

# 面向SDGs的城市扩张多情景模拟 ——以“一带一路”中亚区为例

熊锦惠<sup>1</sup>, 岳文泽<sup>1</sup>, 陈阳<sup>1</sup>, 廖蓉<sup>2</sup>, 方恺<sup>1</sup>

(1. 浙江大学土地管理系, 杭州 310058; 2. 中国国土勘测规划院, 北京 100035)

**摘要:** 在全球倡导可持续发展目标(SDGs)的背景下, 城市作为人类活动的主要场所, 既是SDGs的聚焦区域, 更是世界各国落实SDGs的着力点。以“一带一路”沿线中亚五国首都城市区为例, 面向SDGs设定发展情景和相应参数, 采用Markov-FLUS模型模拟2030年自然发展、生态优先与经济优先情景下的城市发展格局, 权衡SDGs与多情景城市格局演化规律, 从空间视角协调城市的社会、生态与经济, 提供城市发展的决策依据。结果表明: (1) 2010—2015年来, 研究区均出现建设用地总量增加、生态用地总量减少的现象。(2) 未来情景模拟中均表现出由建设用地扩张引致的生态用地破碎化; 生态优先情景有效抑制了建设用地扩张; 经济优先情景下转化为裸地的土地有所减少, 建设用地出现连片扩张。(3) 未来城市发展应协调生态保护与经济发展, 将生态保护理念融入城市建设, 实现国家政策推动土地资源可持续利用, 促进实现2030年全球可持续发展目标。

**关键词:** 城市用地; SDGs; FLUS模型; 情景模拟; 中亚五国首都区

随着全球快速城镇化发展, 人类活动加速了对全球资源的攫取与利用, 加剧了生态环境的恶化<sup>[1,2]</sup>, 可持续发展成为全球广泛关注的议题。2015年9月, 193个国家共同签署了《改变我们的未来: 2030可持续发展议程》, 旨在实现社会、经济与环境的协调、平衡与可持续<sup>[3]</sup>。《2030年可持续发展议程》提出了应对全球社会、经济、环境等多重困局的可持续发展目标(Sustainable Development Goals, SDGs), 成为世界各国发展的纲领指南。然而, SDGs作为政治纲领性的文件, 涉及目标复杂, 涵盖门类广泛, 难以为可持续发展提供量化、直观、可参考的目标体系。因此, 如何遵循SDGs的内旨提出普适性的量化权衡体系, 是落实SDGs的基本步骤<sup>[4]</sup>, 更是不同学科共同面对的前沿问题。

SDGs的提出促使可持续发展从一个概念性的政治议程蜕变为具有科学目标支撑的衡量标准体系。目前, 关于SDGs的研究方兴未艾, 针对SDGs的研究包括构建可持续发展的定量评估体系<sup>[5-7]</sup>, 利用历史趋势数据定量讨论实现2030年SDGs的可能性; 在各国进行政策指导时, 通过考虑国家已有政策目标、经济与资源现状等构建适合本土发展的可持续发展目标的评估体系<sup>[7,8]</sup>; 为厘清SDGs复杂的多目标之间的相互作用与协同关系, 对SDGs进行分类讨论<sup>[9,10]</sup>, 实现要素综合, 高效实现可持续发展目标。同时, 研究聚焦SDGs与资源环境要素的交互, 探索水资源<sup>[11]</sup>、空气污染<sup>[12]</sup>、土地退化<sup>[13]</sup>等与SDGs关

收稿日期: 2019-12-24; 修订日期: 2020-04-20

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA20040400); 国家自然科学基金项目(41671533, 41871169); 中央高校基本科研业务费专项(2017XZA216)

作者简介: 熊锦惠(1998-), 女, 湖北荆州人, 博士研究生, 研究方向为土地利用与规划。

E-mail: xiongjh0807@163.com

通讯作者: 岳文泽(1977-), 男, 安徽凤台人, 博士, 教授, 研究方向为土地利用与规划。E-mail: wzyue@zju.edu.cn

系;利用情景分析模拟SDGs的综合演化结果更是成为相关研究的主流方法<sup>[14]</sup>。概览既有文献,特别是SDGs在城市经济发展与生态环境保护等领域的研究,多集中于国家或区域大尺度的SDGs状态与趋势探讨,鲜有关注SDGs在城市发展领域中的应用,更未有城市精细化尺度开展的研究。

城市是人类活动高度集中、物质能量交互频繁且地表变化最为剧烈的区域。20世纪以来,城市区域开发与生态安全的矛盾愈演愈烈,统筹开发与保护的关系不仅是中国国土空间规划的核心命题,更是SDGs广泛关注的内容。鉴于此,本文以“一带一路”沿线中亚五个国家的首都城市为研究区,基于SDGs设定目标发展情景,采用Markov-Flus复合模型,模拟2030年各城市在不同SDGs下的城市用地格局,权衡面向SDGs的城市用地开发方式,从空间视角为城市社会、生态与经济的协调与平衡发展提供决策支撑。

