

工业城市防护绿色空间布局适宜性评价 ——以内蒙古包头市为例

刘大鹏, 马 斌, 王 悦

(内蒙古科技大学建筑学院, 包头 014010)

摘要: 城市绿色空间是城市生态系统的重要组成部分, 与其他类型的城市相比, 工业城市生态环境问题相对突显, 应更加重视防护型绿色空间网络化布局与建设。2000—2017年间, 工业城市包头市区高质量的绿色空间大量被城市建设占用, 城市绿色空间破碎化程度加剧, 片状和带状绿色空间分布减少, 尚未形成绿色空间生态网络体系; 随着工业化、城镇化进一步发展, 现状绿色空间承担着比以往更大的生态保护和修复压力。根据包头市工业城市防护型绿色空间建设需求性特征, 基于隔离/保护理念、弹性理论、GIS空间分析技术等, 评估包头市防护绿色空间布局适宜性, 进一步结合2017年绿色空间分布特征, 对防护绿色空间建设进行优先级分区。结果表明: (1) 研究区防护绿色空间布局适宜区449.59 km², 占研究区总面积(629.59 km²)的71.41%, 与现状绿色空间覆盖率(44.71%)相比, 可增加26.7%的绿色空间覆盖率; (2) 适宜区面积内存在较大面积的无绿色空间和低质量绿色空间, 分别约占适宜区面积的25.73%、47.64%, 防护绿色空间网络化程度低; (3) 根据防护绿色空间布局建设分区结果, 41.02 km²的区域可考虑优先建设绿地面积。结果可为包头市及同类型城市防护绿色空间布局与建设提供理论和实践参考。

关键词: 工业城市; 防护绿色空间; 布局; 适宜性评价; GIS; 包头市

城市绿色空间是指城市内部所有绿地的总称, 是城市中专门用以改善生态、保护环境、为居民提供游憩场地和美化景观的绿化用地, 是为城市居民提供良好的人居环境, 为城市中的生物提供适合的生境, 为城市景观增加自然美感, 实现城市中人与自然和谐共处的重要因素^[1]。城市绿色空间具有生态功能(固碳释氧^[2]、消减噪音^[3]、调节气候^[4,5]、滞蓄雨水^[6])、景观功能(改善城市形象、营建优美风景)、使用功能^[7](提供游憩、文化教育场所、防灾等)、经济功能(草圃、花圃等), 城市绿色空间日益成为保护城市生态功能、构建生态网络、控制引导城市空间发展的核心要素^[8]。城市防护绿色空间则是专为改善城市自然条件、卫生、隔离、安全要求而设置的以防护功能为主的空间^[9]。与其他城市相比, 工业城市不断向大气中排放大量的CO、CO₂、SO_x、NO_x、HF以及烟尘粉尘等悬浮颗粒污染物, 严重威胁着人类健康、影响着人居环境的可持续性。工业城市的城市绿地, 除了承担供给社会、经济功能之外, 更多承担着供给减少和遏制工业污染源的扩散、净化空气、滞尘、减噪以及保护敏感性区域不受工业废气侵扰等诸多生态功能^[10]。因此, 工业城市绿地空间布局的当务之急, 应以防护绿色空间布局建设为主, 通过防护绿色空间布局适宜性评价, 科学布局污染、废弃物处理区隔离、敏感脆弱区、公共区域

收稿日期: 2019-06-20; 修订日期: 2019-08-21

基金项目: 内蒙古自然科学基金项目(2017MS(LH)0527)

作者简介: 刘大鹏(1977-), 男, 内蒙古通辽人, 硕士, 讲师, 研究方向为城市基础设施空间优化、城乡规划与设计。E-mail: 826692571@qq.com

保护等防护绿色空间,建立综合生态防护绿地系统,充分发挥城市绿地系统应有的多项功能,可为城市“安全、生态、宜居”提供基础保障。

诸多学者对城市绿色空间布局研究进行了大量有益尝试,主要集中在城市绿色空间体系类型、布局理念、适宜性布局等方面。在绿色空间体系类型研究方面,由早期城市公园运动、绿带建设、绿心建设、开敞空间体系,发展到近期的生态网络、绿道建设以及绿色基础设施等^[1];国内学者刘滨谊等^[12,13]对城市绿地系统作了大量研究,在西方发达国家的绿带与绿心、生态网络、开放空间、绿道建设等城市绿地景观形态的基础上,结合我国国情和实际项目案例,提出了针对我国“城乡一体化绿地系统”建设的建议^[14],并提出“城市绿地系统”^[15]、“生态能级”^[13]的城市绿色开放空间体系等。在布局理念研究方面,国外学者Fabos^[16]呼吁人们将绿地空间视为基础设施,他认为绿色基础设施是一个自然生命支持系统,由河流、湿地、森林、野生动物栖息地和其他自然区域构成;Charles^[17]认为绿道是沿着河滨、溪谷山脊线等自然走廊,或是沿着诸如用作游憩活动的废弃铁路线、沟渠、风景道路等人工走廊所建立的线型开敞空间,是链接公园、自然保护地、名胜区、历史古迹以及其他与高密度聚居区之间进行链接的开敞空间纽带;国内学者刘颂等^[1]以无锡市为例,基于耦合理论,对城市绿地空间布局进行了研究,认为城市绿地需根据城市特征进行规划和布局;杨培峰等^[18]根据城市存在的生态问题对太原市城市绿地系统规划建设模式进行了探索,认为:城市环境质量的主要制约因子是气、水、绿三个自然背景要素,并根据问题导向,提出了相应的绿地系统规划模式;随着研究的进一步深入,对城市绿地系统的规划认知已从最初的园林建设步入到自然生态系统建设,从与城市建设用地的“图底关系”到城市内部的“非建设用地”,以及从作为城市总体规划的专项规划转变为与城市总体布局同步的绿地发展战略规划^[19,20];确定城市绿色空间结构布局是城市绿地系统构建中战略统筹与规划引领的核心环节^[11],构建城市绿地系统的核心思想是改变以往“见缝插绿”、盲目增绿、加大绿地破碎度的传统做法,突出绿地系统恢复自然维护城市生态系统的功能^[21],这一要求,强调了将城市绿色空间视为一个有机联系的整体系统所发挥的功能,标志着城市绿色空间布局研究往绿色空间系统方向深入发展,注重城市绿色空间完整性、系统性以及基础性^[22]。城市绿色空间布局适宜性评价是根据城市环境问题,对城市有限发展空间内的防护绿地布局最适宜区域进行选址,以确定城市防护绿色空间布局的最优方案,是防护绿色空间科学布局与规划的前提^[23]。绿色空间布局适宜性评价作为绿色空间系统规划的基础性研究,广受学者关注,相关研究如:学者从综合性视角评价绿地空间布局适宜性^[24,25],即将所有绿地空间视为一个整体,构建整个区域的绿地系统;针对某种绿地类型(如公园绿地^[26,27]、滨水绿地^[28])或是绿地的某种功能(如避震减灾功能^[29-32])等进行城市绿地适宜性评价。但对于防护绿色空间,尤其是工业城市的防护绿色空间布局适宜性研究较少,城市绿色空间相关研究为其提供了丰富的理论基础和实践经验。近年来,随着GIS技术的发展,GIS技术被广泛应用到自然、社会、经济的各大领域中,成为了获取、分析、应用数据不可或缺的技术,且在对于空间位置的精确分析和量化上,有着得天独厚的优势^[33,34]。因此,将GIS技术应用到工业城市绿色空间布局适宜性评价中,可为防护绿色空间规划提供理论和技术支持^[25,35,36]。

