得到有效保护,基础设施不断配套完善,城乡发展得到全力保障,土地开发力度不断加大,土地利用整体呈现出各类建设用地不断增加,除耕地和其他农用地外的园地、林地、草地,以及其他土地中的水域和自然保留地均减少的态势。

(2) 从 2009—2017 年各类用地转移概率矩阵看,除水域、其他建设用地外,其他各类用地转为城乡建设用地概率普遍较高,尤其是耕地转为城乡建设用地概率最高,达到 10.65%,耕地和生态环境保护面临着巨大压力。同时,城乡建设用地、水域转化为耕地的概率也较高,分别为 9.85% 和 10.34%,主要是随着城乡建设用地增减挂钩、耕地占补平衡、土地整理等项目的实施,耕地保护得到了有效落实。

(3) 通过模拟发现,在自然发展、土地规划、耕地和环境保护 3 种情景下,宁夏沿黄生态经济带 2025 年土地利用结构仍然以牧草地、耕地、自然保留地为主,但随着城镇化进程加快和基础设施持续完善,城乡建设用地和交通水利用地较 2017 年均会有大幅增

加,主要集中分布在现有城镇周边及工业园区周边。同时,3 种情景模拟结果相比,土地规划情景下的用地结构更加符合当前严格保护耕地、加强生态文明建设的政策要求,也更加符合宁夏沿黄生态经济带城镇建设、产业布局的发展方向。今后应继续发挥土地利用总体规划的用途管制和引导作用,进一步优化土地利用格局,提高空间治理能力,推动宁夏沿黄生态经济带可持续发展。

4.2 讨论

本研究综合考虑数据可获取性及土地分类细化程度,土地利用数据来源于历年土地利用现状变更调查,其用地格局基本与实际情况相符,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,对模拟结果的精确性可能会产生影响。同时,采用 CA-Markov 模型进行模拟,虽综合了 Markov 模型时间序列预测和 CA 模型空间分布模拟的优势,对宁夏沿黄生态经济带各类用地演变模拟效果较好,但个别地类模拟精度仍不理想,如交通水利用地发展趋势不同于城乡建设用地,CA-Markov 模型并不适用于该类用地的演变模拟。虽然在耕地和环境保护情景下,尽可能的考虑了高程、坡度、水域、永久基本农田和禁止建设区等各类影响因素,但研究的系统性还有待进一步提高,由于土地利用覆被、自然条件、社会经济是一个复杂系统,引起土地利用变化的因素很多,既有高程、坡度等自然因素,又有人口、产业、道路、区位以及政策等一系列社会经济因素。在以后的研究中,应注重运用最新遥感影像解译数据,进一步提高研究数据的现势性和准确性;同时,要运用系统思维,在运用 CA-Markov 模型进行用地演变模拟时,综合高程、坡度、人口、经济、政策及区位条件等因素,制作更为科学、全面的适宜性图集,提高模拟结果的精确性,为优化土地利用结构及空间布局、国土空间规划编制、城镇及产业发展等提供重要参考。

[参 考 文 献]

- [1] 刘纪远,宁佳,匡文慧,等. 2010—2015 年中国土地利用变化的时空格局与新特征[J]. 地理学报, 2018, 73(5): 789-802.
- [2] 杨浩,王子奔,王婧,等. 京津冀城市群土地利用变化对热环境的影响研究[J]. 自然资源学报, 2018, 33(11): 1912-1925.
- [3] 李丹,梅晓丹,张玉娟,等. 绥芬河市土地利用变化的时空格局研究[J]. 测绘科学, 2019, 44(3): 78-85.
- [4] 柯新利,韩冰华,刘蓉霞,等. 1990 年以来武汉城市圈土地利用变化时空特征研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(1): 76-81.

