

王雪然, 潘佩佩, 王晓旭, 等. 基于 GeoSOS-FLUS 模型的河北省土地利用景观格局模拟[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(3): 667-675.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2021.03.015

基于 GeoSOS-FLUS 模型的河北省土地利用景观格局模拟

王雪然^{1,2,3}, 潘佩佩^{1,2,3}, 王晓旭⁴, 王晓萌^{1,2,3}

(1. 河北师范大学资源与环境科学学院, 河北 石家庄 050024; 2. 河北省环境变化遥感识别技术创新中心, 河北 石家庄 050024; 3. 河北省环境演变与生态建设实验室, 河北 石家庄 050024; 4. 河北雄安新区管理委员会规划建设局, 河北 雄安 071799)

摘要: 揭示土地利用景观格局演变特征, 不仅有助于明确其与自然、人类活动影响因素的关系, 还可为当前国土空间规划及生态文明建设提供依据。本研究以面临新发展机遇的河北省为研究区, 利用 GeoSOS-FLUS 模型模拟 2030 年土地利用情况, 基于景观生态学软件 Fragstats 探讨区域景观格局演变态势。结果表明: (1) 在模拟结果层面, 河北省未来建设用地占比增至 11.94%, 林地、草地面积略有增加, 耕地、水域和未利用地占比降至 46.35%、2.62%、0.71%, *Kappa* 系数和 *FoM* 系数的计算结果均说明 GeoSOS-FLUS 模型的模拟结果具有较高可信度。(2) 在景观格局层面, 耕地平均斑块面积下降明显, 林地、建设用地优势度提升, 草地、水域被不断分割; 区域整体蔓延度指数降低, 分裂指数由 1990 年的 9.37 增至 2020 年的 12.71, 景观格局变化具有空间异质性。在现行土地政策机制下, 2030 年景观格局虽向良性态势发展, 但依然面临建设用地无序扩张, 耕地破碎化严重等问题。本研究结果对于合理规划、高效利用土地资源, 平衡经济发展和土地利用具有重要的现实意义。

关键词: GeoSOS-FLUS 模型; 模拟预测; 景观格局; 河北省

中图分类号: K903 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2021)03-0667-09

Simulation of landscape pattern for land use in Hebei province based on GeoSOS-FLUS model

WANG Xue-ran^{1,2,3}, PAN Pei-pei^{1,2,3}, WANG Xiao-xu⁴, WANG Xiao-meng^{1,2,3}

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024, China; 2. Hebei Technology Innovation Center for Remote Sensing Identification of Environmental Change, Shijiazhuang 050024, China; 3. Hebei Key Laboratory of Environmental Change and Ecological Construction, Shijiazhuang 050024, China; 4. Planning and Construction Bureau of Hebei Xiong'an New Area Management Committee, Xiong'an 071799, China)

Abstract: Revealing the evolution characteristics of landscape pattern for land use can not only help to clarify its relationship with the influencing factors of nature and human activities, but can also provide basis for current territorial space planning and ecological civilization construction. This study took Hebei province, which was facing new development opportunities, as the research area, and used GeoSOS-FLUS model

收稿日期: 2020-11-01

基金项目: 河北省自然科学基金项目(D2020205009); 河北师范大学
基金项目(L2019Z09、L2021B22); 国家自然科学基金项目
(41401646); 河北师范大学在读研究生创新能力培养资助
项目(CXZZSS2020066)

作者简介: 王雪然(1994-), 女, 河北邯郸人, 硕士研究生, 主要从事
土地利用变化研究。(E-mail) augxueran@163.com

通讯作者: 潘佩佩, (E-mail) panpeipei626@163.com

to simulate its land use situation in 2030. The research was based on the landscape ecology software Fragstats to discuss the evolution of regional landscape pattern. The results showed that the proportion of future construction land in Hebei province increased to 11.94%, the area of woodland and grassland increased slightly, and the proportion of cultivated land, water area and unused land decreased to

46.35%, 2.62%, 0.71%, respectively. Both *Kappa* coefficient and *FoM* coefficient showed that the reliability of GeoSOS-FLUS model simulated results was high. From landscape pattern aspect, the average patch area of cultivated land had dropped significantly, advantages of forest land and construction land were improved, grassland and waters were continuously divided. The overall regional spreading index decreased, and the split index increased from 9.37 in 1990 to 12.71 in 2020. The space difference of landscape pattern changes was significant. Under the current land policy mechanism, although the landscape pattern for 2030 developed in a positive trend, it still faced problems such as disorderly expansion of construction land and serious fragmentation of cultivated land. These results have practical significance for rational planning and efficient use of land resources as well as balancing economic development and land use.

