

# 适应城市发展需求与风险的土地适宜性评价\* ——以太原市“城六区”为例

## The Land Suitability Evaluation for Adapting to the Demands and Risks of Urban Development: A Case Study of Six-district of Taiyuan

王云才 黄俊达 WANG Yuncai, HUANG Junda

**摘要** 梳理城市的资源基底,明确城市未来发展需求,为城市发展提供科学、合理的土地资源利用意见。以太原市“城六区”为研究区,从城市的现状生态环境、未来土地需求和气候风险出发,构建面向未来需求的土地多目标适宜性综合评价体系。运用ArcGIS进行空间数据叠加,测算土地不同适宜度的规模与分布,分析现状开发状态与未来发展需求之间的差异,评价土地资源现状,并提出优化建议。研究表明,研究区内高适宜区主要集中于南部的新城区、北部分河上游的河谷平原,能够为城市未来发展提供足量空间。

**Abstract** This paper sorts out the resource base of the city and defines the future development demands, which can provide scientific and reasonable advice on the utilization of land resources for urban development. Based on the city's current ecological environment, future land demands and climate risks, we build a multi-objective land suitability evaluation system, with the “six-district” of Taiyuan city as the research area. In this paper, ArcGIS is used to superimpose spatial data and measure the scale and distribution of different suitability of land. Then, we analyze the difference between current development status and future development needs. Finally, by evaluating the present situation of land resources, the paper puts forward some suggestions for optimization. The research results show that the high suitable area is mainly concentrated in the new urban area in the south and the river valley plain in the upper reaches of Fen River in the north, which can provide sufficient space for the future development of the city.

**关键词** 未来需求;适宜性;国土空间规划;太原市

**Key words** future demand; suitability evaluation; territory spatial planning; Taiyuan City

文章编号 1673-8985 (2020) 01-0001-07 中图分类号 TU981 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. sup. 20200101

### 作者简介

#### 王云才

同济大学建筑与城市规划学院

教授、博士生导师,景观学系副主任

生态城市设计国际联合实验室国土空间生态规划与环境效应中心 主任

同济大学生态智慧与生态实践研究中心、

城乡生态规划设计国际联合研究中心 副主任

#### 黄俊达

同济大学建筑与城市规划学院

博士研究生

### 1 国土空间开发适宜性评价

#### 1.1 国土空间开发适宜性的评价思路分析

改革开放后,快速城镇化极大地促进了城市人口增加与产业集聚。但同时,伴随城市热岛、内涝、用地冲突等城市问题,国土资源开发与保护的矛盾也逐渐扩大<sup>[1]</sup>。由此,中共中央、国务院发布《关于建立国土空间规划

体系并监督实施的若干意见》,指出“在资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价的基础上划定生态保护红线、永久基本农田、城镇开发边界等空间管控边界以及各类海域保护线,为可持续发展预留空间<sup>[2]</sup>”。资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价(以下简称“双评价”)作为国土空间规划的基础,其

\* 基金项目:国家自然科学基金面上项目“图式语言尺度嵌套机理及其适应性设计方法”(编号51978479)。

是否全面和客观将直接影响后续规划有效与否。其中,国土空间开发适宜性评价是在分析各类限制要素的基础上,以土地合理利用为目标,根据特定目的对土地进行鉴定,并阐述土地的适宜程度<sup>[3]</sup>。究其本质是明确现状空间的承载能力及生态环境容量标准等限制性条件,并通过评价综合区位条件、生态风险等指标,划定适宜建设的界限,推演土地利用的合理结构与最优空间模式,以及识别未开发的适宜与不适宜空间<sup>[4]</sup>。

## 1.2 国土空间开发适宜性评价需要应对未来发展需求

“双评价”通过反映现状环境的优势与短板,综合评判区域未来发展的潜力,引导空间布局的优化,增强空间规划的合理性和协调性<sup>[5]</sup>。即要求适宜性评价在识别具有地域特征的本底条件基础上,结合影响未来发展的多重因子进行综合分析,实现区域的可持续发展。然而,受自然生态系统和社会经济系统影响,土地开发模式存在着多重系统的复杂性和不确定性,导致现状区域资源本底与未来发展的需求之间往往难以取得较好的契合<sup>[6]</sup>。同时,现阶段适宜性评价尚未考虑自然环境的一部分动态因子,如水资源利用的人为变更、气候条件的演变、水环境和大气环境质量等对建设用地适宜性的影响,并忽视了未来发展过程中不同区域现状问题和发展目标的差异性、共通性。因此,需要从城市未来发展的需求侧出发,结合未来土地的空间需求、未来气候变化等进行分析,整合形成土地开发的综合评价,与未来规划的用地相融合,满足区域的可持续发展。

## 2 面向未来需求的土地多目标适宜性评价框架

### 2.1 未来需求与土地多目标适宜性评价解决的关键问题

城市发展必然伴随对土地增量增效的需求。因此,未来需求所应对的是城市发展过程中必然或可能出现的土地、气候、水文需求等

问题。而土地多目标适宜性评价的关键问题是基于上述对未来需求的预判,在既定区域同时实现对多个目标的最优解,以生态、社会效益为导向,分析土地开发模式的适宜程度高低,构建一套土地开发模式与多源主导因素相关的评价体系。其中,多源主导因素的筛选与权重赋值便是对未来需求的测度,其与决策者的主观偏好、可预期的评价目标直接相关。