作为国家“十一五”时期发展起来的工业城市,包头市拥有内蒙古最大的钢铁、铝业、装备制造和稀土加工企业,是国家和内蒙古重要的能源、原材料、稀土、新型煤化

工和装备制造基地, 誉称为“草原钢城”“稀土之都”^[10]。工业的兴起为包头市城市发展带来了强大动力, 国民经济发展迅速, 城市化进程迅猛, 基础设施建设力度空前加强, 特别是公路、铁路及高速路的建设全面展开, 城市规模不断扩大, 城市人口数量持续增加, 工业基地不断增大, 工业三废排放量逐年增加。同时, 原生绿地空间逐渐被扩张的城市所蚕食, 使得原本较为稀少的城市绿地空间承担着更大的改善生态环境的压力。包头市城市防护绿地空间布局是否合理, 严重影响着包头市人居环境可持续发展。因此, 亟需对该区域城市防护绿地空间布局适宜性进行评价, 以期为包头市绿地系统规划设计提供理论和技术支持。本文以包头市为研究区, 借助RS和GIS技术, 识别城市绿地空间分布格局的基础上, 根据包头市工业城市的特点, 构建绿地空间布局适宜性评价体系, 对城市绿地适应性布局进行评价。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究区概况

包头市介于 $109^{\circ}15'\sim 110^{\circ}26'E$ 、 $40^{\circ}15'\sim 42^{\circ}48'N$ 之间, 北部与蒙古国接壤, 南临黄河, 东西分接土默川平原和河套平原, 阴山山脉横贯中部; 气候属于半干旱中温带大陆性季风气候, 全年平均气温为 $7.2^{\circ}C$, 年平均风速 1.2 m/s , 主风向为西北风, 年降水总量 421.8 mm 。包头市下辖9个旗、县、区, 其中市区包括昆都仑区、青山区、东河区、九原区、石拐区。为了使得研究结果更好地为包头市城市绿地建设提供参考, 本文选取包头市昆都仑区、青山区、东河区的全部和九原区主要城市集中地作为研究区(图1), 北部大致以京藏高速公路为界, 南部大致以南绕城线为界, 并将沿线外围的重点工业基

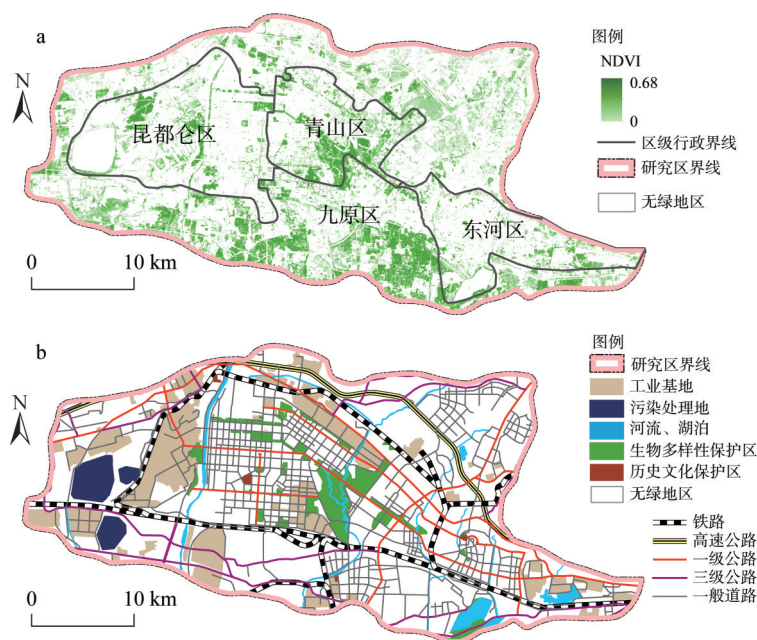


图1 研究区位置

Fig. 1 Location of the study area (Baotou city)

地以及石拐区新城纳入研究区范围。该区域面积约 629.59 km², 是包头市核心城区, 区域经济最发达、人口最密集的地区^[37], 2017年包头市区人口总数约 223 万; 同时也是包头市重工业主要集中地和工业排放处理地。

1.2 数据来源

本文所涉及的研究数据包括: (1) 影像数据: 2000年8月24日 Landsat 5 TM 影像 (30 m), 2017年9月8日的 Landsat 8 OLI 影像 (30 m), 来源于地理空间数据云网站 (<http://www.gscloud.cn/>), Google 平台提供的 2018年3月 worldview 高分辨率遥感影像 (1.5 m); (2) 行政区划图: 包头市行政区划图, 来源于中国科学院资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn/DOI/>); (3) 实地调查数据: 土地利用现状调查数据, 以 worldview 高分辨率影像为地图, 通过实地调查和目视解译获得土地利用现状数据。部分数据如图1所示。

1.3 研究区绿色空间变化概况

充分掌握包头市绿色空间分布特征变化情况, 有助于甄别现状绿色空间分布存在问题。归一化植被指数 (NDVI) 是反映绿色空间布局现状的重要指标, 被广泛应用于反映植被质量空间分布特征, 值越大、植被越好^[38,39]。本文借助 ENVI 5.1 软件平台, 基于 2000年和 2017年 Landsat 影像, 通过辐射校正→大气校正→几何纠正→NDVI 指数提取→裁剪→分级等步骤获得研究区 2000年和 2017年 NDVI 空间分布特征 (图2); 在此基础上, 借助 ArcGIS 10.4.1 对各等级面积进行分区统计 (表1), 对包头市 2000—2017年间的绿色空间分布变化特征进行分析。总体来看, 2000—2017年, 包头市 NDVI 高值区面积大幅度减少, 破碎化程度加剧, 片状和带状绿色空间分布减少, 且现状绿色空间网络化程度较低。2000—2017年间, 包头市无绿色区域面积从 314.09 km²增加到 348.11 km², 增幅达到 34.02 km², 即建设用地面积大幅增加。由 NDVI 各等级面积变化可知, 绿色空间从 2000年的 50.11%降低至 44.71%; 其中 0.2~0.4、0.4~0.6 两个等级之间的面积大幅减少, 分别减少了 30.02 km²、19.19 km²; 而 NDVI 值 >0.6 和 0~0.02 等级的绿色空间面积分别增加了 0.15 km² 和 15.22 km²。这一结果表明, 在 2000—2017年间, 城市向外扩张使得包头市高质量的绿色空间大量被占用, 城市绿色破碎化程度加剧; 尤其是研究区南部, 大量的耕地被建设用地占用, 绿色空间集聚减少, 尚未形成绿色空间生态网络体系, 现状绿色空间承担着比以往更大的生态保护和修复压。另一方面, 在城市建设过程中, 包头市注重对城市林地的建设, 使得高质量的绿色空间面积有所增加, 城市内部人工绿化面积大幅度增加。