## 1 研究方法与数据来源

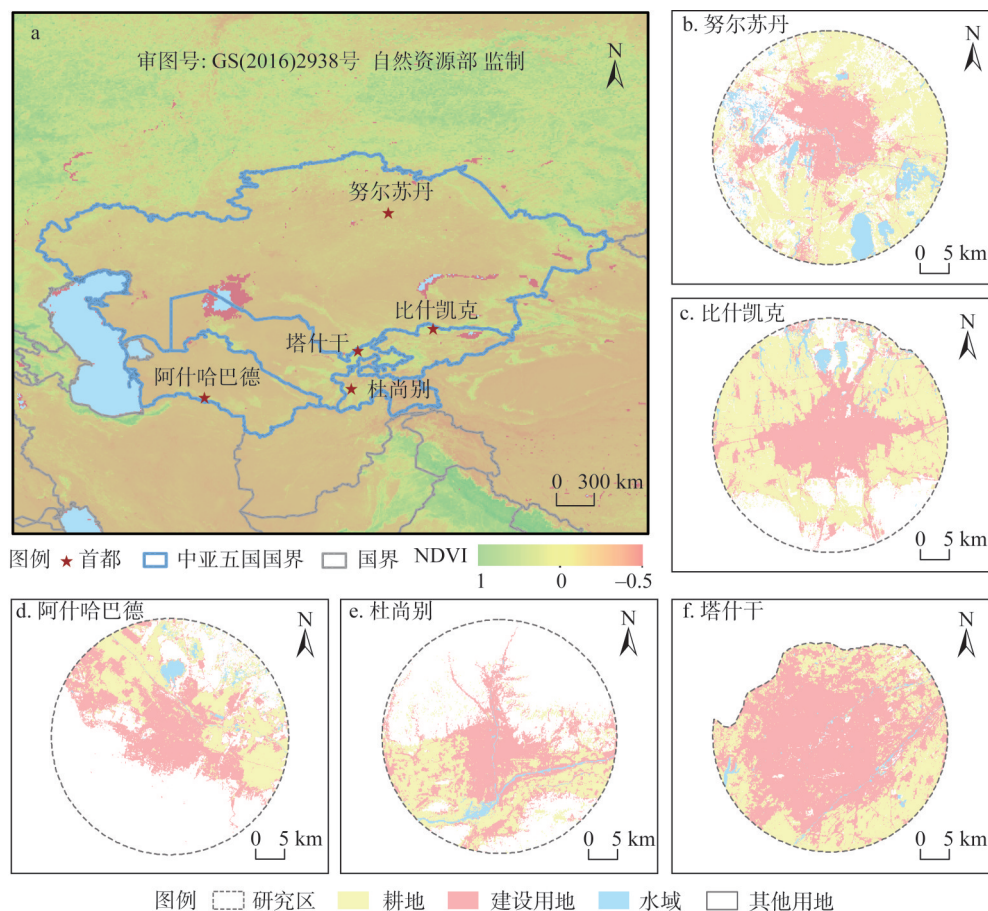
### 1.1 城市扩张与SDGs耦合框架

城市作为地表土地利用的核心,同时具有经济发展与生态保护的双重属性<sup>[15]</sup>。在农耕与工业时代文明中,伴随社会经济发展的需求城市扩张逐渐发生演化,随着社会的发展,人类活动与土地系统的复杂交互促使城市规模扩大、人类行为集中、能量交互活跃,产生城市扩张。然而,城市扩张不是单纯基于人类需求对土地的开发与利用,更不应简单地解读为由人类经济利益驱动的行为。在可持续城市发展的语境下,城市发展与扩张本质上是社会—经济—生态复合系统的相互作用与协同发展。在人类社会系统的视角中,由于人类社会对生存发展的需求,刺激了工业、商业等一系列经济活动的产生,不断加速的经济活动为人类提供从必需品到财富的要素,刺激城市蓬勃发展。但是,在生态环境维度上,城市社会与经济活动产生的负外部性问题难以避免。城市人类活动对自然生态系统中的大气、水、土地等资源与环境要素产生直接与间接影响,生态问题在世界范围各大城市日益加剧,因此城市生态系统所处的失衡/平衡动态变化成为城市扩张重要的桎梏。由于城市生态系统资源与承载能力有限,生态系统将抑制人类活动强度,经济行为因此受到限定,社会的发展与城市的扩张效率受到制约。针对城市发展在社会、经济与生态三个维度的关系,可以将可持续的城市扩张解读为:城市扩张是由人类经济利益驱动,满足人类社会对自然资源与能量开发利用需求,并需要维持生态系统动态平衡的城市发展行为。目前可持续的城市扩张缺乏协调经济、社会与生态平衡的指导方针。

SDGs旨在实现社会、经济与生态的协调与统筹。17类SDGs可归纳为“经济发展”“环境美好”与“社会进步”<sup>[3]</sup>,多维联动地促进可持续发展。这完全契合了可持续发展背景下城市扩张的“三维”内旨——促进社会、生态与经济协调共生。可以说,SDGs为城市可持续发展的内涵提供了规程纲领性文件,为城市在不同政策与目标导向下实现开发与保护的统筹发展提供了思路。SDGs在城市生态系统保护的相关目标为:保护和恢复与水有关的生态系统,包括山地、森林、湿地、河流、地下水层和湖泊;与土地可持续发展有关目标:保护、恢复和促进可持续发展,利用陆地生态系统,防治荒漠化、制止扭转土地退化;促进城市经济发展目标:建造具备抵御灾害能力的基础设施,促进具有包容性的可持续工业化,推动创新。实现城市扩张过程中的可持续发展,对实现以经济发展、社会进步和环境保护为主要目标的SDGs至关重要,同时SDGs对于指导可持续的







注：本图基于自然资源部标准地图服务系统下载的标准地图制作，底图无修改，下同。

图2 研究区区位

Fig. 2 Locations of the capitals of five Central Asian countries

DEM数据提取；驱动城市发展的经济因子包括POI密度、人口分布数据、建成区密度数据，分别从城市功能结构<sup>[24]</sup>、人口集中程度<sup>[25]</sup>以及区域内建设强度<sup>[26]</sup>讨论城市整体经济状况，其中POI（Point of Interest）密度由谷歌地图爬取的POI数据生成；人口分布数据以及建成区密度数据均来源于欧盟联合研究中心。表征城市发展状态的社会因子包含道路可达性、铁路可达性和水域可达性以及城市发展状态，其中道路、铁路与水域数据均来源于Open Street Map，利用欧式距离计算每个栅格单元的可达性值；城市群建成区作为城市发展主要空间载体，捕捉城市群夜间灯光数据反映城市社会活动强度<sup>[27]</sup>，夜间灯光数据采用美国海洋大气管理局（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA）上下载的NPP/VIIRS数据。数据利用掩模提取后统一形成空间分辨率为100 m的栅格数据，具体数据来源如表1所示。