Key words: GeoSOS-FLUS model; simulated prediction; landscape pattern; Hebei province

随着社会经济的快速发展,土地利用矛盾日益突出^[1],关于土地利用变化的研究成为国际热点课题之一^[2]。景观格局是景观形成因素和景观生态过程共同作用的结果^[3],其演化过程和生态特征的分析结果可应用于国土空间规划与治理^[4]。未来土地利用模拟预测可增强景观生态以及国土空间规划的前瞻性^[5],土地利用变化模型则为模拟预测提供了技术支持。

以往国内外针对土地利用景观格局的研究,多集中在景观格局演变的现状及驱动力分析^[6-9]。从研究方法看,多将 GIS 空间分析与景观指数相结合,如何华春等^[7]借助 GIS 技术,定量分析了盐城海岸带的景观格局特征,从研究视角看,土地利用景观时空演变^[8]、驱动机制^[9]等都有涉及。有学者分析单个地类景观格局的演变过程,车通等^[10]深入剖析扬州市在城市扩张中建设用地景观格局的演变及驱动机制,以期为建设用地结构优化提供科学依据。有学者指出,明确当前景观格局演变的过程和机制固然重要,但预测未来土地利用景观格局的情形具有更重要的科学价值和实践意义^[11]。王明常等^[12]以长白山为研究区,基于 Matlab 平台,结合地理元胞自动机模型(CA),建立了景观格局信息模拟与预测模型。张剑等^[11]以山东半岛海洋经济带核心区为研究区域,基于转移矩阵和 CA-Markov 模型构建并模拟了该区土地利用的时空动态演变过程。然而,广泛应用的元胞自动机模型只能模拟单类用地的演变,而耦合 CA-Markov 模型未能充分考虑土地利用的多因素驱动影响。土地利用模拟领域应用较多的 CLUE-S 模型对土地类型之间微小转化的概率考虑不足^[13],增加了模拟的不确定性。Liu 等^[14]研究出的 FLUS 模型(Future land use simulation model),成功耦合了系统动力学(SD)与神经网络 CA,能有效处理在自然、人类活动共同作用下的土地转化概率

问题,为深入剖析景观格局演变提供了有力工具,该模型也已成功应用于多项研究^[15-17]。

综上所述,当前研究多突出土地利用模拟和景观格局演变的单点研究,结合土地利用模拟结果,预测未来发展下景观格局变化态势的研究较少,将景观格局演变和未来土地利用结构相结合的研究还不够深入。在京津冀一体化国家重大发展战略及雄安新区建设不断推进的背景下,河北省也迎来经济发展的重要契机,景观格局变化日益剧烈,如何协调景观生态保护与经济发展的关系是当前面临的重要课题。因而,本研究拟以河北省为研究区,预测未来土地利用景观格局发展态势并分析其演变过程,针对研究结果提出土地资源合理利用及景观格局优化的相关建议,以期决策者实施国土空间规划,优化土地利用结构,促进生态环境的可持续发展提供理论基础和实际参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

河北省地处中纬度沿海与内陆交接地带,环抱京津,共辖 11 个地市(图 1),总面积 $1.888 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。地势自西北向东南呈递减趋势,是全国地形地貌最为齐全的省份之一。区域内自然地理要素差异大,西北部山地面积约占全省面积的 35.0%,生态环境脆弱;东南部平原连片分布,约占全省面积的 43.4%,是全国重要的粮食产地。受自然条件及经济发展水平影响,土地景观格局演变空间异质性显著。

1.2 数据来源

地面高程数据来自地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>),土地利用数据(1990 年、2000 年、2010 年)及铁路、公路、行政区划等矢量数据来自中国科学院资源与环境数据中心(<http://www.resdc.>

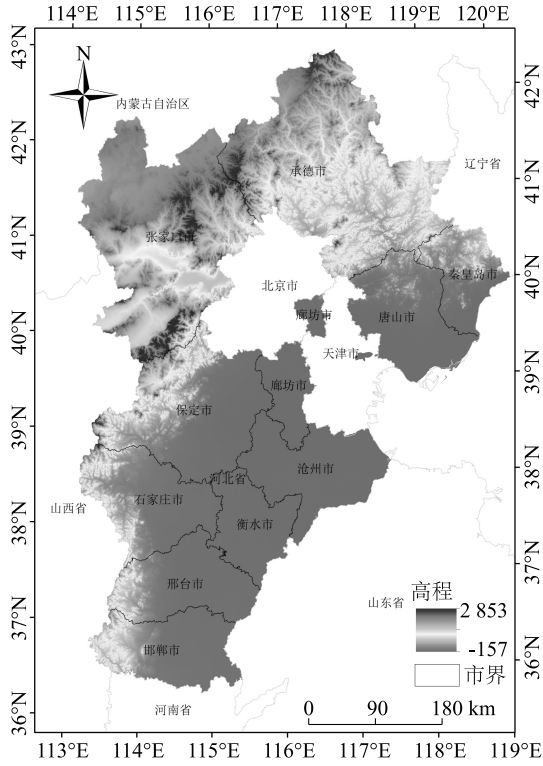


图1 河北省区位和高程

Fig.1 Location and digital elevation model (DEM) of Hebei province

cn/),以 Landsat TM/ETM 遥感影像为主要数据源,分辨率为 30 m。2020 年土地利用数据来自 GlobeLand30 (<http://www.globeland30.com/GLC30Download/index.aspx>)。根据本研究需要,将研究区土地分为耕地、建设用地、林地、水域、草地和未利用地 6 种类型。