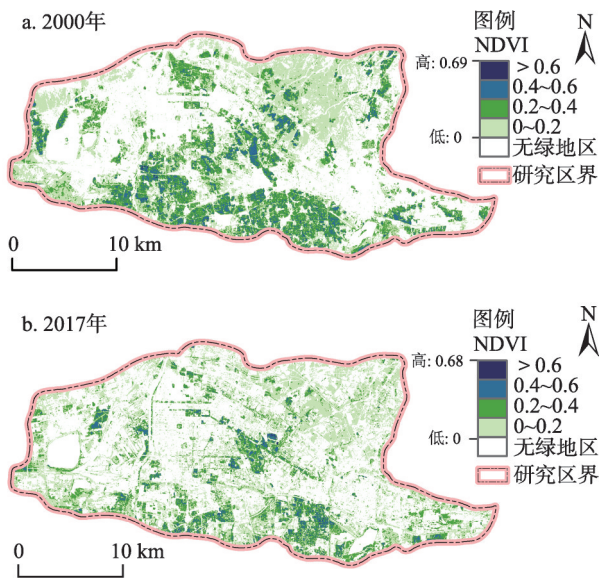


图2 2000—2017年包头市绿色空间分布特征
Fig. 2 Spatial distribution characteristics of green space
in Baotou city from 2000 to 2017

表1 2000—2017年包头市NDVI各等级面积变化

Table 1 The area change of each grade of NDVI in Baotou city from 2000 to 2017

NDVI 等级	2000年				2017年				差异	
	面积 /km ²	累积面积 /km ²	占比 /%	累积占比 /%	面积/ km ²	累积面积 /km ²	占比 /%	累积占比 /%	面积 /km ²	变化率 /%
>0.6	0.27	0.27	0.04	0.04	0.41	0.41	0.07	0.07	0.15	54.92
0.4~0.6	38.59	38.85	6.13	6.17	19.40	19.81	3.08	3.15	-19.19	-49.73
0.2~0.4	98.12	136.97	15.58	21.76	67.92	87.73	10.79	13.93	-30.20	-30.77
0~0.2	178.52	315.50	28.36	50.11	193.75	281.48	30.77	44.71	15.22	8.53
无绿色区	314.09	629.59	49.89	100.00	348.11	629.59	55.29	100.00	34.02	10.83

1.4 研究方法

工业城市防护绿色空间适宜性评价是指根据研究区特性，遵循一定的原则，确定工业城市城市防护绿色空间布局是否适宜以及适宜程度，它是解决绿色空间应当在哪里布局，布局面积多少的问题，是科学编制城市防护绿地生态系统规划的依据^[39]。其中，布局原则的确定是适宜性评价过程中的关键步骤，包括适宜性布局指标体系构建、绿色空间布局原则的确定、适宜性综合评价方法等。研究首先根据包头市的城市特点，基于隔离/保护理念，确定包头市绿色适宜性布局指标体系；其次，根据弹性理论，确定绿色空间布局适宜性原则，并借助GIS技术，设计弹性适宜性布局模式；最后，通过适宜性综合评价模型，获取包头市城市防护绿色空间布局适宜性程度。

1.4.1 绿色空间布局适宜性指标体系

诸多因素均会影响城市防护绿地系统布局，如自然条件、资源禀赋、发展模式、产业结构等^[18]。包头市是西北地区重工业城市，工业排放对人居环境影响较大，研究以环境保护为主要目标，基于隔离/保护理念，建立隔离排污区、保护脆弱敏感区的城市绿色空间生态网络系统。因此，在构建防护绿色空间布局适宜性评价指标体系时，根据保护需求原则：首先，绿色空间布局应重点考虑隔离高污染排放的工业用地区域。其次，布局应重点考虑隔离污染处理的场地（如矿坑处理地、污水处理厂、垃圾处理厂等）。第三，是对城市内部环境相对脆弱和敏感的区域（如河流、湖泊、水源保护区、自来水厂、风景名胜区、公园绿地、历史文物保护区以及绿色空间质量较好的区域）进行保护。道路是产生汽车尾气、噪音污染最为严重的区域，因此，在道路两旁同样是布局城市绿色空间的重点区域；由于包头市城市内部地形平坦、地形起伏差异非常小，因此，适宜性布局空间不考虑地形因素的影响。基于以上分析，研究选择工业基地隔离、污染处理场地隔离、道路隔离、河湖保护、生物多样性保护、历史文化保护以及植被保护7个因素作为评价包头市绿色空间布局适宜性的主要指标。其中，植被保护采用归一化植被指数表征。适宜性评价指标体系如表2所示。

1.4.2 绿色空间布局原则

城市用地规划中的弹性理论是指在安排了目标地类必备数量的基础上，再设计一定的空间作为后备空间^[40,41]。因此，本文根据弹性理论，在隔离/保护的目标区域外围布局一定宽度的绿色空间，作为绿色空间布局的下限距离，即绿带急需布局区；而在急需布局区外围，再布局与下限距离相同的绿带，作为防护绿色空间布局的弹性空间，弹性空间中远离下限边界越远的区域，布局绿色空间的适宜性逐渐递减，布局示意图如图3所

表2 适宜性评价指标体系

Table 2 Suitability evaluation index system and related explanations

适宜性因子	权重	评价指标	绿带宽度/m (下限距离~上限距离)	赋值说明	功能
工业基地隔离	0.2	工厂所在地	100~200	0 到下限赋予 1，	隔离排污区，空
污染处理地隔离	0.2	矿坑处理地、污水处理厂、垃圾处理厂	100~200	下限到上限距离	气、水源、土
城市道路隔离	0.1	铁路、高速公路	40~80	之间赋值 1~0	壤、噪音净化带
		一级公路	30~60		防尘、防噪带
		三级公路	20~40		防尘、防噪、游
		一般公路	15~30		憩绿廊绿带
河、湖水源保护	0.2	昆都仑河、湖泊、自来水厂区	100~200		水质净化、水源
		其他河流	40~80		保护、水源涵养
生物多样性保护	0.1	风景名胜、水源保护区、森林公园、生态公益林和其他生态功能较强的区域、公园绿地	本体绿化、50~100	地类所在地为 1，其他区域根据式（1）赋值	水质净化、滨水游憩绿廊
历史文化保护	0.1	历史文化保护、文物保护点	本体绿化、50~100		防灾、保护绿带
植被保护	0.1	根据 NDVI 确定保护区域	将 NDVI>0.2 的区域作为重点保护区，将 NDVI 在 (0, 0.2] 的区域作为弹性空间	将重点保护区域赋值为 1，并将 NDVI 在 (0, 0.2] 之间的区域拉伸到 0~1 之间	对城市现有绿色空间的维持和保护

注：对于同一适宜性因子的不同指标层的缓冲带中，采用栅格叠加分析中的像元统计数据工具求取各因素中的最大值，从而合并多个指标层，获得适宜性因子。

示。绿色空间弹性布局区的存在，可为绿色空间面积的扩展提供后备空间；沿隔离/保护用地布局城市绿带和缓冲带，并非要将绿带布局区已有建设用地拆除，而是应加大这些适宜布局区的绿化建设，以保障城市绿色空间建设有的放矢，构建结构强健、功能完善的城市绿色空间生态网络系统。各适宜因子的绿带布局下限和上限距离根据美国环境保护局对绿地隔离带的研究成果、前人研究成果、相关规划标准（如《城市用地分类与规划建设用地标准》GB50137-2011）、包头市实际情况以及专家经验等予以确定^[8,11,21]，不同因子的绿带宽度如表 2 所示。