## 1.4 研究方法

### 1.4.1 基于SDGs的城市发展情景设置

中亚五国首都都是“一带一路”倡议实施的重要支点。“一带一路”倡议明确提出要“践行绿色发展新理念，倡导绿色、低碳、循环、可持续的生产生活方式，加强环境合

表1 情景模拟的主要数据

Table 1 The database used for multi-scenario simulation

数据类型	指标	数据来源	指标内涵
土地利用	—	Landsat 5 30 m分辨率遥感影像（地理空间数据云）	
	—	Landsat 8 30 m分辨率遥感影像（美国地质调查局）	
自然因子	高程	30 m分辨率DEM数据（地理空间数据云）	驱动土地利用变化的地形因素 <sup>[25]</sup>
	坡度		
	坡向		
经济因子	人口密度	人口分布数据（欧盟联合研究中心， <a href="http://data.jrc.ec.europa.eu/">http://data.jrc.ec.europa.eu/</a> ）	研究区域内人口数量的空间量化，反映城市发展的人口集中程度 <sup>[30]</sup>
	建筑密度	建成区密度数据（欧盟联合研究中心， <a href="http://data.jrc.ec.europa.eu/">http://data.jrc.ec.europa.eu/</a> ）	研究区域内建设用地的空间量化，反映城市发展的城市建设强度 <sup>[29]</sup>
	兴趣点密度	POI数据（谷歌地图API）	城市内部兴趣点的分布密度，反映城市功能结构的分布情况 <sup>[31]</sup>
社会因子	道路可达性	路网数据（Open Street Map）	城市内部到城市道路（交通线、城际交通线以公路、县道，等）、水系（河流、湖泊，等）、铁路的欧式距离，反映城市基础功能的可达程度 <sup>[25]</sup>
	水体可达性	水体数据（Open Street Map）	
	铁路可达性	铁路数据（Open Street Map）	
	城市发展	夜间灯光数据（美国海洋大气管理局， <a href="https://www.noaa.gov/">https://www.noaa.gov/</a> ）	城市建成区夜间灯光空间量化，捕捉城市社会活动强度 <sup>[32]</sup>

作，建设生态文明，共同实现2030年可持续发展目标”<sup>[19]</sup>；同时指出：共商共建“一带一路”，推动区域经济繁荣，维护世界和平稳定<sup>[19]</sup>。“一带一路”倡议明确“发展”与“保护”统筹的价值导向，契合“一带一路”中亚五个首都区未来城镇化发展需求。基于此逻辑起点，研究基于SDGs城市发展的子目标，设置三个模拟情景：自然发展情景指不进行SDGs干预的城市扩张；生态优先情景讨论实施SDGs生态保护措施时，对城市整体发展的影响；经济优先情景则强调SDGs的经济发展目标，对城市扩张不加限制。在利用多情景讨论未来城市用地格局时，根据各情景特点及SDGs需求，设置各用地类型间转移概率与限制区域，利用Markov链进行预测，估算2030年各研究区不同情景下各类用地的需求量（表2）。

（1）自然发展情景（Q1）。基于2010年与2015年土地利用数据，利用Markov链，遵循自然发展规律的前提下不加入任何SDGs干预与引导，不改变用地类型间的转移概率，预测2030年研究区各类用地的总体需求面积。

（2）生态优先情景（Q2）。在城镇化进程中，典型的生态保护即是如何维持生态用地总量持恒<sup>[28]</sup>，维持土地系统生态功能的永续运行。SDGs 15中明确提出：“要保护、恢复和促进可持续发展，利用陆地生态系统，可持续管理森林，防治荒漠化，制止和扭转土地退化，遏制生物多样性的丧失”<sup>[3]</sup>。因此，研究基于2030年自然发展情景下的各类用地总需求，将裸地转为耕地、林地、草地、灌丛、湿地和水体比例增加30%，林地、草地、水体转为建设用地比例减少90%，耕地转化为林地、草地、灌丛、湿地和水体比例增加20%。同时，对于中亚五国来说，水资源极其匮乏，水资源是重要保护资源之一。根据SDGs 6.6“到2020年，保护和恢复与水有关的生态系统，包括山地、森林、湿地、河流、地下水层和湖泊”，强调了为实现可持续发展目标对水体生态系统保护的重要性。因此，在该情景中将水体设为限制发展区，将水体向其他地类转移的成本矩阵值设

表2 2030年各情景城市用地总需求

Table 2 Total urban land demand in the capitals of five Central Asian countries in 2030								(hm <sup>2</sup> )
	情景	耕地	林地	草地	湿地	水面	建设用地	裸地
努尔苏丹	Q1	116267	13018	69724	7516	25773	83478	3733
	Q2	115587	20233	70657	7666	26837	74801	3729
	Q3	114553	11415	69650	7487	25551	87315	3538
比什凯克	Q1	98857	2863	36346	4230	220	88904	281
	Q2	98851	3490	46357	4406	713	77604	280
	Q3	96748	2724	34121	4192	110	93564	241
杜尚别	Q1	6184	18306	134441	689	53	42703	3982
	Q2	5508	19923	139161	818	55	40869	24
	Q3	6149	18035	134326	668	53	43241	3886
塔什干	Q1	9998	6241	11541	24405	1732	148945	1025
	Q2	9036	17489	29106	44364	1798	101072	1023
	Q3	6533	3741	7761	20055	1723	163141	932
阿什哈巴德	Q1	52108	1817	5434	75	1231	58052	84014
	Q2	52653	1905	7780	75	1898	55024	83396
	Q3	51871	1803	4923	75	1083	66926	76050