1.3 研究方法

1.3.1 GeoSOS-FLUS 模型

1.3.1.1 基于人工神经网络(ANN)的驱动概率
人工神经网络是一种为模仿生物大脑神经元结构而设计的智能算法,多用于有多种输入非线性函数的估计^[14]。输入的驱动因素越多,获得的结果越准确,也能更好地体现土地类型间的相互作用和竞争关系。土地景观格局演变受自然因素、社会因素和经济因素的综合驱动影响,地形从本质上决定了土地利用类型,交通和社会经济因子对其有重要影响,因此本研究选取数字高程模型(DEM)、坡向、坡度、人口、GDP、距铁路距离、距公路距离、距城市中心距离作为演变驱动力因素。结合本研究所需要的数据及模拟的可行性,将分辨率统一为 100 m。

1.3.1.2 基于自适应惯性机制的 CA 模拟 在

GeoSOS-FLUS 模型中,用地转化概率既取决于神经网络输出的驱动因素概率,还受到表示扩张能力强弱的邻域密度(公式 1)、惯性系数(公式 2)、转换成本以及土地之间竞争的影响,最终确定土地类型转换的总概率(公式 3)。

$$\Omega_{p,k}^t = \frac{\sum_{N \times N} \text{con}(c_p^{t-1} = k)}{N \times N - 1} \times w_k \quad (1)$$

式中: $\Omega_{p,k}^t$ 表示邻域密度; $\sum_{N \times N} \text{con}(c_p^{t-1} = k)$ 表示在 $N \times N$ 的窗口上,上一次迭代($t-1$)结束后第 k 种用地类型的像元总个数; w_k 表示各类用地邻域作用的权重。

$$Inertia_k^t = \begin{cases} Inertia_k^{t-1} & \text{if } |D_k^{t-2}| \leq |D_k^{t-1}| \\ Inertia_k^{t-1} \times \frac{D_k^{t-2}}{D_k^{t-1}} & \text{if } 0 > D_k^{t-2} > D_k^{t-1} \\ Inertia_k^{t-1} \times \frac{D_k^{t-1}}{D_k^{t-2}} & \text{if } D_k^{t-1} > D_k^{t-2} > 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: $Inertia_k^t$ 表示第 k 种用地在迭代时间 t 上的惯性系数; D_k^{t-1} 、 D_k^{t-2} 分别表示上一次、上两次迭代时,第 k 种用地类型像元数与需求数目的差。

$$TProb_{p,k}^t = sp_{p,k} \times \Omega_{p,k}^t \times inertia_k^t \times (1 - sc_{c \rightarrow k}) \quad (3)$$

式中: $TProb_{p,k}^t$ 为像元 p 在迭代次数 t 时转化成用地类型 k 的总概率; $sp_{p,k}$ 为神经网络输出的适宜性概率; $\Omega_{p,k}^t$ 为邻域作用; $inertia_k^t$ 为第 k 种用地在迭代时间 t 上的惯性系数; $sc_{c \rightarrow k}$ 为土地利用类型 c 转为类型 k 的成本, $1 - sc_{c \rightarrow k}$ 表示发生转化的难易程度。

1.3.1.3 模型精度检验 许文宁等^[18]认为 $Kappa$ 系数(公式 4)能有效验证预测模型精度;Pontius 等^[19]认为品质因数 FoM (公式 5)常用于模型准确性验证。GeoSOS-FLUS 模型将两者结合,以增强模拟准确性的科学依据。

$$Kappa = (p - p_e) / (1 - p_e) \quad (4)$$

式中: $Kappa$ 为 $Kappa$ 系数; p 为总精度; $p_e = (a_1 \times b_1 + a_2 \times b_2 + \dots + a_n \times b_n) / (S \times S)$,其中 n 为类别数, a_1, a_2, \dots, a_n 为真实结果中每一类土地的面积, b_1, b_2, \dots, b_n 为模拟结果中每一类土地的面积, S 表示样本数量。

$$FoM = B / (A + B + C + D) \quad (5)$$

式中: FoM 表示品质因数; A 表示实际发生转化而模拟未发生转化的面积; B 表示实际和模拟均发生转化的面积; C 表示实际发生转化,但模拟转化结果与实际不同的面积; D 表示实际无变化,但模拟发