为了定量评价不同因素对绿带布局影响的适宜性程度，需对不同绿色空间布局区的适宜性程度进行标准化，本文采用分段标准化的方法进行适宜性程度赋分，具体操作步骤是在 ArcGIS 10.4.1 中采用地图代数工具：先将 0 到下限距离的绿带缓冲区域赋值 1，在缓冲区内下限与上限距离之间的区域采用线性拉伸的方法，将其值标准化到 1~0 之间，以表征在弹性缓冲区之间的绿色空间布局适宜性程度，具体如式（1）所示。设绿带缓冲区距离 $F_{(x)} \in [a, b]$ 之间，其中 a 为下限缓冲距离（m）， b 为上限缓冲距离（m），则将缓冲带适宜性标准化到

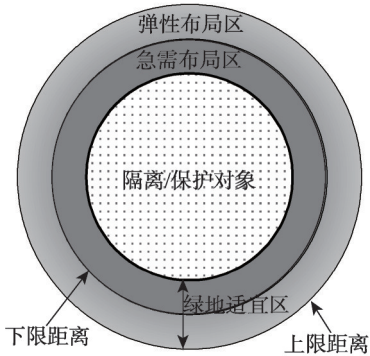


图3 绿色空间布局示意图

Fig. 3 Schematic diagram of green space layout

0~1之间的计算方法为:

$$F_{(x)} = \begin{cases} 1, & x \in [0, a] \\ \frac{b-x}{b-a}, & x \in [a, b] \end{cases} \quad (1)$$

1.4.3 防护绿色空间布局适宜性综合评价

防护绿色空间布局适宜性综合评价是在识别评价因素重要性程度的基础上, 综合评估多种因素对绿色空间布局适宜性的综合性指数, 重要性程度通过各因素的权重予以表征。指标体系中, 隔离/保护对象的迫切性程度存在差异, 从而影响绿色空间布局的适宜性程度, 因此, 在确定指标体系权重时, 重点考虑隔离/保护对象的迫切性, 确定各指标权重值。层次分析法(AHP)是一种通过专家对指标体系各因子之间进行两两重要性对比后, 运用模型获取各因子综合评价权重的综合评价方法, 其优势在于可根据专家需求对权重进行设计, 从而得出与设计需求相符的综合评价结果^[42]。AHP是应用较为广泛的评价方法, 具体过程参考文献^[43,44], 在此不再赘述。本文借助yaahp 7.0层次分析法软件, 构建与指标体系相对应的层次结构模型, 通过判断矩阵设置任意两个适宜因子间的重要性程度, 运行模型后获得各适宜性因子的权重值(表2)。最后, 通过GIS空间因素叠加, 获得包头市绿色空间布局适宜性分布特征。

2 结果分析

2.1 单因素防护绿色空间布局适宜性分析

根据适宜性评价指标体系和绿色空间适宜性布局原则, 借助ArcGIS 10.4.1空间分析功能, 测算单因素绿色空间布局适宜性分布图, 结果如图4所示。相关因素由于受隔离、保护对象空间用途特殊性的限制, 均呈现带状分布特征。其中, 工业基地隔离带(图4a)、污染处理地隔离带(图4b)基本分布在城市外围区域, 河流、湖泊保护带(图4c)呈现南北向延伸、东西向排列的均匀分布特征, 历史文化保护带(图4d)零星分布在研究区范围内, 城市道路隔离带(图4e)受道路分布特征的影响、均匀分布在研究区范围内。由于生物多样性保护因素(图4f)和植被保护因素(图4g)适宜性布局原则重点考虑了已有植被区的适宜性分级, 因此, 其单因素绿色空间布局适宜性呈现片状分布; 生物多样性保护区均匀分布在城市中心, 但斑块大小差异较为明显; 植被保护受现有植被分布的影响, 均匀分布在整個研究区范围内, 但高值区主要集中在研究区的南部, 研究区内仅存的耕地大多分布在该区域。

2.2 防护绿色空间布局综合适宜性分析

利用自然间断点分类法将防护绿色空间布局适宜性特征四级分类后, 获得包头市城市绿色空间布局适宜性特征, 结果如图5所示。图中一级适宜区优先级最高, 四级最低; 绿色空间布局适宜性分级是建设优先级的表征, 适宜性等级越高, 表明该区域绿色空间布局的迫切性越强。进一步对各区域适宜性等级区域进行空间统计, 并与现状NDVI等级分布图进行叠加, 获得不同适宜性等级面积分布特征及相对应的现状绿色空间NDVI等级面积分布特征(表3)。总体而言, 绿色空间布局适宜区总面积约449.59 km², 占研究区总面积(629.59 km²)的71.41%, 相比现状绿色空间面积占比(44.71%), 增加了26.7%的绿色空间。其中, 优先级较高的一级和二级适宜区面积分别为12.23 km²和54.95 km², 分别占适宜性区域的2.72%和12.22%; 主要分布在两种或两种以上的保护/