- Soil Pollution, 1997, 95(1/2/3/4):59-74.
- [10] 吴迪,程志飞,刘品祯,等. 蓬莱仙界园区土壤—蔬菜系统重金属形态解析及关联特征[J]. 生态环境学报, 2018, 27(3):581-587.
- [11] 刘强,呼丽萍,鱼潮水,等. 樱桃种植区土壤及樱桃重金属富集状况研究[J]. 河南农业科学, 2017, 46(10):60-65.
- [12] 吴劲楠,龙健,刘灵飞,等. 某铅锌矿区农田重金属分布特征及其风险评价[J]. 中国环境科学, 2018, 38(3):1054-1063.
- [13] 吴迪,李存雄,邓琴,等. 典型铅锌矿区土壤—农作物体系重金属含量及污染特征分析[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(2):849-851.
- [14] 吴江平,陈小云,韩义君,等. 电子垃圾拆解地稻田土壤和稻米中重金属污染评估[J]. 环境科学学报, 2018, 38(4):1629-1634.
- [15] 王维维,麦提吐尔逊·艾则孜,艾提业古丽·热西提,等. 焉耆盆地不同耕地土壤中微量元素污染风险对比研究[J]. 地球与环境, 2018, 46(6):571-580.
- [16] 覃朝科,农泽喜,黄伟,等. 广西某废弃铅锌矿重金属污染调查及治理对策[J]. 有色金属工程, 2016, 6(3):87-92.
- [17] 张世文,周妍,罗明,等. 废弃地复垦土壤重金属空间格局及其与复垦措施的关系[J]. 农业机械学报, 2017, 48(12):237-247.
- [18] 刘淑艳,王雪丽,刘培. 植物修复土壤重金属污染研究进展[J]. 北京农业, 2009(18):74-76.
- [19] 黄雷,张时伟,赵亮,等. 农田土壤重金属修复技术探析[J]. 现代农业科技, 2016(12):225-226, 229.
- [20] 时宇,冉珊珊,黄黄,等. 黄石国家矿山公园草本植物重金属富集能力研究[J]. 生态环境学报, 2018, 27(4):769-775.
- [21] 汪伟. 植物修复土壤重金属污染及其强化措施[J]. 安徽农学通报, 2018, 24(16):79-81.
- [22] 范明毅,杨皓,黄先飞,等. 典型山区燃煤型电厂周边土壤重金属形态特征及污染评价[J]. 中国环境科学, 2016, 36(8):2425-2436.
- [23] 何腾兵,董玲玲,李广枝,等. 喀斯特山区不同母质(岩)发育的土壤主要重金属含量差异性研究[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(1):188-193.
- [24] 周艳,陈樯,邓绍坡,等. 西南某铅锌矿区农田土壤重金属空间主成分分析及生态风险评价[J]. 环境科学, 2018, 39(6):2884-2892.

(上接第 222 页)

- [5] 邓华,邵景安,王金亮,等. 多因素耦合下三峡库区土地利用未来情景模拟[J]. 地理学报, 2016, 71(11):1979-1997.
- [6] 郭燕燕. 基于 CLUE—S 模型的深圳市土地利用变化模拟[D]. 武汉:武汉大学, 2017.
- [7] 史培军,陈晋,潘耀忠. 深圳市土地利用变化机制分析[J]. 地理学报, 2000, 55(2):151-160.
- [8] 于森,吕晓,廉丽妹,等. 江苏省沿海地区土地利用变化及其生态效应[J]. 水土保持通报, 2017, 37(3):131-139.
- [9] 黄明,张学霞,张建军,等. 基于 CLUE-S 模型的罗玉沟流域多尺度土地利用变化模拟[J]. 资源科学, 2012, 34(4):769-775.
- [10] 陈铸,傅伟聪,黄雅冰,等. 基于 Logistic-CA-Markov 模型的福州市土地利用演变与模拟[J]. 安徽农业大学学报, 2018, 45(6):1-3.
- [11] 余德贵,吴群. 基于 Logistic-Markov 方法的土地利用结构变化多因素驱动预测模型研究与应用[J]. 水土保持通报, 2017, 37(1):149-154.
- [12] 王宏亮,郝晋珉,高阳,等. 基于多模型测度的内蒙古土地利用动态变化分析[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(4):59-66.
- [13] 周浩,雷国平,赵宇辉,等. 基于 CA-Markov 模型的挠力河流域土地利用动态模拟[J]. 生态与农村环境学报, 2016, 32(2):252-258.
- [14] 张晓娟,周启刚,王兆林,等. 基于 MCE-CA-Markov 的三峡库区土地利用演变模拟及预测[J]. 农业工程学报, 2017, 33(19):268-275.