与此同时,无论是评价人类与自然关系中所反映的尺度与界线问题,还是城市在未来如何实现可持续发展问题,一旦落实到国土空间的具体管控和实施中,便会聚焦于协调土地开发和保护的关系<sup>[7]</sup>。而城市的土地开发和保护涉及多领域、多维度的相互干预,如地势平坦、水土光热等条件优越的区域,与开发条件和适宜人类活动的区域往往存在适宜开发与保护之间的矛盾。因此,一方面在梳理城市现状的基础上,如河流、森林、现状开发强度等,对土地资源及其环境和开发条件进行综合定量评价,得到数量化的指标体系,最终实现限制空间与可开发空间之间的相互匹配<sup>[8]</sup>。另一方面,总结提炼城市内外部的生态问题,筛选重要风险因素,明确不同风险因素对土地开发生产生的差异化影响。例如,城市热岛效应和内涝作为最具代表性的风险因素,集中体现在土地开发和水热环境的变更上,并通过区域范围的联动效应影响城市居民的生产生活。尤其在面对资源城市的转型发展时,能够为未来的可持续发展提供决策依据,合理调节土地保护与利用的矛盾,对土地的合理分配与存量优化进行有效引导。因此,通过构建一套基于未来需求与实现多目标发展的土地适宜性评价体系,来满足城市发展的土地需求,削弱城市内涝、缓解热岛效应等产生的持续性影响,实现土地结构的优化与调整。

### 2.2 适应发展需求和风险的土地多目标适宜性评价框架

综上所述,相比于传统的单一目标土地适宜性评价,满足未来需求、削弱发展风险的

土地多目标适宜性评价能够综合评判同一尺度下土地的开发适宜情况,将多类影响开发潜力的因子纳入指标体系,明确生产、生活、生态协同发展的要求。其中,需着重注意以下问题:(1) 对分析评价的综合与简化。对于城市这么一个复杂的系统而言,应使评价过程复杂化和综合化,对评价结果进行简化,如分析土地面向多需求的适宜程度,明确最优开发的空間落位。(2) 梳理现状,并面向未来预警。自然环境作为极其敏感的系统,人为的土地开发将直接影响生态功能的退化和生境消亡。因此,需要综合评判自然现状和发展趋势,实现对人地关系的动态监测、对未来发展的动态预警<sup>[9]</sup>。

依据“目标导向”的思维路径,从城市的环境本底和未来需求出发,构建面向未来需求的土地多适宜性评价框架(见图1)。首先,基于现状城市生态环境分析,通过遥感数据与实地调研,明确现存生态环境的优劣情况,识别重点生态保护区域和可发展空间。其次,对接城市土地的上位规划,分析各类用地对生态的扰动程度。而后,分析未来城市气候影响,选取易量化的指标:通过温区分级,对陆地表面温度(Land surface temperature, LST)进行冷、热岛的界定;通过实地调研内涝现状,确定受影响范围。最后,通过归一处理,叠加上述数据,得到面向未来需求的土地多目标适宜性评价,进而分析现存土地开发利用的优劣势区域分布,指导城市未来发展。

## 3 城市发展需求与风险对土地影响评价

### 3.1 研究区域概况与数据处理

太原市(111° 30' —113° 09' E、37° 27' —38° 25' N)地处山西省境中央,年平均降雨量456 mm,属于暖温带大陆性季风气候<sup>[10]</sup>。研究区域为太原市杏花岭区、迎泽区、小店区、尖草坪区、万柏林区和晋源区组成的“城六区”。区域内以山地和平原为主,地势北高南低,汾河自北向南横贯城市全境。

自2006年至2016年间,“城六区”建设用地增加163 km<sup>2</sup>,相比2006年增长82.74%。

早期粗放的城市发展模式与管理的缺失,对城市整体的生态环境造成不同程度的破坏。首先,城市内部河湖水量整体偏少,部分河流基流不保,水源涵养能力欠佳;伴随不合理的土地开发、设施配置,在主要交通节点普遍存在内涝现象,且分布广泛。其次,城市绿地面积大,但空间布局不合理,破碎度较高。同时,作为重要的能源、重工业基地,太原市已形成散点状的重工业集聚区,不仅导致局部区域气温的明显提高,还加剧了生境破碎化。城市外围由于城市发展初期矿石资源的大肆开采,导致环城山体遭受严重破坏,尤其浅山区域存在生境破碎、用地混乱等现象,裸露地、滑坡、地表沉陷等灾害频发。而现阶段人工复绿栽植的植被树龄偏幼、总体绿量偏少,仍无法较好地实现水土保持、涵养地下水等功能,易与城市内部的生态问题形成连锁反应。