生转化的面积。综上,河北省土地景观格局模拟框架示意图见图 2。

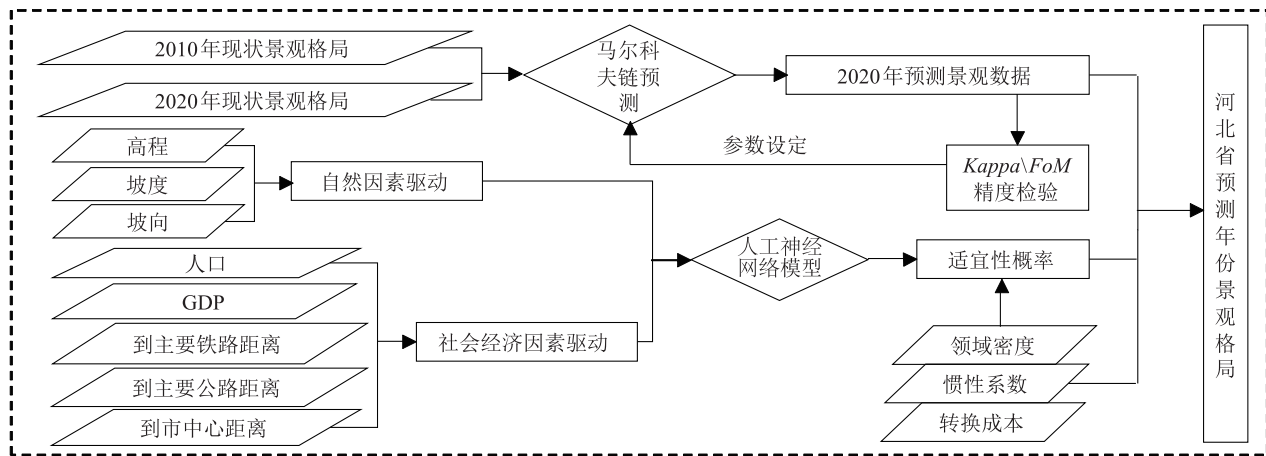


图 2 河北省土地利用预测框架示意图

Fig.2 Schematic diagram of land use predictive framework in Hebei province

1.3.2 景观格局演变研究 景观指数是景观格局信息的高度浓缩^[20]。由于景观指数有较多类别且相似度较高,本研究结合前人研究成果及自身研究

需要,从类别水平以及景观水平出发,选取适宜指标(表 1),通过软件 Fragstats 揭示景观类型面积比例、区位优势形态、空间布局和集聚程度^[21]。

表 1 景观格局指数及含义

Table 1 Landscape pattern indices and their meanings

项目	指标名称	取值范围	景观意义
类别水平	景观面积比例(<i>PLAND</i>)	$0 < PLAND \leq 100$	值越大,景观中此类斑块面积越大
	平均斑块面积(<i>AREA_MN</i>)	$AREA_MN > 0$	值越大,单个斑块面积越大
	最大斑块指数(<i>LPI</i>)	$0 < LPI \leq 100$	值越大,斑块优势越明显
	景观形状指数(<i>LSI</i>)	$LSI \geq 1$	值越大,斑块越分离
	斑块密度(<i>PD</i>)	$PD > 0$	值越大,斑块分割越细
景观水平	香农多样性指数(<i>SHDI</i>)	$SHDI \geq 0$	值越大,多样性越丰富
	香农均匀度指数(<i>SHEI</i>)	$0 \leq SHEI \leq 1$	值越大,各斑块类型在景观中呈均衡化趋势分布
	分裂指数(<i>SPLIT</i>)	$SPLIT \geq 1$	值越大,主导斑块分裂程度越高
	蔓延度指数(<i>CONTAG</i>)	$0 < CONTAG \leq 100$	值越大,斑块连接性越好

2 结果与分析

2.1 模拟及结果验证

以 2010 年实际情况为初始状态,随机选取 10.00% 的样本点进行训练。结合河北省近年来出台的关于土地利用政策,经不断调试,邻域密度设定为:耕地 0.9、建设用地 1.0、林地 0.5、草地 0.7、水域 0.1、未利用地 0.3;在限制成本矩阵中禁止水域

向建设用地转移;默认加速因子 0.1,控制转化速率。利用 Markov 链预测 2020 年各景观类型数量,将模拟生成的 2020 年结果(图 3b)与 2020 年现状比较,GeoSOS-FLUS 模型计算出的 *Kappa* 系数为 92.10%,*FoM* 系数为 0.128,表明模型模拟结果与实际情况的一致性较强。在保持参数不变的情况下,通过模型计算模拟生成适宜性概率图(图 3a)以及 2030 年土地利用结果(图 3c)。