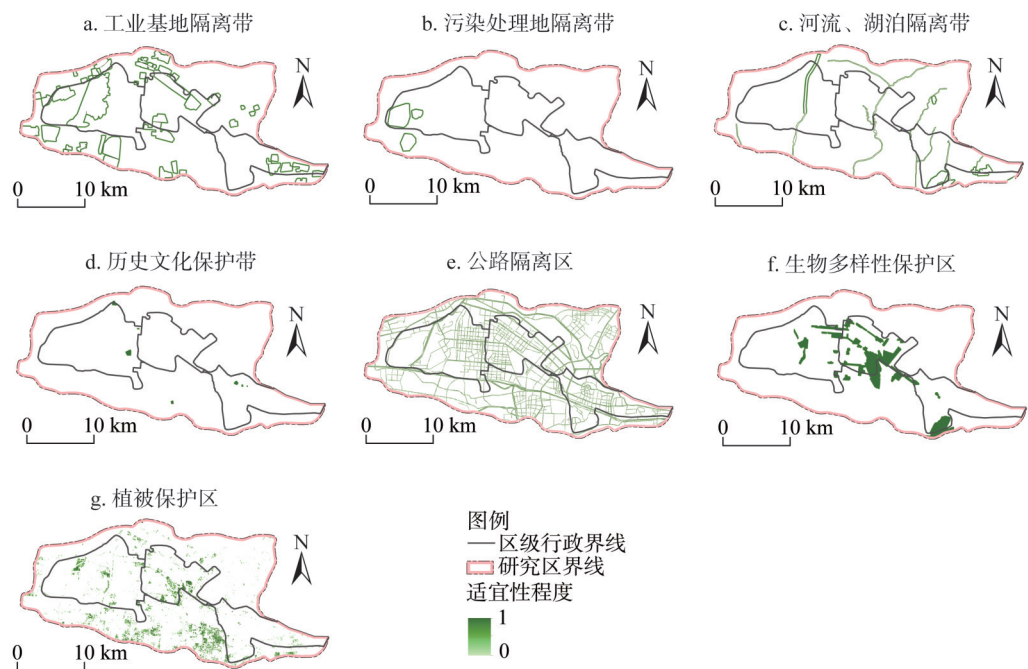


图4 单因素绿色空间布局适宜性

Fig. 4 Suitability layout of single-factor green space

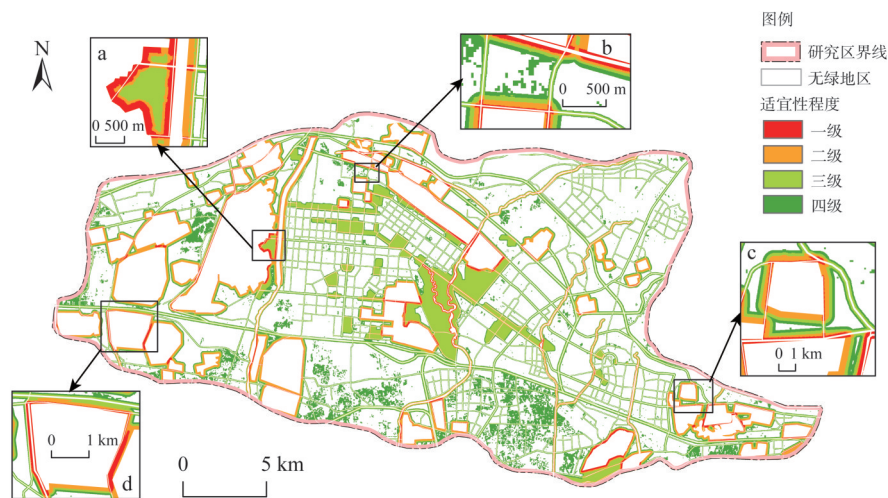


图5 绿地空间布局适宜性空间分布特征

Fig. 5 Spatial distribution characteristics of green space layout suitability

隔离对象的区域，如在河湖隔离带、城市道路隔离带与生物多样性保护区相邻区域（图5a、图5c），以及工业基地隔离带、城市道路和生物多样性保护区相邻区域（图5b），工业基地、废弃物处理地、城市道路隔离带相邻区域（图5d）。三级适宜区面积占研究区的31.98%，主要分布在城镇中心的生物多样性保护区内。四级适宜区面积最大，占研

表3 绿地空间布局适宜性等级面积统计
Table 3 Area statistics of green space layout suitability grade (km²)

适宜性等级	总面积	现状绿地NDVI分布特征				
		>0.6	0.4~0.6	0.2~0.4	0~0.2	无绿地区
一级	12.23	0.02	1.34	4.29	4.87	1.70
		—0.18%	—10.98%	—35.11%	—39.81%	—13.91%
		2.72%	3.62%	4.91%	4.68%	2.27%
二级	54.95	0.06	2.38	14.26	22.60	15.64
		—0.11%	—4.34%	—25.95%	—41.13%	—28.47%
		12.22%	9.61%	8.71%	15.55%	10.55%
三级	143.76	0.26	10.36	33.25	55.17	44.72
		—0.18%	—7.21%	—23.13%	—38.37%	—31.11%
		31.98%	41.21%	37.86%	36.25%	25.75%
四级	238.65	0.28	13.28	39.91	131.56	53.62
		—0.12%	—5.56%	—16.72%	—55.13%	—22.47%
		53.08%	45.56%	48.52%	43.51%	61.42%
总计	449.59	0.62	27.37	91.71	214.19	115.69
		—0.14%	—6.09%	—20.40%	—47.64%	—25.73%

注：“—0.18%” 适宜性等级组内百分比，“|2.72%” 适宜性等级组间百分比。

究区的53.08%土地空间。绿色空间布局适宜区与现状NDVI对比可知：包头市绿色空间适宜性区域中，占25.73%的空间尚处于无植被区（115.69 km²），且分布在一、二级适宜区的面积分别占1.47%（1.7 km²）、13.52%（15.64 km²）。有植被的区域中，占47.64%的绿色空间NDVI值在0~0.2之间，占20.40%的绿色空间NDVI值在0.2~0.4之间，而NDVI值在0.6以上的空间面积仅占适宜区面积的0.14%。通过适宜性评价所构建未来绿色空间建设布局形成了相对完整的网络系统，但与目前的绿色空间分布特征相比，尚有大面积的适宜性较高的防护绿色空间需要进行绿地建设。

3 结论与讨论

3.1 结论

2000—2017年间，包头市高NDVI值的绿色空间大量被城市建设占用，城市绿色空间破碎化程度加剧，片状和带状绿色空间分布减少。根据包头市工业城市的绿色空间建设需求性特征，基于隔离/保护理念、弹性理论、GIS空间分析技术，设计了包头市城市绿色空间布局适宜性评估体系，评估了包头市绿色空间布局适宜性，在此基础上，结合现状绿色空间分布特征，设计了绿色空间布局建设优先级分区原则，获得了包头市绿色空间布局优先建设分区图。主要结论如下：（1）研究区绿色空间布局适宜区449.59 km²，占研究区总面积（629.59 km²）的71.41%，与现状绿色空间覆盖率（44.71%）相比，可增加26.7%的覆盖率。（2）适宜区面积内存在较大的空间尚未分布绿地，以及存在较大面积的低质量绿色空间，约25.73%的适宜区尚未分布绿地，约47.64%的适宜区面积的绿色空间NDVI值在0~0.2之间。（3）根据绿色空间布局建设分区结果，41.02 km²的区域可

考虑优先建设绿色。结果可为包头市及同类型的工业城市绿色空间规划与建设提供理论和实践参考。

3.2 讨论

城市绿色空间的建设是打造生态城市、保障城市人居环境持续健康发展的核心环节^[45],其建设应与城市各空间类型形成相互促进、协调和谐发展的格局^[46]。城市绿地系统是人工生态系统,控制人为扰动在城市绿地系统形成过程中起着尤为重要的作用,城市绿色空间布局适宜性评价可为控制人为扰动提供了思路和技术手段^[14],工业城市因其特殊性,绿色空间布局应以防护绿色空间布局建设为主。就研究方法而言,本文从工业城市需求出发,基于隔离/保护理念,遵循隔离/保护原则,构建了包头市防护绿色空间布局适宜性评价体系;根据弹性理论,设计了绿色空间的弹性布局区,并设计了基于GIS空间分析处理方案;利用AHP层次分析法,综合评价了包头市绿色空间布局适宜性空间分布特征;这一研究路径,可为绿色空间布局适宜性的相关研究提供案例参考。就适宜性评价结果而言,包头市防护绿色空间布局适宜区约为449.59 km²,占研究区总面积(629.59 km²)的71.41%,与现状绿色空间覆盖率相比,增加了26.7%的绿色空间。将现状绿色空间与防护绿色空间布局适宜区相叠加后,发现共115.69 km²(约25.73%)的适宜区未有绿色空间分布,214.19 km²(约47.64%)的适宜区面积的绿色空间NDVI值在0~0.2之间。2000—2017年间,城市向外扩张使得包头市高质量的绿色空间大量被占用,城市绿色空间破碎化程度加剧,片状和带状绿色空间分布减少;但在城市建设过程中,包头市注重对城市林地的建设,使得高NDVI值的等级有所增加,城市内部人工绿化面积大幅度增加。然而,与城市绿色空间布局适宜区相比,仍存在较大面积的该布局绿色的空间未有绿色空间分布,或者绿地质量较差,且现状绿色空间网络化程度较低,因此,亟需加强包头市防护绿色空间建设。