空间数据主要来源于太原市规划局提供的1:2 000地形图、太原市土地利用现状图、《太原统计年鉴》和《太原市都市区总体规划2015—2035年》。遥感影像数据来源于地理空间数据云(www.gscloud.cn),采用Landsat数据,时间为2018年8月15日,空间分辨率为30 m×30 m,研究区域内无云层遮挡,数据质量较好。在资料收集的基础上,对数据进行辐射定标、大气校正、几何校正、图像拼接和裁剪等预处理。

### 3.2 城市国土生态综合指数评价

城市环境是以人口、建筑物和构筑物为主体的环境,在反映其生态质量的众多因子中,绿度、湿度、热度、干度作为人类直观感受生态条件优劣的重要指标,常用于生态环境的评价分析<sup>[11]</sup>。由此,利用卫星遥感同步观测数据的时效性、综合性和可比性特点,提取与生产、生活较为密切的数据,即选取植被指数、地表温度、缨帽变换的湿度分量以及用建筑和裸土指数,对生态系统进行客观评价<sup>[12]</sup>。对单一指标进行量纲统一,运用多元统计方法中的主成分分析法(PCA)计算4个指标对各主分量的贡献度,以此确定各指标权重,避免人

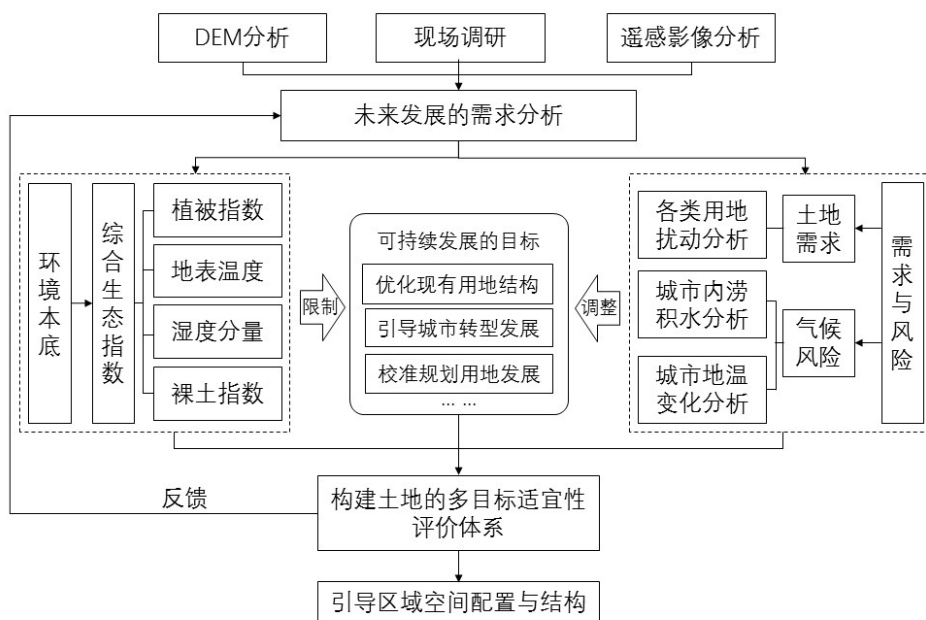


图1 土地多目标适宜性评价的方法框架  
资料来源:笔者自绘。

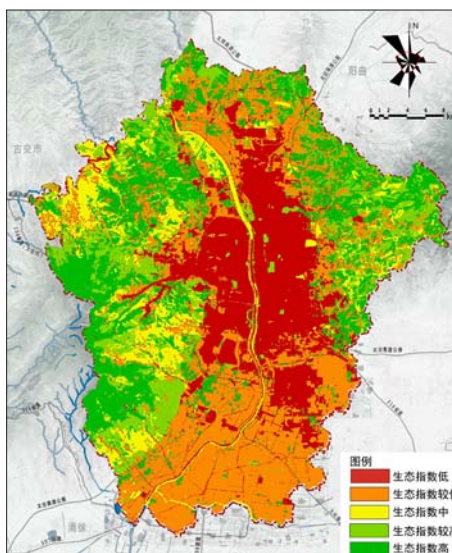


图2 太原市“城六区”综合生态指数分级图  
资料来源:笔者自绘。

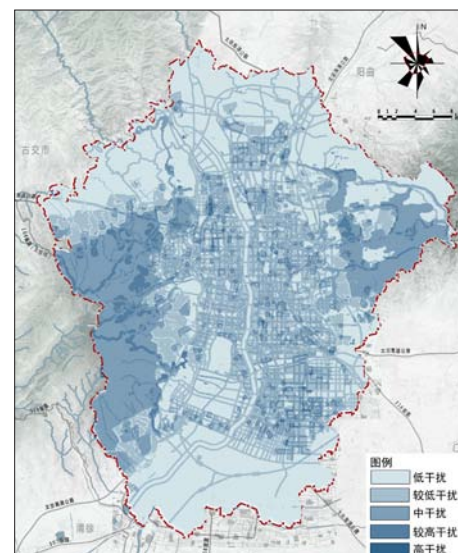


图3 太原市“城六区”用地扰动图  
资料来源:笔者自绘。

为赋值对结果产生主观影响,最终得到太原市“城六区”综合生态指数RSEI,以此建立土地利用类型与基于景观格局的生态风险之间的联系。综合生态指数的计算公式如下:

$$RSEI = \int (VI, Wet, LST, NDBSI) \quad (1)$$

式中,VI为植被指数,Wet为湿度分量,

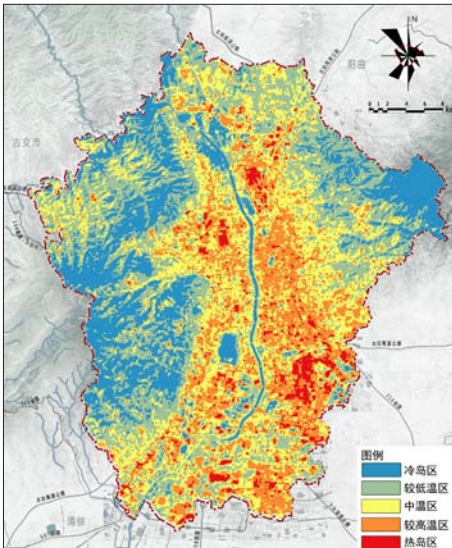
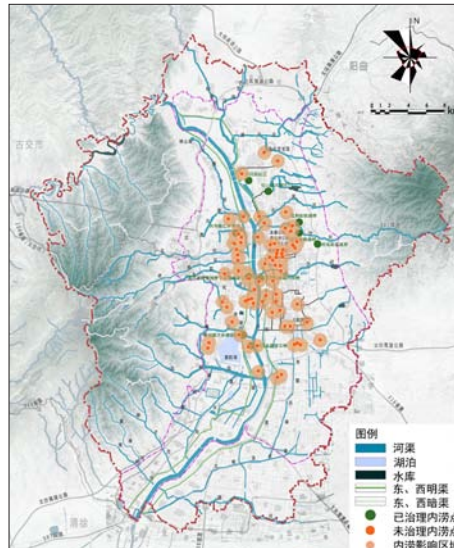
LST为地表温度,NDBSI为建筑和裸土指数。

利用ArcGIS进行自然断点处理,得到生态环境优劣的空间分布图,其中默认水域作为生态优区域,并依次划分为“生态指数高、生态指数较高、生态指数中、生态指数较低、生态指数低”5个等级(见图2)。生态指数的高低对应于生态的优劣,其中生态指数高和较高的面积为531.4 km<sup>2</sup>,占总土地面积的

表1 生态干扰度因子分类评价标准表

干扰项	干扰因子	缓冲距离/m	赋值
生活 (20%)	村庄用地	0	7
	居住用地 (R)、公共管理与公共服务用地 (A)、商业服务业设施用地 (B)	0	9
	灌木林地、旱地、裸地、其他地	0	1
	坑塘水面、水库水面、沟渠	50	3
生产 (30%)	工业用地 (M)	200	7
	采矿用地 (H5)	400	9
	采矿扰动区、塌陷区、滑坡	0	9
	公用设施用地 (U)、风景名胜及特殊用地	0	3
设施用地 (10%)	水工建筑用地	0	5
	物流仓储用地 (W)	0	7
	农村道路	50	3
交通 (30%)	城市道路	60	5
	城市主要道路	100	9
	东、西山旅游公路主路	150	7
	东、西山旅游公路次路	80	5
	高速公路、国道、省道	200	7
	铁路用地 (H21)	400	9
	机场用地 (H24)	700	9
	其他用地 (10%)	水域 (E)、其他非建设用地 (E9)、有林地	0

资料来源:笔者自制。

图4 太原市“城六区”地温分布图  
资料来源:笔者自绘。图5 太原市“城六区”内涝积水分布图  
资料来源:笔者自绘。

37.1%, 主要以东、西、北三山围合形成生态较好的扇形区域;生态指数中的区域分布于东西山的浅山区域,面积为209.5 km<sup>2</sup>, 占总土地面积的14.6%;生态指数较低和低区为围绕汾河河谷的城区,面积约为655.4 km<sup>2</sup>, 占总土地面积的48.3%。老城区基本为生态差区域,南部新城相比老城较好;东、西山浅山区和后山局部存在一定面积的生态较差区

域,主要涉及采石采矿用地;北山浅山区则以破碎的农耕地为主,呈现生态较差的状态。

### 3.3 城市用地的开发需求评价

干扰度作为体现人类活动对生态环境干预的强度,能够直观地反映不同用地对生态环境的破坏度,即明确为实现总体规划的用地布局与规模,区域土地资源的适宜性<sup>[13]</sup>。依

托《太原市都市区规划》以解决现状问题、预测未来城市需求为导向,聚焦城市内部的场所营造与空间构建,结合现状周边山地的采空塌陷区域,反映土地利用在未来可能存在的扰动影响。因此,基于前人对生态干扰度的相关研究<sup>[14]</sup>,以及专家判别、野外调查等对干扰度指数进行制定和调整,相关分类的权重及赋值见表1。利用ArcGIS进行空间运算,采用自然断点法将结果分为干扰度、较高干扰度、中干扰度、较低干扰度、低干扰度5个等级(见图3)。