为0。

(3) 经济优先情景 (Q3)。中亚国家属于发展中国家, 经济发展仍是未来城市发展的核心议题。SDGs 9 “建造具备抵御灾害能力的基础设施, 促进具有包容性的可持续工业化, 推动创新”, 在该情景中明确其他用地向建设用地转移的趋势, 促进区域城市化态势。因此, 本文基于2030年自然发展情景下的各用地类型的总需求, 将裸地转为建设用地比例增加50%, 耕地、林地、草地、湿地与水面转为建设用地增加20%。同时将坡度大于25°区域设为限制发展区域, 各类用地均可自由转移。

1.4.2 基于Markov-FLUS复合模型的城市用地变化模拟

FLUS (Future Land Use Stimulation) 模型能有效模拟未来不同情景下土地利用格局, 模拟社会、经济与自然等多种因子驱动的城市用地格局变化, 讨论未来变化趋势<sup>[29]</sup>。模型基于对未来城市扩张的需求, 利用神经网络对各类用地出现概率ANN (ANN-based Probability of Occurrence Estimation) 与自适应惯性竞争元胞自动机 (Self-adaptive Inertia and Competition Mechanism Cellular Automata) 进行拟合<sup>[30]</sup>。首先, 采用神经网络算法 (ANN), 结合初始年份土地利用数据与影响用地类型发生转变的驱动因子, 计算各个用地类型的适宜性概率。其次, 基于自适应惯性机制的元胞自动机模型 (CA), 结合用地类型的适应性概率、限制发展条件、未来土地总量需求等高精度模拟出未来特定情景下土地利用的具体情况, 模型避免了传统CA模型在元胞形态、邻域规则等方面有巨大局限的问题<sup>[31,32]</sup>。Markov链模型根据过去城市用地变化趋势, 预测未来不同土地利用转换率条件下各类用地的整体需求数量。研究结合SDGs设置FLUS与Markov模型的参数, 预测未来城市扩张的土地利用需求及模拟城市用地空间变化。

其中模型设置包括以下三个方面:

(1) 各类用地总量需求估计。以2010年与2015年土地利用历史数据为基础, 利用

Markov模型估计2030年自然状态下不同用地类型需求，通过不同情景设置，分别改变土地类型间转移概率，估计不同情景各类用地需求。

(2) 成本矩阵设置。FLUS模型需要讨论各类用地间变化的规则，若一种类型用地可以向另一类土地转化，其值为1，反之为0。对于中亚五国，研究设置了统一的成本矩阵。在生态优先情景中，由于研究区均存在水资源短缺且水资源浪费现象严重的问题，在设置成本矩阵时限制水体向其他类型用地进行转换，其余土地类型间相互转换不予限制。对于自然发展情景与经济优先情景不对成本矩阵进行限制，各类用地之间均可自由转换。

(3) 邻域权重设置。邻域权重为某类用地的扩张能力，其值越大表明扩张能力越强，越不容易发生用地类型的转变，然而目前对于邻域权重的设置大多采用经验数据进行讨论<sup>[33,34]</sup>，本文参考王保盛等<sup>[34]</sup>、曹帅等<sup>[35]</sup>研究利用各类用地历史扩张规律计算邻域权重，即同时段内各类用地总量变化量的标准化值进行讨论。研究区邻域权重设置如表3所示：

表3 邻域权重值设置  
Table 3 The value of the neighborhood weight

	耕地	林地	草地	湿地	水体	建设用地	裸地
努尔苏丹	1.000	0.000	0.430	0.614	0.645	0.705	0.586
比什凯克	1.000	0.473	0.000	0.441	0.488	0.771	0.382
杜尚别	0.000	0.636	1.000	0.465	0.458	0.580	0.071
塔什干	0.386	0.000	0.104	1.000	0.440	0.790	0.366
阿什哈巴德	0.596	0.564	0.375	0.495	0.433	1.000	0.000

2 结果分析

2.1 2010—2015年城市用地格局变化特征

首先对2010—2015年土地利用转移矩阵进行统计（表4、图3）。2015年，五个首都区主要以建设用地为主，生态类用地占比较低，解决水资源短缺仍是各首都区研究重点。由统计结果可知，建设用地的面积占比排名均在前三，为主要用地类型之一，在研究区内总面积均超过了400 hm<sup>2</sup>，占比超过20%。但是，水体总量均较少，努尔苏丹水体占比最大为5.05%，其余研究区水体占比均低于1.5%，水资源保护在中亚五国刻不容缓。努尔苏丹与比什凯克以耕地为主要用地类型，研究区内耕地面积均超过了1000 hm<sup>2</sup>，杜尚

表4 2010—2015年研究区土地利用变化率结果  
Table 4 Land use change rate in the capitals of five Central Asian countries between 2010 and 2015

2010—2015年 变化率	2010年						
	耕地	林地	草地	湿地	水体	建设用地	裸地
努尔苏丹	0.528	-0.655	-0.161	1.617	0.852	0.214	2.623
比什凯克	0.452	-0.490	-0.393	-0.509	-0.617	0.327	-0.976
杜尚别	-0.807	2.616	0.746	0.417	-0.387	0.333	-0.668
塔什干	-0.110	-0.578	-0.446	8.055	-0.092	0.418	-0.820
阿什哈巴德	0.036	1.837	-0.193	0.021	-0.334	0.233	-0.072