综合考虑研究区适宜性等级、2017年NDVI值分等情况、相关专家及有关部门意见,确定包头市防护绿色空间布局建设优先级原则,并按照优先级顺序将绿色空间建设分为“优先建设区、次优先建设区、提升区、维持区”四个区(表4);借助ArcGIS 10.4.1软件,空间叠加适宜性分区图和NDVI分级图,获得包头市绿色空间建设优先级分区图(图6)。优先级建设区、次优先级建设区、提升区、维持区面积分别为41.02 km²、118.40 km²、209.15 km²、81.02 km²,分别占绿色空间布局适宜区9.12%、26.3%、46.5%、18%的面积。就空间分布而言,包头市可从以下几方面布局建设绿色空间,形成完善的绿色空间生态网络系统:(1)优先建设区主要分布在工业基地、污染地处理集中区域,这些区域绿色空间布局适宜性较高,且尚未布局绿色空间或绿量较差,有关部门应当优先考虑这些区域的绿色空间建设。(2)次优先建设区主要分布在中市区,这些区域已有绿色空间分布,但其NDVI值较低,因此,有关部门应当升级该区域的绿色空间布局方案。(3)提升区主要分布在研究区北部的石拐区,这一区域由于城市建成时间较晚,布局的绿地尚未成型,有关部门可适当维持该区域绿地的养护投入,保障该区域的绿地健康成长。(4)维持区主要分布在南部耕地集中区和城区公共公园,这些区域绿地量已成型,只需维持该区域的绿色空间不减少即可。

针对包头市工业城市生态环境问题突出的特征,城市绿色空间近中期建设应大力发

表4 绿地空间布局建设优先级分区原则

Table 4 Principle of priority zoning of green space layout and construction

适宜性等级	现状绿地 NDVI 等级				
	>0.6	0.4~0.6	0.2~0.4	0~0.2	无绿地区
一级	维持区	维持区	提升区	优先建设区	优先建设区
二级	维持区	维持区	提升区	次优先建设区	优先建设区
三级	维持区	维持区	提升区	次优先建设区	优先建设区
四级	维持区	维持区	维持区	提升区	次优先建设区

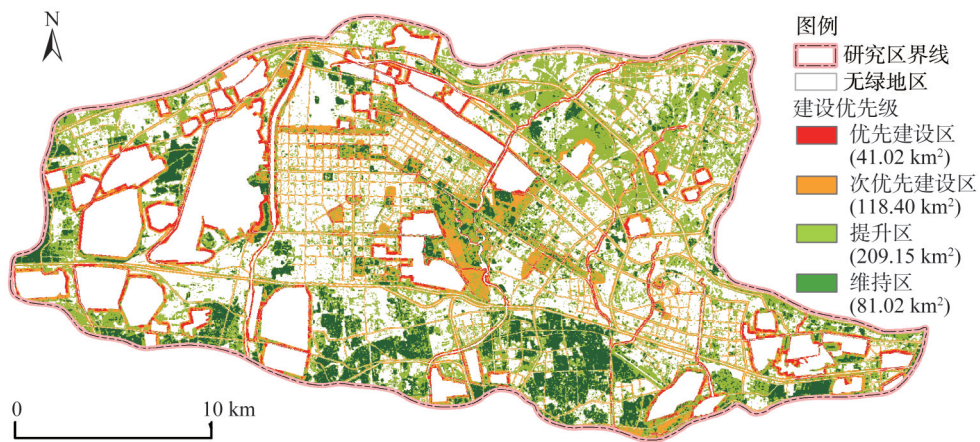


图6 包头市绿地空间布局建设优先级分区

Fig. 6 Priority zoning map of green space layout and construction in Baotou city

展生态防护、生态修复和生态复垦工作。包头市绿地系统规划理念为：构建“北屏，南带，中间万亩草原为心、横纵绿网相连、公园星罗棋布”的大生态格局。其中，“北屏”是实施大青山山体修复工程，构建城市生态屏障；“南带”是实施黄河湿地保护与生态修复工程，构建城市湿地生态景观带。对于“中间万亩草原为心、横纵绿网相连、公园星罗棋布”，包头市有关部门可根据本文对主城区绿色空间建设分区方案，统筹近中期城市防护绿色空间建设，形成相对完善的城市防护绿色空间生态网络体系。在此基础上，注重构筑完善后的防护绿色空间功能多元化转换，开发防护绿色空间的景观、游憩、防灾减灾等其他社会和经济功能，拓展中心城区多个绿地公园融合的万亩草原绿心，实施滨河生态公园和道路带状公园建设，构建横纵相连的城市绿网，加大城市各类公园的改扩建力度，构建星罗棋布的公园体系。此外，应注重城乡统筹，优化主城区内部与外部的绿色空间连接通道，以道路、河流等线状隔离/保护对象为连接线，与“北屏”和“南带”一同形成完善的城乡绿色空间生态网络体系。最后，防护绿色空间布局与建设是一个漫长的过程，应从法制、行政管理、技术执行、全民参与等多方构建绿色空间保障体系，以保证城市防护绿色空间建设工作能够与城市建设同步进行、按期实施。

本文存在以下几点不足：首先，适宜性指标体系的构建根据保护对象的需求优先级进行构建，选择优先级较强的7类城市公共空间作为重点要素层，以此构成了包头市绿色空间布局适宜性空间，但与生活密切相关的居住小区空间、校园、医院、公共广场、

高压走廊以及应急避灾等绿色空间尚未考虑在内, 进一步应综合考虑这些特殊区域的防护绿色空间布局与建设, 构建综合性更强的绿地生态网络系统; 其次, 各评价指标的绿带上、下限缓冲距离的确定是根据实际情况、专家经验和已有的参考资料予以确定的, 属于保守情景下的绿色空间布局体系, 较为科学的绿色空间布局缓冲带和弹性区有待进一步调整, 对比多种情景, 以获得最佳绿色空间布局适宜性评估结果; 第三, 本文仅搜集到了 30 m 分辨率的影像数据, 对后续面积分析误差影响较大, 进一步研究应搜集更高分辨率的影像数据, 提高结果的精细化程度^[47]。

参考文献(References):