分析结果表明,未来土地利用存在以下特点:(1) 干扰度呈现东西山地高、城区低的分布特点,高和较高干扰区域集中于采空塌陷区、尾矿点和道路沿线,城市与城郊交界面存在若干个点状高干扰区域,其面积约287.8 km<sup>2</sup>, 占总土地面积的19.7%;(2) 城市外围以低干扰度为主,面积约504.8 km<sup>2</sup>, 占总土地面积的34.6%,内部则分布中干扰度、较高干扰度区域,其中河流、主要道路和工业用地干扰度较高。

## 3.4 城市气候变化的风险评价

### 3.4.1 城市热岛的风险影响

伴随城市人口、产业的集聚,城市化进程的不断加快,形成城市核心区域的温度一直高于周围环境的现象,即城市热岛效应<sup>[15]</sup>。城市热岛所引起的能源消耗增加、不同程度的干旱、洪涝灾害,以及高温相关的死亡率提高等<sup>[16]</sup>,对城市可持续发展有着极大的危害。土地利用变化作为城市热岛的内在驱动力<sup>[17]</sup>,其不同属性的用地所呈现的地表温度存在差异,如工业用地、物流仓储用地等相较于周边区域往往呈现高温的态势。

采用单通道算法 (Single channel method, SCM),减少对实时大气参数的需求量,计算公式如下<sup>[18]</sup>:

$$LST = \gamma[\varepsilon^{-1}(\varphi_1 L + \varphi_2) + \varphi_3] + \delta$$

$$\gamma \approx T^2 / (b_\gamma L) \quad \delta \approx T - T^2 / b_\gamma \quad (2)$$

式中  $\varepsilon$  为地表比辐射率,在本次试

验中 $b_{\gamma}$ 为热红外波段10的参数,值为 $TIRS_{10}=1\ 324\ K$ , $L$ 为光谱辐射值, $T$ 为由热红外波段转换出的亮温值。

通过Landsat8卫星的热红外波段Band10 (10.6—11.2  $\mu m$ ) 数据对太原市“城六区”范围内的LST进行反演(见图4),并利用自然断点法分为5个温区:热岛区、较高温区、中温区、较低温区和冷岛区。将热岛区、冷岛区的范围和面积进行单独提取,其中热岛区划定为城市发展的不适宜区域,面积为46.22  $km^2$ ,占总土地面积的3.3%;冷岛区划定为城市发展中需保护的区域,面积为280.12  $km^2$ ,占总土地面积的19.8%。与现状城市用地对比,前者呈现4个主要高温区:城北的太钢产业园区,城西太原科技大学、友喜小区等教育住宅聚集区,武宿机场周边产业园区,以及城南散布的工业园、高校等。而后者则分布于东、西山的高海拔地区,城区内的河流湖泊等水体,以及公园、绿道等绿地。

从城市热岛效应的分析来看,太原“城六区”热岛效应明显,热岛分布不仅面积广而且影响深远。不仅集中在城市中心区域而且向乡村和周边山区扩散。与之相对是周边山地因林地植被覆盖度低植被绿量小,使得山区的冷岛效应受到制约而大幅度下降。与此同时,冷岛不仅面积小,而且空间碎化度高,冷岛中心缺乏,与热岛形成巨大的反差。

更为重要的是由于热岛效应和冷岛效应之间作用强度的减弱,建立在城区与山地之间的空气循环过程受到严重制约,导致东西向静风现象、城市逆温层现象、雾霾聚集现象和午后多雷暴等环境效应。

### 3.4.2 城市内涝的风险影响

近几年,太原市受大规模建设影响,如棚改房、大量棚户区拆除重建,新建、改建道路等。同时受边山支流硬化影响,水循环系统和地表径流过程恶化,导致城区雨水调蓄能力下降,在每年5月—10月雨季存在不同程度的内涝灾害。因此,须将城市内涝范围纳入城市发展风险。依据《太原市海绵城市专项规划(2016—2020年)》,结合现场调研,将现存