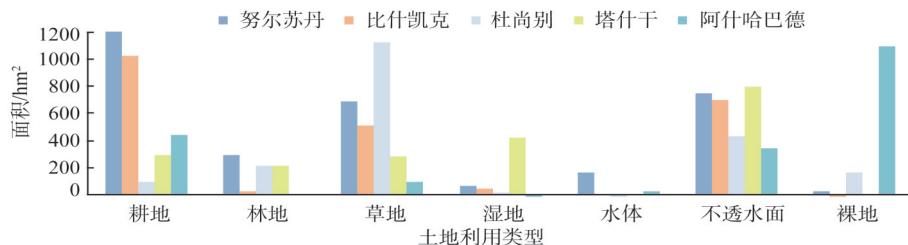


图3 2015年研究区土地利用结构

Fig. 3 The land use structure in the capitals of five Central Asian countries in 2015

别主要用地类型为草地，面积超过了1000 hm<sup>2</sup>。由于塔什干境内主要为平原地形，建设用地为主要利用类型，其各类用地面积占比均匀。阿什哈巴德域内以山区荒漠裸地为主，其裸地面积占比超过了33%。

从2010—2015年五个城市用地变化来看，建设用地均处于增加的态势，说明出现了不同程度的城市扩张现象。然而，努尔苏丹出现了裸地面积占比增加，部分用地丧失其生态系统功能或服务<sup>[36]</sup>的现象。研究区均存在生态类用地减少状况，特别是水资源用地，仅有努尔苏丹水体有小幅增长。对于草地，除杜尚别有所增加外，其余四个首都城市都产生了不同程度的减少。

## 2.2 2015—2030年城市扩张多情景分析结果

为讨论研究区在不同设定情景下未来城市用地变化特征，利用FLUS模型模拟了2030年五个首都区自然发展、生态优先与经济优先三个城市扩张情景。模拟结果如图4所示，Q1、Q2、Q3分别表示自然发展情景、生态优先情景与经济优先情景。

### (1) 多情景城市用地格局变化结果

由于地形因素与城市用地格局差异，针对不同情景土地利用限制，城市用地格局的动态响应机制互异。总体上，五个区域并没有因城市扩张而破坏了生态类用地的整体格局，即使是在经济优先情景下，只加速了生态用地的集聚。对于努尔苏丹研究区生态优先情景下，水体得到了显著的保护，水体分布更加集中，城市内部水体也未受到建设用地侵占。相较于2015年，城市西部与东南部水体面积有明显增加，生态优先情景对于水体的保护有着显著的效果。对于比什凯克而言，其主要用地类型为耕地，经济优先情景相较于自然发展情景，城市沿着城市边界进行扩张，侵占了城市内部楚河与北部的阿拉—阿尔恰水库水面，研究区南部塔特拉山脉的草地受到了建设用地的蚕食。在所有情景下，杜尚别北部裸地显著减少，特别是生态优先情景下北部大量裸地转化为草地。塔什干的城市扩张侵占了大量城市内部的其他用地，特别是城区南部以及西部的耕地。这源于塔什干主要位于平原区域，城市发展基础较好。只有在生态优先情景下的土地利用格局才能保证城市内部的生态系统平衡。阿什哈巴德裸地在未来情景模拟中得到了显著控制。南部主要以山地地形为主，该区域大量土地为裸地，随着城市扩张，山体边缘与城市临近区域由裸地转为建设用地，且在经济优先的情景下变化显著。