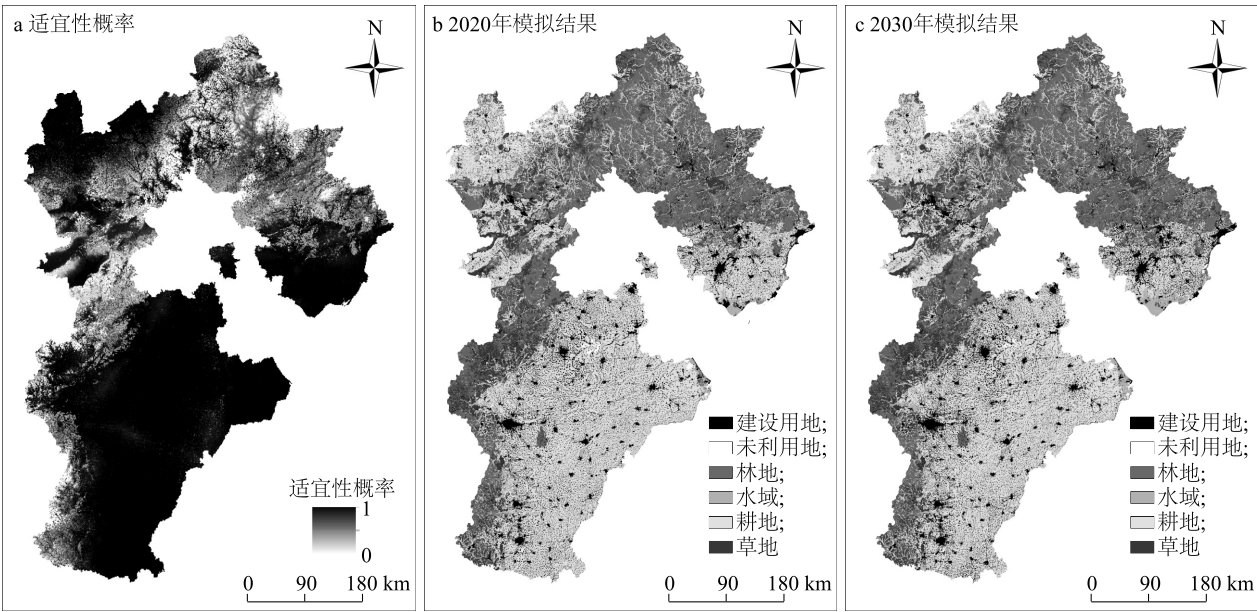


图3 景观格局转移概率及模拟结果
Fig.3 Transition probability of landscape pattern and simulation results

2.2 景观类型面积比例变化

表2显示,1990–2020年,河北省各类景观相对优势面积比例基本保持不变。耕地、草地和未利用地占比由52.80%、18.13%、1.13%降至47.59%、17.35%、0.73%;林地、建设用地及水域占比由19.59%、6.11%、2.24%增至20.22%、11.48%、2.63%,呈现耕地减少和建设用地增加这一现象。随着城镇化进程的加快,建设用地在2000–2010年增长最为明显。在坚持生态优先的原则下,林地面积总体呈缓慢增长。1990–2020年,未利用地作为河北省的后备储蓄用地,其经济功能不断被挖掘,加之缺乏合理有效的管控,面积减少较多。模拟结果显示,与2020年相比,至2030年林地、建设用地分别增至20.46%、11.94%;耕地、草地、未利用地减少至46.35%、17.36%、0.71%,水域面积占比变化不大,建设用地增加和耕地减少格局并未发生明显改变。另外,图3c显示,城镇周围的建设用地呈向外扩张趋势,持续侵占周边耕地,导致耕地面积进一步缩小。

2.3 类别水平演变特征

对类别水平景观指数进行分析,有助于明确河北省不同景观类型的格局变化。表3显示,1990–2020年林地斑块密度(PD)和平均斑块面积($AREA_MN$)整体上升,最大斑块指数(LPI)下降,

景观形状指数(LSI)无明显变化,表明林地面积虽有增加,但斑块优势度降低;草地除 $AREA_MN$ 有所上升外,其他指数均下降,对景观格局的控制作用减弱。表4显示,1990–2020年耕地 LPI 和 $AREA_MN$ 下降, PD 、 LSI 明显增加,耕地景观面积比例降低,破碎化严重,是受人类干扰较大的景观类型;建设用地 PD 、 LSI 和 $AREA_MN$ 整体呈现不同程度的增加,仅 LPI 下降,表明建设用地平均斑块面积增加,向周边扩张现象明显,斑块密度增加,在区域内的优势性明显增强。表5显示,1990–2020年水域 LSI 、 LPI 整体增加, PD 上升明显, $AREA_MN$ 下降,呈现分离倾向,受人为影响干扰较大;未利用地 $AREA_MN$ 整体增加,其余指数下降,表明未利用地斑块被不断分割、蚕食,优势度降低。

表2 各土地类型比例

Table 2 Proportion of different land types

土地景观类型	景观面积比例(%)				
	1990年	2000年	2010年	2020年	2030年
林地	19.59	19.58	19.87	20.22	20.46
草地	18.13	17.97	17.47	17.35	17.36
耕地	52.80	51.87	49.72	47.59	46.35
建设用地	6.11	7.36	10.22	11.48	11.94
水域	2.24	2.17	2.04	2.63	2.62
未利用地	1.13	1.06	0.68	0.73	0.71

对比 2020 年景观格局现状,2030 年林地 *LPI* 增加,优势度有所显现,这是持续加强植树造林的结果;但 *AREA_MN* 降低,平均斑块面积减小,因此后期应加强对无序破坏植被景观现象的治理;草地 *PD* 增加,*AREA_MN* 下降,是破碎化较严重的生态用地,其生态效益势必受到影响,应重点加以保护;耕地平均斑块面积减少严重,斑块数量增加,应重点保护并进行整治,避免在经济发展中因耕地面积减少、破碎

化引起质量下降,影响到区域粮食安全;建设用地的景观面积比例增加,斑块优势度提升明显,但斑块有所分离,并未向集聚方向发展,是城镇化无序扩张的结果,因此应合理管控建设用地,使其有序发展;水域和未利用地的平均斑块面积减小,斑块分割也越来越细。综上,区域类别水平景观格局依然面临较为严峻的态势。