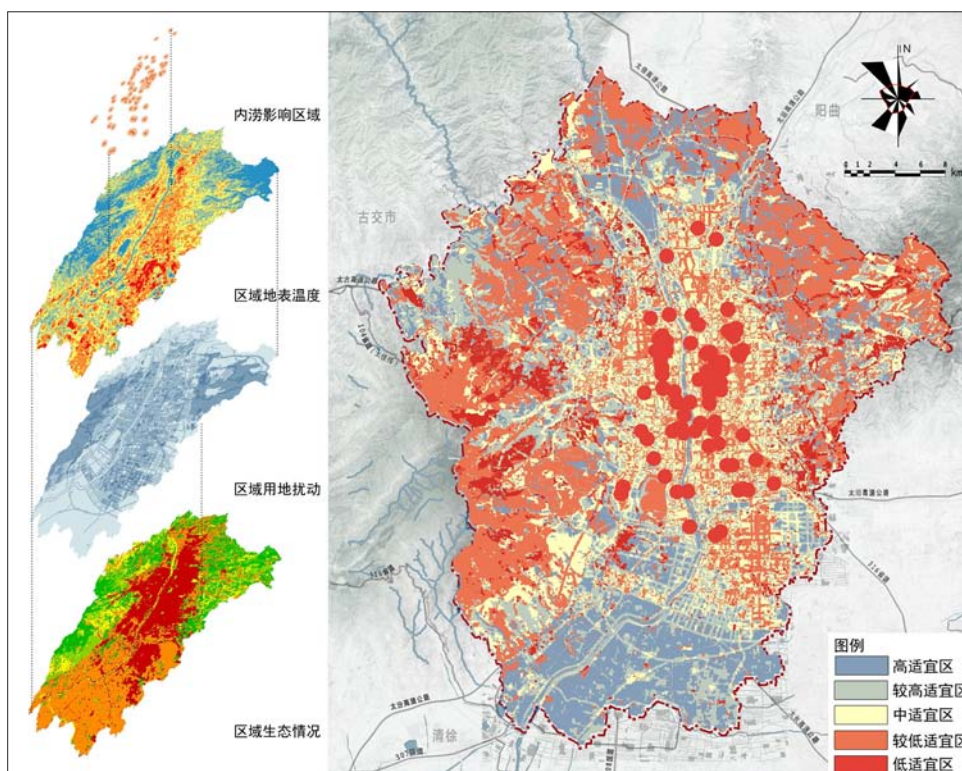


图6 太原市“城六区”土地适宜性评价图  
资料来源:笔者自绘。

表2 土地多目标适宜性评价结果统计

适宜性分级	面积/ $km^2$	所占比例/%
高适宜区	269.76	18.8
较高适宜区	231.39	16.3
中适宜区	327.02	22.8
较低适宜区	462.33	32.3
低适宜区	140.84	9.8

资料来源:笔者自制。

的75个内涝点设置600 m半径的圆形缓冲区(见图5)。

分析结果表明,城区内受内涝影响的区域共计59.3  $km^2$ ,集中分布于汾河两侧老城区的河渠附近。尤其在兴华街汇丰市场附近(大黑水河与排洪渠交汇末端)、老城区中心地带(迎泽公园、龙潭公园周边)、城南高架立交附近,内涝受灾较为严重。这与城北大、小黑水河末端排洪能力弱,城南退水渠汇水面积大、管网标准低,以及部分地势低洼地区进行施工作业等情况相吻合。

## 4 适应发展需求的城市土地适宜性评价

聚焦于城市未来的多种综合需求,通过ArcGIS软件的空间重分类分析功能,对研究区域的生态综合指数图、生态干扰度分布图、LST分布图、内涝缓冲区域图进行数据归一化处理。在对各数据分项权重的确定过程中,采取专家咨询、专家评价,以及参考国内外文献分析<sup>[19-21]</sup>等方法,最终确定:生态综合指数为0.4,城市用地的开发需求为0.2,城市热岛的风险需求为0.2,城市内涝的风险需求为0.2。利用ArcGIS软件自然间断点分级法,共分为5个等级:“高、较高、中、较低、低”(见图6)。对各适宜性等级用地占比和总面积进行定性、定量分析(见表2)。

#### 4.1 土地适宜性分布呈现“东西分散、南北部集中”的特征

通过图6,发现土地适宜性分布与现状土地利用、地理环境等具有较密切的空间关系。利用ArcGIS对5个适宜性等级进行面积计算(见表2),高适宜区面积为269.76 km<sup>2</sup>,占研究区域土地总面积的18.8%,主要集中于南部的新城、北部汾河上游的河谷平原;较高适宜区面积为231.39 km<sup>2</sup>,占土地总面积的16.3%,分布于东、西、北三山的浅山地、边山支沟的河谷与山间缓坡区;中适宜区面积为327.02 km<sup>2</sup>,占土地总面积的22.8%,主要分布于现状老城区和已开发的浅山区,部分散布于山间村庄、采矿采石地等;低及较低适宜区面积为603.17 km<sup>2</sup>,占土地总面积的42.2%,主要分布于三山的高海拔的深山地区、部分浅山区复绿区和交通主干道交叉区域。

#### 4.2 土地规划布局的优化调整

太原市“城六区”的土地多目标适宜性是从空间上对自然环境、景观格局和社会发展3个维度多重影响因子综合分析的结果。对比近期城市发展规划,评价整体符合研究区域的实际情况。未来,太原市城市发展应以南部平原地区为核心,依托已规划的潇河新城、清徐县北侧,通过太中银铁路串联老城区,形成工业、制造业与居住、服务业的联动。城市北部及东西山也有部分适宜性较高的空间,但由于早期采矿采石造成的地灾问题,存在安全隐患,且大范围开发易阻断生态源地间的连接,不利于生态流流动。建议在确保区域生态安全的前提下,结合城郊森林公园进行低干扰的开发建设。同时,伴随太原市积极开展造林复绿工程,对裸露地、滑坡、采矿采石地进行人工造林,但复绿区多处于浅山区,具有较高的生态敏感度,不适于任何形式的开发,宜进行山地景观的改造和提升。还有一部分位于海拔较高、交通不便后山的适宜区,宜发展各类用材林和水源涵养林。