### (2) 多情景城市扩张变化规律

对比2015年与2030年城市用地格局变化发现，三种情景下五个城市建设用地均呈不同幅度的增长，且均表现为沿着2015年城市边界进行摊大饼式或沿着河流和道路进行轴



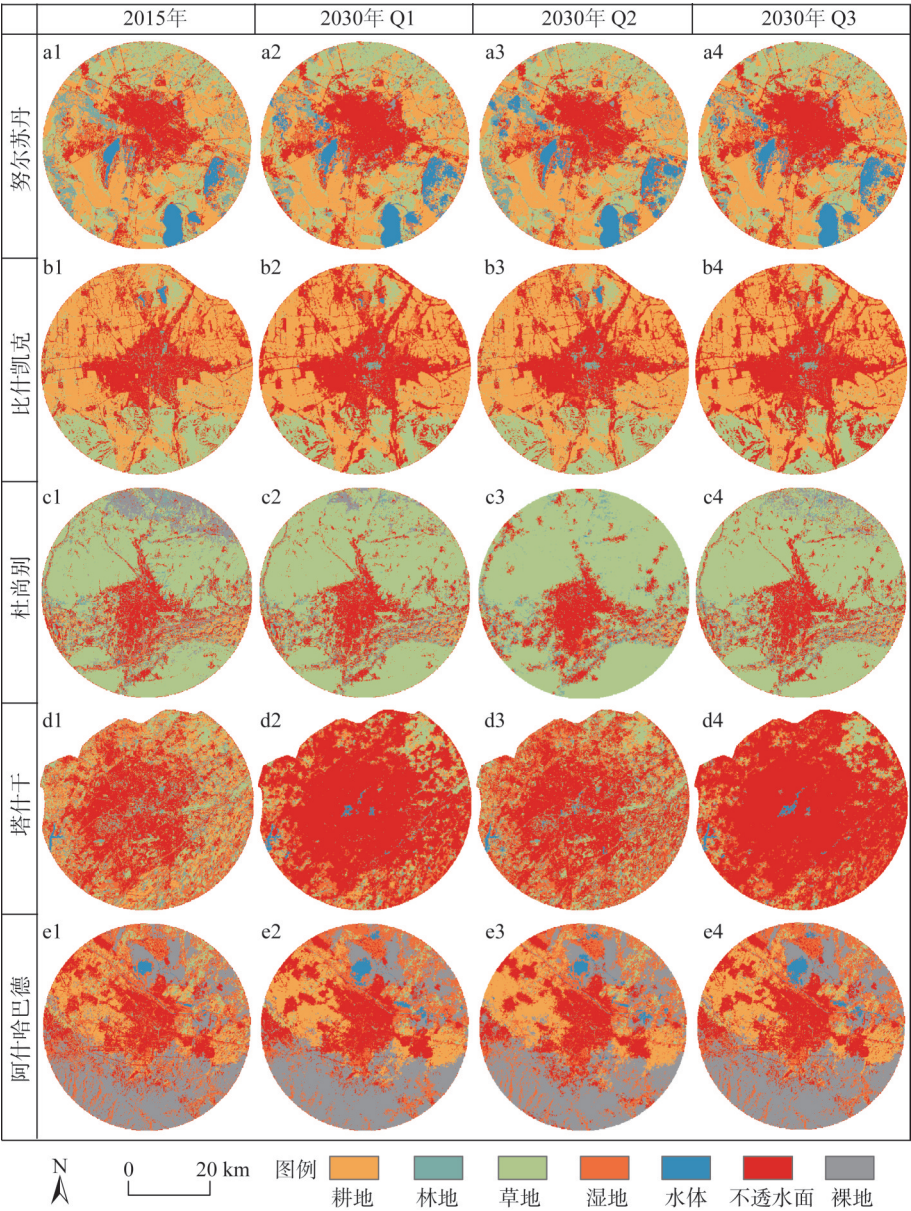


图4 2030年多情景城市土地利用结构

Fig. 4 Land use structure under multiple scenarios in the capitals of five Central Asian countries in 2030

线式扩张。自然发展情景下，五个首都区生态用地均出现不同程度地减少，建设用地增加；特别是努尔苏丹与比什凯克在自然发展情景下更是出现了裸地占比增加的现象。在生态优先情景下，由于对生态类用地（耕地、林地、草地、湿地及水体）进行了保护，该情景下建设用地的扩张速度得到了有效的遏制，生态类用地斑块更为集中，保留了大量的河流水面。在基于SDGs设定的生态优先情景预期结果中，各研究区均满足了SDGs 6与SDGs 15对水生生态系统和对森林生态系统的保护。然而，该情景也产生了明显裸地增加现象，与SDGs 15目标出现了偏差。在经济优先情景中，裸地逐渐转化为草地、林地

等,相较于自然发展情景,土地退化的现象得到了一定程度的遏制,同时恢复了部分已退化的土地的生态系统服务功能。由于该情景下建设用地的大量增加,将直接推动城市城镇化、工业化与基础设施建设,对于SDGs目标中消除社会贫困、支持经济发展、提升人类福祉意义重大。然而,城市内部生态类用地大量转化为建设用地,林地、水体等生态类用地减少且破碎化,更未实现SDGs 6、SDGs 9、SDGs 15等要求实现生态类用地的保护。

### 3 结论

研究以中亚五国首都城市区为例,面向SDGs设定城市土地利用发展情景和相应参数,采用Markov-FLUS模型模拟了2030年自然发展、生态优先与经济优先情景下的城市用地格局,并权衡了SDGs与多情景土地利用变化规律,得到以下结论:

(1) 2010—2015年五个首都区城市土地利用结果变化表明,各研究区主要用地类型仍为建设用地,且表现为不断扩张的趋势,而生态类用地总量在研究区内均有不同程度的减少。同时,努尔苏丹与阿什哈巴德出现了裸地总量增加的趋势。

(2) 多情景模拟结果表明,五个区域并没有因城市扩张而破坏了生态类用地的整体格局,即使是在经济优先情景下,仅加速了生态用地的集聚。生态优先情景对努尔苏丹西部与南部的水体保护绩效最为明显;经济发展情景加速了比什凯克建设用地对城市外围耕地的侵占;所有情景下杜尚别北部山区裸地将大大减少;塔什干和阿什哈巴德城区扩张将出现在城市南部。

(3) 对比三个城市扩张情景,自然发展情景城市建设用地持续增长,生态用地转变为裸地数量有所增加;生态优先情景保证了各类生态用地的总量不减与连片分布,相较于自然发展情景一定程度上抑制了城市扩张。经济优先情景下,城区建设用地扩张明显,建设用地分布更加集聚,生态类用地趋于破碎,裸地的数量有明显的减少,大量裸地转变为城市建设用地。

近年来,中亚五国的城市发展轨迹较为相近,均处于缓慢城镇化发展态势,生态类用地发生了不同程度的退化。在未来情景模拟结果中,自然发展情景下仍延续该趋势,生态优先情景可以有效控制生态类用地被侵占的速度,但不能有效控制耕地的面积减小,无法支撑城镇化的可持续发展。而经济优先情景下,出现城市建设用地单一化现象,生态类用地急剧减少,对于SDGs中生态保护的要求无法完成。未来对中亚五国的土地利用格局进行优化,可以统筹考虑生态优先与经济优先情景,在低海拔区域适当控制城市扩张,保证城市在一定限制条件下有序扩张,对实现SDGs 15中生态保护意义重大;对生态类用地分等定级,城市建设用地在限制条件下扩张,在保证良好人居环境的同时保证城市发展与经济增长;将生态保护纳入国家发展目标,以保护生物多样性与生态系统,在实现SDGs 6.6的同时保证经济发展;优化土地利用格局,实现城市用地合理扩张与生态用地分级保护,推动土地资源的可持续利用与SDGs 9的实现。

本文旨在通过对未来城市用地格局的模拟,权衡不同城市演化态势,推动城市有序扩张,实现城市可持续发展。通过不同情景的模拟,厘清城市未来不同发展需求下城市用地格局对生态与经济的影响,分析社会现状与SDGs间的差距,为发展政策的制定提供建议,更好地适应社会经济、城市发展与自然环境的迅速变化,实现土地的可持续利