- [1] 郭春华. 基于绿地空间形态生成机制的城市绿地系统规划研究. 长沙: 湖南农业大学, 2013. [GUO C H. Study on urban green generative mechanism space system planning based on of spatial form of green space. Changsha: Hunan Agricultural University, 2013.]
- [2] 朱士华, 艳燕, 胡云锋, 等. 干旱区城市化对生态系统碳库的影响: 以乌鲁木齐市为例. 自然资源学报, 2016, 31(7): 1086-1099. [ZHU S H, YAN Y, HU Y F, et al. The impact of urbanization on ecosystem carbon storage in Arid area. Journal of Natural Resources, 2016, 31(7): 1086-1099.]
- [3] 陈龙, 谢高地, 盖力强, 等. 道路绿地消减噪声服务功能研究: 以北京市为例. 自然资源学报, 2011, 26(9): 1526-1534. [CHEN L, XIE G D, GAI L Q, et al. Research on noise reduction service of road green spaces: A case study of Beijing. Journal of Natural Resources, 2011, 26(9): 1526-1534.]
- [4] 孔繁花, 尹海伟, 刘金勇, 等. 城市绿地降温效应研究进展与展望. 自然资源学报, 2013, 28(1): 171-181. [KONG F H, YI H W, LIU J Y, et al. A review of research on the urban green space cooling effect. Journal of Natural Resources, 2013, 28(1): 171-181.]
- [5] 陈燕红, 蔡莞缤. 福州主城区绿色空间演化的热环境效应差异. 生态学杂志, 2019, 38(7): 2149-2158. [CHEN Y H, CAI Y B. The differences of thermal environment effect of urban green space evolution: A case study of Fuzhou. Chinese Journal of Ecology, 2019, 38(7): 2149-2158.]
- [6] 张彪, 王硕, 李娜. 北京市六环内绿色空间滞蓄雨水径流功能的变化评估. 自然资源学报, 2015, 30(9): 1461-1471. [ZHANG B, WANG S, LI N. Assessment on the rainwater runoff detention produced by urban green spaces within the 6th ring road of Beijing. Journal of Natural Resources, 2015, 30(9): 1461-1471.]
- [7] 刘大鹏, 马斌, 王悦. 基于可达性的绿地公园服务均衡性分析: 以内蒙古包头市为例. 现代城市研究, 2019, (1): 118-123. [LIU D P, MA B, WANG Y. Analysis of equalization characteristics of green park service based on accessibility: A case study of Baotou city, Inner Mongolia. Modern Urban Research, 2019, (1): 118-123.]
- [8] 刘颂, 杨莹. 生态系统服务供需平衡视角下的城市绿地系统规划策略探讨. 中国城市林业, 2018, 16(2): 1-4. [LIU S, YANG Y. Optimization strategy of urban green space system planning from the perspective of ecosystem services supply-demand balance. Journal of Chinese Urban Forestry, 2018, 16(2): 1-4.]
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市绿地分类标准. CJJ/T 85-2017, 2017. [Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. City Green Land Classification Standard. CJJ/T 85-2017, 2017.]
- [10] 庄元, 薛东前, 王剑. 半干旱区典型工业城市热岛时空分布及演变特征: 以包头市为例. 干旱区地理, 2017, 40(2): 276-283. [ZHUANG Y, XUE D Q, WANG J. Spatial-temporal evolution of urban heat island in semiarid typical industrial city: A case of Baotou city. Arid Land Geography, 2017, 40(2): 276-283.]
- [11] 刘颂, 刘滨谊. 城市绿地空间与城市发展的耦合研究: 以无锡市区为例. 中国园林, 2010, 26(3): 14-18. [LIU S, LIU B Y. Coupling analysis between urban green space and urban development: A case study of Wuxi. Chinese Landscape Architecture, 2010, 26(3): 14-18.]
- [12] 刘滨谊. 绿道在中国未来城镇生态文化核心区发展中的战略作用. 中国园林, 2012, 28(6): 5-11. [LIU B Y. The strategic role of greenway in the development of ecological and cultural districts of Chinese cities and towns. Chinese Landscape Architecture, 2012, 28(6): 5-11.]
- [13] 刘滨谊, 卫丽亚. 基于生态能级的县域绿地生态网络构建初探. 风景园林, 2015, (5): 44-52. [LIU B Y, WEI L Y. An

- initial survey on the construction of ecological energy level based county green space and eco-network. *Landscape Architecture*, 2015, (5): 44-52.]
- [14] 刘滨谊, 温全平. 城乡一体化绿地系统规划的若干思考. *国际城市规划*, 2007, 22(1): 84-89. [LIU B Y, WEN Q P. Thinking of green space system planning of rural-urban continuum. *International Urban Planning*, 2007, 22(1): 84-89.]
- [15] 刘滨谊, 姜允芳. 论中国城市绿地系统规划的误区与对策. *城市规划*, 2002, 26(2): 76-80. [LIU B Y, JIANG Y F. On the mistake and the policy in the urban green space system planning. *Urban Planning*, 2002, 26(2): 76-80.]
- [16] FABOS J G. Greenway planning in the United States: Its origins and recent case studies. *Landscape and Urban Planning*, 2004, (68): 321-342.
- [17] CHARLES L. *Greenways for America*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1990.
- [18] 杨培峰, 蔡云楠. 生态问题导向的城市绿地系统规划建设模式探索: 以太原城市为例. *城市发展研究*, 2016, 23(9): 62-67. [YANG P F, CAI Y N. The research on urban green space system planning and constructible mode form the angle of ecological question view: Case study of Taiyuan city. *Urban Development Studies*, 2016, 23(9): 62-67.]
- [19] 赵峰, 徐波. 城市绿地发展战略研究方法的探讨. *中国园林*, 2007, 23(7): 3-8. [ZHAO F, XU B. Study on the method of urban green land development. *China Landscape Architecture*, 2007, 23(7): 3-8.]
- [20] STEINER F. Frontiers in urban ecological design and planning research. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 125(5): 304-311.
- [21] 刘颂, 刘滨谊, 邬秉左. 构筑无锡城市生态走廊网络: 无锡市绿地系统规划研究. *中国城市林业*, 2004, 2(5): 9-12. [LIU S, LIU B Y, WU B Z. Construction of Wuxi urban ecological corridor network: A study on the planning of Wuxi greenfield system. *Journal of Chinese Urban Forestry*, 2004, 2(5): 9-12.]
- [22] 陶宇, 李锋, 王如松, 等. 城市绿色空间格局的量化方法研究进展. *生态学报*, 2013, 33(8): 2330-2342. [TAO Y, LI F, WANG R S, et al. Research progress in the quantitative methods of urban green space patterns. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(8): 2330-2342.]
- [23] 周媛, 石铁矛, 胡远满, 等. 沈阳城市绿地适宜性与空间布局. *生态学杂志*, 2011, 30(8): 1805-1812. [ZHOU Y, SHI T M, HU Y M, et al. Urban green space land suitability and its spatial distribution in Shenyang city of Northeast China. *Chinese Journal of Ecology*, 2011, 30(8): 1805-1812.]
- [24] 齐常清. 基于GI理念的沈北新区绿地系统规划研究. 哈尔滨: 东北林业大学, 2014. [QI C Q. Study on the planning of green system for the new district in Shenyang based on green infrustructure. Harbin: Northeast Forestry University, 2014.]
- [25] 付晖, 付广. 基于GIS的海口市绿地适宜性评价研究. *西北林学院学报*, 2016, 31(4): 291-297. [FU H, FU G. Land suitability evaluation of urban green space based on GIS in Haikou. *Journal of Northwest Forestry University*, 2016, 31(4): 291-297.]
- [26] 徐彦秒. 南阳市中心城区公园用地适宜性分析. 郑州: 河南农业大学, 2015. [XU Y M. The land suitability analysis of Nanyang downtown. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2015.]
- [27] 高兴. 基于两步移动搜寻法的山地城市公园绿地布局探讨. 重庆: 西南大学, 2016. [GAO X. Research on mountainous city green space layout based on two-step floating catchment area method. Chongqing: Southwest University, 2016.]
- [28] 沈啸. 城市滨水绿地游憩适宜性评价研究. 杭州: 浙江农林大学, 2019. [SHEN X. Study on suitability evaluation of urban waterfront green space recreation. Hangzhou: Zhejiang Agricultural and Forestry University, 2019.]
- [29] 贾涵. 长春市应急避险公共绿地布局研究. 长春: 吉林建筑大学, 2015. [JIA H. The planning layout research of emergency shelter and public greenspace in Changchun city. Changchun: Jilin Jianzhu University, 2015.]
- [30] 陈晨. 大城市避灾绿地布局现状与优化选址. 长春: 东北师范大学, 2016. [CHEN C. Layout status and optimal site selection of urban disaster prevention green space: A case study of Shenyang central urban area. Changchun: Northeast Normal University, 2016.]
- [31] 唐婷. 城市绿地避灾适宜性评价及优化布局研究. 福州: 福建农林大学, 2014. [TANG T. The research on disaster-shelter suitability assessment and optimized layout for urban green space. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2014.]
- [32] 费文君. 城市避震减灾绿地体系规划理论研究. 南京: 南京林业大学, 2010. [FEI W J. Theoretical study on urban green space system planning for earthquake resistance and hazardous reduction. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2010.]