#### 4.3 适宜性评价方法的优化

对于面向城市未来发展的土地适宜性评价,应侧重于综合评价因子的选择与处理、基于城市发展需求构建动态分析模型、高适宜区域划定和验证等方面的研究。首先,应充分考虑影响因子的变化性,如本文在气候需求中选择城市地表温度和内涝积水指标,其本身对土地的开发利用影响较小,但长期不进行约束、增值超过一定范围后,将对自身及周边区域的居民生产、生活产生严重威胁。其次,虽然本文从气候变化、城市规划等角度进行综合考量,但除此之外是否存在其余影响城市发展的关键因子还有待进一步研究。同时,受到时间和资料限制,仍存在一定不足,部分对城市发展有重要影响的变量还未纳入定量分析,如人类活动因子、土壤侵蚀、地质环境变化等。

### 5 结语

城市作为“山水林田湖草人”构成的生态共同体,由不同尺度、规模的生态空间组成。而不断扩张的城市规模对高度密集的物质流、能量流、信息流提出了巨大需求,普遍呈现出一个重要现象:快速增长的城市土地需求和逐渐下降的生态供给能力<sup>[22]</sup>。因此,平衡城市的生态供给与发展需求是落实生态文明建设和可持续发展的基石。从解决问题与实现目标双重途径着手,需要重点关注以下问题:城市内部和外围空间的生态协调、不同城市差异化发展的需求、规划目标与现状条件之间的平衡等<sup>[23]</sup>。

本文研究城市尺度的空间格局规划,基于生态环境现状特征与城市未来的风险预测,注重城市发展建设与生态保护相互协调的太原市“城六区”发展。研究基于目标导向和问题导向,构建生态本底与人为扰动的土地多目标适宜性评价体系,形成城市未来发展的需求框架。评价以ENVI/RS/ArcGIS软件为基础,对重要生态空间和发展空间进行识别,最终从可持续发展的角度提出对现状空间的调整,以期能有效反映城市空间中面对差异化发展的不同需求,指导土地资源的

合理分配,达到生态系统与人类发展相互契合的目标。在未来的研究中,可以尝试不断获取精确的基础数据、丰富评价因子的选择、引入更为高效的综合模型等,分析难以量化的因子和数据背后的驱动关系,从而完善和改进评价成果。■

### 参考文献 References

- [1] 蒋艳灵,刘春腊,周长青,等. 中国生态城市理论研究现状与实践问题思考[J]. 地理研究, 2015, 34(12): 2222-2237.  
JIANG Yanling, LIU Chunla, ZHOU Changqing, et al. Overview of theoretical research and practical considerations on eco-cities of China[J]. Geographical Research, 2015, 34(12): 2222-2237.
- [2] 樊杰,周侃,陈东. 生态文明建设中优化国土空间开发格局的经济地理学研究创新与应用实践[J]. 经济地理, 2013, 33(1): 1-8.  
FAN Jie, ZHOU Kan, CHEN Dong. Innovation and practice of economic geography for optimizing spatial development pattern in construction of ecological civilization[J]. Economic Geography, 2013, 33(1): 1-8.
- [3] 刘黎明. 土地资源调查与评价[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2004: 2-25.  
LIU Liming. Investigation and evaluation of land resources[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2004: 2-25.
- [4] 南锡康,刘天科,周璞,等. 土地资源建设开发承载力与适宜性评价研究[J]. 中国国土资源经济, 2019(10): 1-7.  
NAN Xikang, LIU Tianke, ZHOU Pu, et al. Research on evaluation of carrying capacity and suitability of land resources construction and development[J]. Natural Resource Economics of China, 2019(10): 1-7.
- [5] 白立敏,修春亮,冯兴华. 基于土地利用变化的长春市生态风险评价[J]. 生态科学, 2019, 38(3): 26-35.  
BAI Limin, XIU Chunliang, FENG Xinghua. Ecological risk assessment for Changchun based on land use change[J]. Ecological Science, 2019, 38(3): 26-35.
- [6] 李青圃,张正栋,万露文,等. 基于景观生态风险评价的宁江流域景观格局优化[J]. 地理学报, 2019(7): 1420-1437.  
LI Qingpu, ZHANG Zhengdong, WAN Luwen,