用与 SDGs。基于土地的社会、经济和环境的耦合机制及相互影响路径, 本文可为各国实现 SDGs 提供有效的研究途径。但文章仍存在一定的不足, 如在未来城市用地格局变化的影响因素选择中仍存在一定的数据局限性, 在情景模拟中限制条件设定时未结合当地土地政策等条件限制, 讨论未来情景城市用地格局变化与实现可持续发展的路径。

### 参考文献(References):

- [1] ERIC K, NIKOLAS C, BRAIN S. Global warming and the carbon balance of boreal forests. *Ecological Applications*, 1995, 5(2): 437-451.
- [2] JOHNSON J, RUNGE C, SENAUER B, et al. Global food demand and carbon-preserving cropland expansion under varying levels of intensification. *Land Economics*, 2016, 92(4): 579-592.
- [3] United Nations (UN). The Sustainable Development Goals Report 2018. United Nations: New York, 2018.
- [4] CAMERON A, REEM N, JANA E, et al. Indicator-based assessments of progress towards the sustainable development goals (SDGs): A case study of the Arab region. *Sustainability Science*, 2017, 12(6): 975-989.
- [5] CHIARA C, DAGMAR H, BRUNO Z, et al. Is urban spatial development on the right track? Comparing strategies and trends in the European Union. *Landscape and Urban Planning*, 2019, 181: 22-37.
- [6] FULLMAN N, BARBER R M, ABAJOBIR A A, et al. Measuring progress and projecting attainment on the basis of past trends of the health-related sustainable development goals in 188 countries: An analysis from the global burden of disease study 2016. *Lancet*, 2017, 390(10100): 1423-1459.
- [7] 高峰, 赵雪雁, 宋晓谕, 等. 面向 SDGs 的美丽中国内涵与评价指标体系. *地球科学进展*, 2019, 34(3): 295-305. [GAO F, ZHAO X Y, SONG X Y, et al. Connotation and evaluation index system of beautiful China for SDGs. *Advances in Earth Science*, 2019, 34(3): 295-305.]
- [8] 朱婧, 孙新章, 何正. SDGs 框架下中国可持续发展评价指标研究. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(12): 9-18. [ZHU J, SUN X Z, HE Z. Research on China's sustainable development evaluation indicators in the framework of SDGs. *China Population, Resources and Environment*, 2018, 28(12): 9-18.]
- [9] WAAGE J, YAP C. Thinking beyond Sectors for Sustainable Development. London: Ubiquity Press, 2015.
- [10] ELDER M, BENGTSSON M, AKENJI L. An optimistic analysis of the means of implementation for sustainable development goals: Thinking about goals as means. *Sustainability*, 2016, 8(9): 962-986.
- [11] SHIVAKOTI B R, BENGTSSON M, ZUSMAN E, et al. Placing water at the core of the Sustainable Development Goals (SDGs): Why an integrated perspective is needed. Institute for Global Environmental Strategies: Hayama, Japan, 2015.
- [12] ELDER M, ZUSMAN E. Strengthening the linkages between air pollution and the sustainable development goals. Institute for Global Environmental Strategies: Kamiyamaguchi, Japan, 2016.
- [13] MARTIN D, LINDSAY C S. Informing investments in land degradation neutrality efforts: A triage approach to decision making. *Environmental Science and Policy*, 2018, 89: 198-205.
- [14] ALLEN C, METTERNICHT G, WIEDMANN T. National pathways to the Sustainable Development Goals (SDGs): A comparative review of scenario modelling tools. *Environmental Science & Policy*, 2016, 66: 199-207.
- [15] ALEX O. Biodiversity and the built environment: Implications for the Sustainable Development Goals (SDGs). *Resources, Conservation & Recycling*, 2019, 141: 1-7.
- [16] 陈耀亮, 罗格平, 叶辉, 等. 1975—2005 年中亚土地利用/覆被变化对森林生态系统碳储量的影响. *自然资源学报*, 2015, 30(3): 387-408. [CHEN Y L, LUO G P, YE H, et al. Sources and sinks of carbon caused by forest land use change from 1975 to 2005 in Central Asia. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(3): 387-408.]
- [17] United Nations (UN). World Population Prospects 2019. United Nations: New York, 2019.
- [18] LI Z, CHEN Y, LI W, et al. Potential impacts of climate change on vegetation dynamics in Central Asia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2015, 120(24): 12345-12356.
- [19] WU S H, LIU L L, LIU Y H, et al. The Belt and Road: Geographical pattern and regional risks. *Journal of Geographical Sciences*, 2019, 29(4): 483-495.
- [20] 陈桃, 包安明, 郭浩, 等. 中亚跨境流域生态脆弱性评价及其时空特征分析: 以阿姆河流域为例. *自然资源学报*,