表 3 林地、草地景观类别水平景观指数演变

Table 3 Landscape index evolution of woodland and grassland at category level

年份	林地				草地			
	<i>PD</i>	<i>LPI</i>	<i>LSI</i>	<i>AREA_MN</i>	<i>PD</i>	<i>LPI</i>	<i>LSI</i>	<i>AREA_MN</i>
1990 年	0.059 8	1.90	210.13	327.33	0.100 6	1.46	326.50	180.26
2000 年	0.059 9	1.90	209.80	326.78	0.100 4	1.46	325.90	178.85
2010 年	0.060 5	1.90	211.03	328.38	0.096 5	1.33	312.49	181.05
2020 年	0.060 4	1.46	210.20	334.78	0.092 6	1.19	313.90	187.39
2030 年	0.070 5	2.17	177.25	291.18	0.124 3	1.22	267.40	139.72

PD、*LPI*、*LSI*、*AREA_MN* 见表 1。

表 4 耕地、建设用地景观类别水平景观指数演变

Table 4 Landscape index evolution of cultivated land and construction land at category level

时间	耕地				建设用地			
	<i>PD</i>	<i>LPI</i>	<i>LSI</i>	<i>AREA_MN</i>	<i>PD</i>	<i>LPI</i>	<i>LSI</i>	<i>AREA_MN</i>
1990 年	0.063 1	31.60	237.99	836.50	0.190 7	0.29	218.88	32.03
2000 年	0.063 2	30.64	244.57	820.60	0.184 3	0.31	213.04	39.91
2010 年	0.070 9	28.93	258.14	701.79	0.244 9	0.28	260.33	41.72
2020 年	0.080 5	26.99	275.20	591.28	0.252 5	0.20	271.33	45.48
2030 年	0.197 8	28.05	280.56	240.61	0.425 2	0.33	334.38	26.34

PD、*LPI*、*LSI*、*AREA_MN* 见表 1。

表 5 水域、未利用地景观类别水平景观指数演变

Table 5 Landscape index evolution of waters and unused land at category level

时间	水域				未利用地			
	<i>PD</i>	<i>LPI</i>	<i>LSI</i>	<i>AREA_MN</i>	<i>PD</i>	<i>LPI</i>	<i>LSI</i>	<i>AREA_MN</i>
1990 年	0.024 8	0.17	142.79	90.50	0.005 6	0.07	65.29	201.67
2000 年	0.025 1	0.18	145.16	86.52	0.005 6	0.07	67.05	189.07
2010 年	0.027 2	0.29	128.62	75.03	0.002 6	0.06	45.19	260.62
2020 年	0.060 6	0.46	154.51	43.46	0.003 4	0.06	48.57	214.43
2030 年	0.099 0	0.49	146.74	26.44	0.004 5	0.07	44.71	156.29

PD、*LPI*、*LSI*、*AREA_MN* 见表 1。

2.4 景观水平时序演变特征

对景观水平指数进行分析,可以整体把握区域景观格局动态演化。图 4 显示,1990–2020 年,用以表征斑块连接性的蔓延度指数(*CONTAG*)由

51.97 持续下降至 48.32,斑块连接性减弱,以 2010–2020 年最为明显;表征斑块多样性的香农多样性指数(*SHDI*)和表征各斑块类型在景观中呈均衡化趋势分布的香农均匀度指数(*SHEI*)呈同步

增长;分裂指数(*SPLIT*)加强,由 9.37 增至 12.71。意味着在人类活动的影响下,景观破碎化程度升高,优势度下降,向均匀状态发展,景观格局更加分散化。对经由 GeoSOS-FLUS 模型模拟的 2030 年土地景观格局进行分析,与 2020 年相比,*CONT*-

AG 略有增加,而 *SPLIT*、*SHDI*、*SHEI* 均呈下降趋势,其中分裂指数下降明显,由 12.71 降至 11.83。表明景观格局斑块优势度上升,斑块连接性增强,向良性态势发展,但区域景观优势度依然不明显,分离破碎化水平也较高。