- et al. Landscape pattern optimization in Ningjiang River Basin based on landscape ecological risk assessment[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019(7): 1420-1437.
- [7] 李艳红, 赵彩萍, 李玉琴, 等. 太原城市化进程对城市热岛的影响[J]. *气象科技*, 2013, 41 (2): 360-364.
- LI Yanhong, ZHAO Caiping, LI Yuqin, et al. Impact of urbanization on heat island in Taiyuan[J]. *Meteorological Science and Technology*, 2013, 41(2): 360-364.
- [8] 王敏, 王云才. 基于生态风险评价的非建设性用地空间管制研究——以吉林长白县龙岗重点片区为例[J]. *中国园林*, 2013, 29 (12): 60-66.
- WANG Min, WANG Yuncai. A research on the spatial governance for non-constructive land based on ecological risk assessment: taking Longgang key area of Changbai County, Jilin Province, as an example[J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2013, 29(12): 60-66.
- [9] 岳文泽, 王田雨. 资源环境承载力评价与国土空间规划的逻辑问题[J]. *中国土地科学*, 2019, 33 (3): 1-8.
- YUE Wenzhe, WANG Tianyu. Logical problems on the evaluation of resources and environment carrying capacity for territorial spatial planning[J]. *China Land Science*, 2019, 33(3):1-8.
- [10] 耿钱政, 李冰, 苗力, 等. 水环境变化对古城城址演变的影响研究——以山西太原盆地城市群为例[J]. *华中建筑*, 2019 (8): 129-133.
- GENG Qianzheng, LI Bing, MIAO Li, et al. The influence of water environment change on ancient city site evolution: taking the Shanxi Taiyuan Basin Cities as an example[J]. *Huazhong Architecture*, 2019(8): 129-133.
- [11] GUPTA K, KUMAR P, PATHAN S, et al. Urban neighborhood green index—a measure of green spaces in urban areas[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2012, 105(3): 325-335.
- [12] 徐涵秋. 城市遥感生态指数的创建及其应用[J]. *生态学报*, 2013, 33 (24): 7853-7862.
- XU Hanqiu. A remote sensing urban ecological index and its application[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(24): 7853-7862.
- [13] 张晓莉, 赵鹏祥, 高凌寒, 等. 基于Landsat影像的西安市主城区热岛效应分析[J]. *西北林学院学报*, 2016, 31 (3): 183-190.
- ZHANG Xiaoli, ZHAO Pengxiang, GAO Linghan, et al. Analysis of heat island effect based on Landsat images in Xining City[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2016, 31(3): 183-190.
- [14] JIMENEZ-MUNOZ J, SOBRINO J, SKOKOVIC D, et al. Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data[J]. *Geoscience and Remote Sensing*, 2014, 11(10): 1840-1843.
- [15] 方斌斌, 于洋, 姜伟立, 等. 太湖流域水体和沉积物重金属时空分布特征及潜在生态风险评估[J]. *生态与农村环境学报*, 2017, 33 (3): 215-224.
- FANG Binbin, YU Yang, JIANG Weili, et al. Spatio-temporal distribution of heavy metals in the surface water and sediment of the lake Taihu Basin and assessment of their potential ecological risks[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2017, 33(3): 215-224.
- [16] 覃志豪, 李文娟, 徐斌, 等. 陆地卫星TM6波段范围内地表比辐射率估计[J]. *国土资源遥感*, 2004, 16 (3): 28-32, 36, 41.
- QIN Zhihao, LI Wenjuan, XU Bin, et al. The estimation of land surface emissivity for Landsat TM6[J]. *Remote Sensing For Land & Resources*, 2004, 16(3): 28-32, 36, 41.
- [17] 程珍珍, 张永福, 范小晶. 基于GIS干旱区绿洲县域土地利用生态风险分析及动态预测[J]. *安徽农业科学*, 2018, (3): 44-48, 52.
- CHENG Zhenzhen, ZHANG Yongfu, FAN Xiaojing. Ecological risk analysis and dynamic prediction of land use in oasis county of arid area based on GIS[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2018(3): 44-48, 52.
- [18] 王方, 兰小机, 邬志刚, 等. 基于Landsat8的常熟市热岛效应的监测分析[J]. *江西理工大学学报*, 2016 (5): 14-19.
- WANG Fang, LAN Xiaoji, WU Zhigang, et al. Monitoring analysis of heat island effects in Changshu City based on Landsat8[J]. *Journal of Jiangxi University of Science and Technology*, 2016(5): 14-19.
- [19] 喻忠磊, 张文新, 梁进社, 等. 国土空间开发建设适宜性评价研究进展[J]. *地理科学展*, 2015, 34 (9): 1107-1122.
- YU Zhonglei, ZHANG Wenxin, LIANG Jinshe, et al. Progress in evaluating suitability of spatial development and construction land[J]. *Progress in Geography*, 2015, 34(9): 1107-1122.
- [20] 黄山, 林恒萍. 基于建设用地适宜性评价的建设用地空间拓展研究——以晋江市为例[J]. *亚热带资源与环境学报*, 2017, 12 (4): 84-90.
- HUANG Shan, LIN Hengping. Construction lands expansion based on suitability evaluation: a case study in Jinjiang City[J]. *Journal of Subtropical Resources and Environment*, 2017, 12(4): 84-90.
- [21] 孟霖, 郭杰, 孙驰, 等. 基于供求关系的城镇建设用地适宜性评价——以扬州市为例[J]. *资源科学*, 2018, 40 (1): 11-21.
- MENG Lin, GUO Jie, SUN Chi, et al. Suitability evaluation of urban construction land based on supply and demand in Yangzhou City[J]. *Resources Science*, 2018, 40(1): 11-21.
- [22] 王云才, 王忙忙. 提升水量调节服务能力的城市绿色基础设施模式[J]. *上海城市规划*, 2019 (1): 1-6.
- WANG Yuncai, WANG Mangmang. Urban green infrastructure models to improve the water regulation service capacity[J]. *Shanghai Urban Planning Review*, 2019(1): 1-6.
- [23] 武廷海. 国土空间规划体系中的城市规划初论[J]. *城市规划*, 2019 (8): 9-17.
- WU Tinghai. A discussion on urban planning in the territorial and spatial planning system[J]. *City Planning Review*, 2019(8):9-17.