- 2019, 34(12): 2643-2657. [CHEN T, BAO A M, GUO H, et al. Ecological vulnerability assessment for a transboundary basin in Central Asia and its spatiotemporal characteristics analysis: Taking Amu Darya River Basin as an example. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(12): 2643-2657.]
- [21] KARTHE D, CHALOV S, BORCHARDT D. Water resources and their management in Central Asia in the early twenty first century: Status, challenges and future prospects. *Environmental Earth Sciences*, 2015, 73(2): 487-499.
- [22] 程维明, 周成虎, 刘海江, 等. 玛纳斯河流域50年绿洲扩张及生态环境演变研究. *中国科学*, 2005, 35(11): 1074-1086. [CHENG W M, ZHOU C H, LIU H J, et al. Oasis expansion and ecological environment evolution in Manas River Basin in 50 Years. *Science in China*, 2005, 35(11): 1074-1086.]
- [23] GONG P, LIU H, ZHANG M H, et al. Stable classification with limited sample: Transferring a 30-m resolution sample set collected in 2015 to mapping 10-m resolution global land cover in 2017. *Science Bulletin*, 2019, 64(6): 370-373.
- [24] 段亚明, 刘勇, 刘秀华, 等. 基于POI大数据的重庆主城区多中心识别. *自然资源学报*, 2018, 33(5): 788-800. [DUAN Y M, LIU Y, LIU X H, et al. Identification of polycentric urban structure of Central Chongqing using points of interest big data. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(5): 788-800.]
- [25] LIU X P, 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. *Landscape and Urban Planning*, 2017, 168: 94-116.
- [26] LIANG X, LIU X P, LI D, et al. Urban growth simulation by incorporating planning policies into a CA: Based future land-use simulation model. *International Journal of Geographical Information Science*, 2018, 32(11): 2294-2316.
- [27] 陈颖彪, 郑子豪, 吴志峰, 等. 夜间灯光遥感数据应用综述和展望. *地理科学进展*, 2019, 38(2): 205-223. [CHEN Y B, ZHENG Z H, WU Z F, et al. Review and prospect of application of nighttime light remote sensing data. *Progress in Geography*, 2019, 38(2): 205-223.]
- [28] 邓红兵, 陈春娣, 刘昕. 区域生态用地的概念及分类. *生态学报*, 2009, 29(3): 1519-1524. [DENG H B, CHEN C D, LIU X. Conception and function classification of regional ecological land. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3): 1519-1524.]
- [29] LIU X P, OU J P, LI X, et al. Combining system dynamics and hybrid particle swarm optimization for land use allocation. *Ecological Modelling*, 2013, 257(2): 11-24.
- [30] XIANG W N, CLARKE K C. The use of scenarios in land-use planning. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2003, 30(6): 885-909.
- [31] HUANG Q X, HE C Y, LIU Z F, et al. Modeling the impacts of drying trend scenarios on land systems in Northern China using an integrated SD and CA model. *Science China Earth Sciences*, 2014, 57(4): 839-854.
- [32] LI X, YEH A G. Modelling sustainable urban development by the integration of constrained cellular automata and GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 2000, 14(2): 131-152.
- [33] 刘晓娟, 黎夏, 梁迅, 等. 基于FLUS-InVEST模型的中国未来土地利用变化及其对碳储量影响的模拟. *热带地理*, 2019, 39(3): 397-409. [LIU X J, LI X, LIANG X, et al. Simulating the change of terrestrial carbon storage in china based on the FLUS-InVEST model. *Tropical Geography*, 2019, 39(3): 397-409.]
- [34] 王保盛, 廖江福, 祝薇, 等. 基于历史情景的FLUS模型邻域权重设置: 以闽三角城市群2030年土地利用模拟为例. *生态学报*, 2019, 39(12): 4284-4298. [WANG B S, LIAO J F, ZHU W, et al. The weight of neighborhood setting of the FLUS model based on a historical scenario: A case study of land use simulation of urban agglomeration of the golden triangle of southern Fujian in 2030. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(12): 4284-4298.]
- [35] 曹帅, 金晓斌, 杨绪红, 等. 耦合MOP与GeoSOS-FLUS模型的县级土地利用结构与布局复合优化. *自然资源学报*, 2019, 34(6): 1171-1185. [CAO S, JIN X B, YANG X H, et al. Coupled MOP and GeoSOS-FLUS models research on optimization of land use structure and layout in Jintan district. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(6): 1171-1185.]
- [36] 郭晓娜, 陈睿山, 李强, 等. 土地退化过程、机制与影响: 以土地退化与恢复专题评估报告为基础. *生态学报*, 2019, 39(17): 6567-6575. [GUO X N, CHEN R S, LI Q, et al. Processes, mechanisms, and impacts of land degradation in the IPBES Thematic Assessment. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(17): 6567-6575.]



## Multi-scenario urban expansion simulation for SDGs: Taking the Central Asian region along the Belt and Road as an example

XIONG Jin-hui<sup>1</sup>, YUE Wen-ze<sup>1</sup>, CHEN Yang<sup>1</sup>, LIAO Rong<sup>2</sup>, FANG Kai<sup>1</sup>

(1. Department of land Management, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China;

2. China Land Surveying and Planning Institute, Beijing 100035, China)

**Abstract:** In the context of the global initiative for the Sustainable Development Goals (SDGs), cities, as the main place for human activities, are not only the focal point of the SDGs, but also the focus of implementation of the SDGs in countries around the world. Taking the urban areas of the capitals of five Central Asian countries along the Belt and Road as an example, this study sets development scenarios and corresponding parameters towards SDGs, and uses the Markov-FLUS model to simulate the urban development pattern under natural development scenarios, ecological priority scenarios and economic priority scenarios in 2030. The change patterns of urban land use under the SDGs are estimated. The study provide a basis for decision-making in urban development through coordinating the city's society, ecology, and economy from a spatial perspective. The results show that: (1) From 2010 to 2015, the total amount of construction land in the study area increased and the total amount of ecological land decreased. (2) Ecological land fragmentation caused by the expansion of construction land occurred in future scenario simulations, ecological priority scenarios effectively inhibited the expansion of construction land, land converted to bare land has been reduced in the economic priority scenario, and construction land has been continuously expanding. (3) Future urban development should coordinate ecological protection and economic development, integrate ecological protection concepts into urban construction, and implement national policies to promote land resources sustainable use and promotion of the 2030 United Nations Sustainable Development Goals.

**Keywords:** urban land use; SDGs; FLUS model; scenario simulation; capitals of Central Asian countries