- [33] 黄安, 许月卿, 刘超, 等. 基于可达性的医疗服务功能空间分异特征及其服务强度研究: 以河北省张家口市为例. 经济地理, 2018, 38(3): 61-71. [HUANG A, XU Y Q, LIU C, et al. Research on the spatial differentiation of healthcare service function and its intensity based on accessibility: A case study of Zhangjiakou city in Hebei province. Economic Geography, 2018, 38(3): 61-71.]
- [34] HUANG A, XU Y Q, SUN P L, et al. Land use/land cover changes and its impact on ecosystem services in ecologically fragile zone: A case study of Zhangjiakou city, Hebei province, China. Ecological Indicators, 2019, (104): 604-614.
- [35] 申世广, 王浩, 茆德平, 等. 基于 GIS 的常州市绿地适宜性评价方法研究. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2009, 33(4): 72-76. [SHEN S G, WANG H, JIA D P, et al. Land suitability evaluation methods for urban green space system planning based on GIS in Changzhou city. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2009, 33(4): 72-76.]
- [36] 陈康林, 龚建周, 刘彦随, 等. 近 35 年来广州城市绿色空间及破碎化时空分异. 自然资源学报, 2016, 31(7): 1100-1113. [CHEN K L, GONG J Z, LIU Y S, et al. The spatial-temporal differentiation of green space and its fragmentation during the past thirty-five years in Guangzhou. Journal of Natural Resources, 2016, 31(7): 1100-1113.]
- [37] 刘大鹏, 高燕, 王悦. 包头市文化教育功能空间分布特征分析. 西北师范大学学报: 自然科学版, 2017, 53(6): 123-130. [LIU D P, GAO Y, WANG Y. Research on the spatial distribution of culture education function in Baotou city. Journal of Northwest Normal University: Natural Science, 2017, 53(6): 123-130.]
- [38] 刘家福, 马帅, 李帅, 等. 1982—2016 年东北黑土区植被 NDVI 动态及其对气候变化的响应. 生态学报, 2018, 38(21): 7647-7657. [LIU J F, MA S, LI S, et al. Changes in vegetation NDVI from 1982 to 2016 and its responses to climate change: Hange in the black-soil area of Northeast China. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(21): 7647-7657.]
- [39] 周婷, 张勇, 严力蛟. 生态公益林补偿政策对植被覆盖时空格局的影响: 以杭州市临安区为例. 生态学报, 2018, 38(13): 4800-4808. [ZHOU T, ZHANG Y, YAN L J. Effects of forest compensation policy for public welfare on the spatio-temporal patterns and dynamics of vegetation cover: A case study at Lin'an, Hangzhou city. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(13): 4800-4808.]
- [40] 刘丹. 弹性城市的规划理念与方法研究. 杭州: 浙江大学, 2015. [LIU D. Planning for resilient cities: Theory and methods. Hangzhou: Zhejiang University, 2015.]
- [41] 吴次芳, 邵霞珍. 土地利用规划的非理性、不确定性和弹性理论研究. 浙江大学学报: 人文社会科学版, 2005, 35(4): 98-105. [WU C F, SHAO X Z. A study on the irrational, uncertain and flexible theory of land use planning. Journal of Zhejiang University: Humanities and Social Sciences, 2005, 35(4): 98-105.]
- [42] 黄安, 许月卿, 刘超, 等. 基于土地利用多功能性的县域乡村生活空间宜居性评价. 农业工程学报, 2018, 34(8): 252-261. [HUANG A, XU Y Q, LIU C, et al. Evaluation on livability of living space based on multiple functions of land use at county level. Transactions of the CSAE, 2018, 34(8): 252-261.]
- [43] 刘瑞雪, 彭媛媛. 基于层次分析法的城市滨海绿地植物景观评价. 西北林学院学报, 2017, 32(4): 288-293. [LIU R X, PENG Y Y. Evaluation of plant landscape in the seaside green space based on analytic hierarchy process. Journal of Northwest Forestry University, 2017, 32(4): 288-293.]
- [44] 刘晓光. 城市绿地系统规划评价指标体系的构建与优化. 南京: 南京林业大学, 2015. [LIU X G. A research on evaluation index of urban green space system planning. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2015.]
- [45] 姜刘志, 杨道运, 梅岑岑, 等. 城市绿地生态系统服务功能及其价值评估: 以深圳市福田区为例. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2018, 52(3): 424-431. [JIANG L Z, YANG D Y, MEI C C, et al. Ecosystem service function and its value assessment for urban green space: A case study on Futian district of Shenzhen city. Journal of Central China Normal University: Natural Science, 2018, 52(3): 424-431.]
- [46] 刘颂. 转型期城市绿地系统规划面临的问题及对策. 城市规划学刊, 2008, (6): 79-82. [LIU S. Solutions to the problems of urban green space system planning in the transitional period. Journal of Urban Planning. 2008, (6): 79-82.]
- [47] HUANG A, XU Y, LIU C, et al. Simulated town expansion under ecological constraints: A case study of Zhangbei county, Hebei province, China. Habitat International, 2019, (91): 1-12.

Evaluation of the suitability of urban protective green space layout in industrial cities: A case study of Baotou city, Inner Mongolia

LIU Da-peng, MA Bin, WANG Yue

(Inner Mongolia University of Science and Technology College, School of Architecture,
Baotou 014010, Inner Mongolia, China)

Abstract: Urban green space is an important part of urban ecological system. Compared with other types of cities, the ecological and environmental problems of industrial cities are prominent. Therefore, more attention should be paid to the network layout and construction of protective green space. From 2000 to 2017, a large amount of high-quality green space in Baotou, an industrial city, was occupied by urban construction. Urban green space was increasingly fragmented with the reduction of patchy and banded green space. A green space ecological network has not yet been formed. With further development of industrialization and urbanization, the current green space bears greater pressure on ecological protection and restoration than ever before. According to the demand characteristics of protective green space construction in Baotou, this paper evaluated the suitability of green space layout in the industrial city based on the isolation and protection concept, resilient theory and GIS spatial analysis technology. On this basis, priority zoning was performed for the green space layout and construction in combination with the spatial distribution characteristics of current green space. The results showed that : (1) The suitable green space layout of the research area was 449.59 km², accounting for 71.41% of the total area of the research area (629.59 km²), which can increase the coverage rate by 26.7% compared with the current green space coverage rate (44.71%). (2) There were large undistributed green space and large area of low-quality green space in the suitable area. About 25.73% of the suitable area was not distributed with green space, and the NDVI value of about 47.64% of the suitable area was between 0 and 0.2. (3) According to the results of green space layout and construction zoning, the area of 41.02 km² can be given priority to green space construction. The results can provide theoretical and practical reference for the layout and construction of protective green space in Baotou and other similar cities.

Keywords: industrial city; protective green space; spatial layout; suitability assessment; GIS; Baotou city