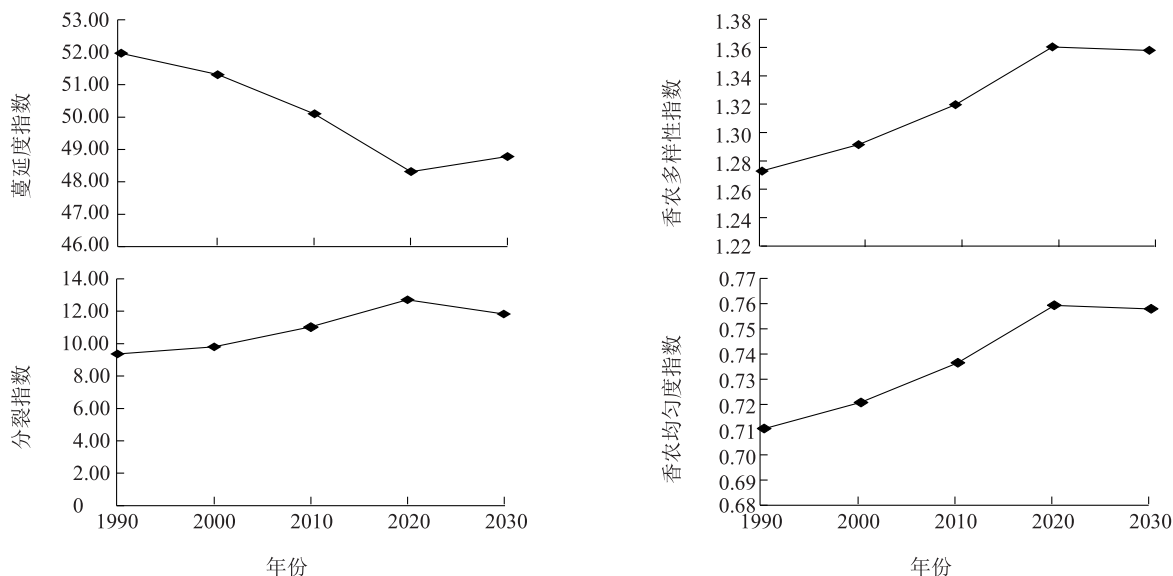


图4 1990–2030 年河北省景观水平指数变化

Fig.4 Index changes in Hebei province at landscape level from 1990 to 2030

2.5 景观水平空间演变特征

河北省自然因素、社会经济水平空间异质性显著,因此将景观水平指数进行空间化表示,可辨析景观特征空间差异性,对土地资源的管控也更具针对性。图5显示,空间形态上景观格局变化呈现明显差异。1990–2020 年 *SPLIT* 变化较为明显,整体呈现增加趋势,河北省东南部地区尤为明显。2020–2030 年 *CONTAG* 和 *SPLIT* 变化空间差异明显。从空间形态上看,河北省西北部地区斑块连接性更好,优于河北省东南部地区,随着城镇化的发展,河北省东南部地区蔓延度不平衡化显现并且未来将延续这一态势。1990–2030 年,整体区域的 *SHDI* 和 *SHEI* 呈增长趋势,2030 年与 2020 年相比略有下降,尤其是燕山山脉及太行山脉地区下降明显,表明其与平原地区多样性差异减小,增强了河北省整体景观的均衡化。1990–2020 年, *SPLIT* 变化明显的区域位于平原地带,因而平原地区景观的破碎化是河北省景观呈破碎倾向的主要原因,2030 年河北省西北部地区 *SPLIT* 有所降低,而南部平原地区及河北省东北部地区增加,因此未来河北省应根据景观异质性进行差异化的国土空间优化布局与管理。

3 讨论

在生态文明建设推进的背景下^[22-23],建设用地空间扩张受限,但未来河北省建设用地增加趋势不可避免,因此提高用地效率是城镇化发展的主要方向。有学者提出,高密度发展是解决城市空间诉求增长的重要措施^[24],因此建设用地应由扩张型向内涵型转变,提高建设用地内部的利用效率,避免无序发展。河北省作为重要的粮食产区,耕地面积不断减少并且破碎度增加,模拟结果也表明耕地分离演化还将持续。耕地破碎化影响农民规模投入的比较收益,加剧了农民退出农业生产或改变种植结构的想法,粮食作物种植面积明显降低^[25],影响区域粮食安全,因而河北省应继续加强对耕地的保护力度。林地是保持区域景观优势度的重要生态用地,也是河北省乃至京津冀的重要生态屏障。自 2010 年以来林地面积缓慢增加,模拟结果表明这一趋势也将延续,但未来优势度依然较低,需继续实施退耕还林,尤其是河北西北部林地覆盖面积较大的山区,需要提升其在区域中的优势度。本研究结果表明草地和水域景观格局破碎是加剧河北省景观破碎的因素。



图 5 河北省景观水平指数空间分布
Fig.5 Spatial distribution of indices at landscape level in Hebei province

草地多分布在西北地区,由于其是重要的生态用地,景观破碎度增加使其难以保持原有的生态功能,从而对区域生态环境造成影响,因此应针对草地退化严重地区实行退耕还草等措施。鉴于河北省水资源紧缺,同时也是地下水漏斗区,因此应避免在经济发

展过程中侵占河、湖、水库,降低水域景观格局变化带来的生态风险。未利用地多分布在张承地区,模拟结果表明其面积呈下降趋势,对未利用地不合理的开发利用可能导致不可挽回的生态问题,如次生盐碱化、水土流失等^[26],因此应合理评估张承地区

未利用地开发利用的生态风险,并根据风险高低开展合适的土地整治修复或开发利用策略。

本研究对河北省土地景观格局及其动态演变进行模拟分析,发现随着社会经济发展,区域景观格局变化明显,因此要警惕经济发展等带来的景观破碎以及对生态环境的长远影响。随着京津冀协同发展战略以及雄安新区建设的推进,未来土地景观格局仍将持续变化^[27],土地景观格局变化对生态环境影响的研究应继续开展。同时,本研究也存在着一定的不足,模拟过程中未考虑城市发展规划等因素,可能会影响模拟精度。根据研究区的特点从不同视角出发探究土地景观格局变化对生态环境的影响,将是今后重点关注的方向。

参考文献:

- [1] 陈佑启,杨 鹏. 国际上土地利用/土地覆盖变化研究的新进展[J]. 经济地理, 2001, 21(1): 95-100.
- [2] 刘纪远,张增祥,庄大方,等. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析[J]. 地理研究, 2003, 22(1): 1-12.
- [3] 邬建国. 景观生态学-格局、过程、尺度与等级 [M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2007: 106-124.
- [4] 吴健生,王仰麟,张小飞,等. 景观生态学在国土空间治理中的应用[J]. 自然资源学报, 2020, 35(1): 14-25.
- [5] HU S, CHEN L Q, LI L, et al. Simulation of land use change and ecosystem service value dynamics under ecological constraints in Anhui province [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(12): 4228.
- [6] DADASHPOOR H, AZIZI P, MOGHADASI M. Land use change, urbanization, and change in landscape pattern in a metropolitan area[J]. Science of the Total Environment, 2019, 655: 707-719.
- [7] 何华春,周汝佳. 基于景观格局的盐城海岸带土地利用时空变化分析[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(8): 1191-1199.
- [8] SMIRAGLIA D, CECCARELLI T, BAJOCCHO S, et al. Unraveling landscape complexity: land use/land cover changes and landscape pattern dynamics (1954-2008) in contrasting peri-urban and agro-forest regions of northern Italy[J]. Environmental Management, 2015, 56: 916-932.
- [9] 吴金华,房世峰,刘宝军,等. 乌裕尔河-双阳河流域湿地景观格局演变及其驱动机制[J]. 生态学报, 2020, 40(13): 4279-4290.
- [10] 车 通,李 成,罗云建. 城市扩张过程中建设用地景观格局演变特征及其驱动力[J]. 生态学报, 2020, 40(10): 3283-3294.
- [11] 张 剑,许 鑫,隋艳晖. 海洋经济驱动下的海岸带土地利用景观格局演变研究——基于 CA -Markov 模型的模拟预测[J]. 经济问题, 2020(3): 100-104, 129.
- [12] 王明常,牛雪峰,杨毅恒,等. 长白山地区景观格局过程模拟预测研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2009, 39(5): 947-952.
- [13] VERBURG P H, SOEPBOER W, VELDKAMP A, et al. Modeling the spatial dynamics of regional land use: The CLUE-S model [J]. Environmental Management, 2002, 30(3): 391-405.
- [14] LIU X, LIANG X, LI X, et al. A future land use simulation model (FLUS) for simulating multiple land use scenarios by coupling human and natural effects[J]. Landscape & Urban Planning, 2017, 168: 94-116.
- [15] 王 旭,马伯文,李 丹,等. 基于 FLUS 模型的湖北省生态空间多情景模拟预测[J]. 自然资源学报, 2020, 35(1): 230-242.
- [16] 赵林峰,刘小平,刘鹏华,等. 基于地理分区与 FLUS 模型的城市扩张模拟与预警[J]. 地球信息科学学报, 2020, 22(3): 517-530.
- [17] 杨 浩,卢新海. 基于“三生空间”演化模拟的村庄类型识别研究——以湖南省常宁市为例[J]. 中国土地科学, 2020, 34(6): 18-27.
- [18] 许文宁,王鹏新,韩 萍,等. Kappa 系数在干旱预测模型精度评价中的应用——以关中平原的干旱预测为例[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(6): 81-86.
- [19] PONTIUS R G, BOERSMA W, CASTELLA J C, et al. Comparing the input, output, and validation maps for several models of land change[J]. Annals of Regional Science, 2008, 42(1): 11-37.
- [20] GONG J Z, LIU Y S, XIA B C. Spatial heterogeneity of urban land-cover landscape in Guangzhou from 1990 to 2005[J]. Journal of Geographical Sciences, 2009, 19(2): 213-224.
- [21] LI Y R, LI Y, FAN P C, et al. Land use and landscape change driven by gully land consolidation project: A case study of a typical watershed in the Loess Plateau [J]. Journal of Geographical Sciences, 2019, 29(5): 719-729.
- [22] 廖 冰,阮若卉. 林业促进抑或制约生态文明建设? [J]. 江苏农业科学, 2019, 47(9): 329-333.
- [23] 张小有,王绮雯,万梦书. 生态文明视角信息渠道与规模农户低碳技术应用选择——基于江西的调研数据[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(6): 315-320.
- [24] 李和平,刘 志. 中国城市密度时空演变与高密度发展分析——从 1981 年到 2014 年[J]. 城市发展研究, 2019, 26(4): 46-54.
- [25] 葛玉娟,赵宇鸾,李秀彬. 山区耕地细碎化对土地利用集约度影响——以贵州省亚鱼村为例[J]. 地理科学进展, 2020, 39(7): 1095-1105.
- [26] 闫慧慧,耿其明,李 航,等. 河北沽源县未利用地宜耕、宜建及生态风险综合评价[J]. 水土保持研究, 2019, 26(1): 360-367.
- [27] 李孝永,匡文慧. 京津冀 1980-2015 年城市土地利用变化时空轨迹及未来情景模拟[J]. 经济地理, 2019, 39(3): 187-194, 200.

(责任编辑:王 妮)