

Ecological Significance and Model of Minimum Ecological Safety Distance

Zhaoli Wang¹, Binyang Jia¹, Xiaohui Zhan¹, Mei Li², Wei Liang¹, Yiran Zhong¹, Song Bai^{3*}

¹Chengdu Academy of Environmental Protection, Chengdu Sichuan

²School of Urban and Rural Construction, Chengdu University, Chengdu Sichuan

³College of Chemistry & Environment Protection Engineering, Southwest University for Nationalities, Chengdu Sichuan

Email: ^{*}songbai1240@126.com

Received: Sep. 26th, 2018; accepted: Oct. 12th, 2018; published: Oct. 19th, 2018

Abstract

The minimum ecological safety distance is originally designed to solve environmental problems in the process of urbanization, and it is of great significance in ecological topics, such as ecological security pattern and biodiversity conservation. The thesis thoroughly discusses the ecological meaning and connotation of minimum ecological security distance of multi dimension based on the theory of ecological security, air pollution diffusion and building of ecological city. It also explores measures to calculate the minimum distance and prospects for practical use with the help of the atmospheric pollution diffusion model and the minimum cumulative resistance model. The research shows that: 1) the minimum ecological safety distance is the necessary spatial interval of economic and social activities between cities or functional units which are composite ecosystems themselves. It is set to keep functioning of virtuous cycle of the ecosystem and service and avoid environmental overloading; 2) it is subject to regional resource and environment carrying capacity, environmental background and regional development goals; 3) the minimum ecological security distance can be used in the fields of ecological security structure of cities, biodiversity conservation, eco-city planning and air pollution control, and is proved to be promising in constructing regional ecological security pattern and reducing cross-compound pollution. To determine the minimum ecological safety distance is to pursue a comprehensive modeling that requires multidisciplinary theories, technical support and a large number of empirical studies. Only in this way can we enrich the ecological significance and connotation of the minimum ecological safety distance.

Keywords

Minimum Ecological Safety Distance, Eco-Safety Structure, Compound Pollution, Calculating Model

最小生态安全距离的生态学意义及模型

*通讯作者。

文章引用: 王照丽, 贾滨洋, 咎晓辉, 李玫, 梁伟, 钟一然, 柏松. 最小生态安全距离的生态学意义及模型[J]. 世界生态学, 2018, 7(4): 222-231. DOI: 10.12677/ije.2018.74024

王照丽¹, 贾滨洋¹, 晁晓辉¹, 李 玫², 梁 伟¹, 钟一然¹, 柏 松^{3*}

¹成都市环境保护科学研究院, 四川 成都

²成都大学城乡建设学院, 四川 成都

³西南民族大学化学与环境保护工程学院, 四川 成都

Email: songbai1240@126.com

收稿日期: 2018年9月26日; 录用日期: 2018年10月12日; 发布日期: 2018年10月19日

摘 要

最小生态安全距离的提出最初是为解决城镇化进程中的环境问题, 但其在生态安全格局构建和生物多样性保护等生态学主题上同样具有重要意义。本文基于生态安全理论、大气污染扩散与控制理论以及生态城市建设等基础理论, 从多个角度深入挖掘最小生态安全距离的生态学意义和内涵, 并结合大气污染扩散模型和最小累积阻力模型, 探索最小生态安全距离的测算方法与应用前景。研究表明: 1) 最小生态安全距离旨在满足生态系统良性循环、生态系统服务功能正常运转以及环境容量不超载, 作为复合生态系统的城市之间或城市各功能单元之间在社会经济活动空间上必须间隔的最小距离; 2) 该距离受区域资源环境承载力、环境本底和区域发展目标的约束; 3) 最小生态安全距离可综合应用于城市生态安全格局构建、生物多样性保护、城市生态规划和大气污染控制等领域, 其在区域生态安全格局构建和减缓城市交叉复合污染方面前景更加广阔。最小生态安全距离的确定是一个综合性的建模求解过程, 需要多学科理论和技术的支持, 并通过大量丰富的实证研究, 才能拓展和深化最小生态安全距离的生态学意义和内涵。

关键词

最小生态安全距离, 生态安全格局, 复合污染, 测算模型

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

“最小生态安全距离”是国家环保部于2014年3月在我国环境保护工作会议中首次提出的全新概念。会议提出“城市之间最小生态安全距离, 减少城镇化进程中的环境问题, 通过设置城市之间空间距离的红线, 避免交叉和重叠污染, 实现区域生态安全和可持续的双重目标”。最小生态安全距离除了应用于城市间距离的合理规划外, 在生物多样性保护、生态安全格局构建等生态学主题上具有重要意义。目前, 国际上尚没有“最小生态安全距离”这一提法。到目前为止, 除了笔者已发表的几篇文章外[1], 国内少见其它关于最小生态安全距离概念的阐述和深入解释。本文拟通过对最小生态安全距离定义和内涵的进一步阐述, 以厘清最小生态安全距离的生态学意义, 在此基础上探讨最小生态安全距离测算的模型和应用前景。

2. 最小生态安全距离的定语与内涵

2.1. 最小生态安全距离的提出

近年来, 国内大规模、集中性的大气污染事件频发, 这充分暴露出我国城市化进程和城市无限扩张过程中存在诸多问题。国家城市化进程发展中需要防止城市生态资产萎缩、维护良好的城市生态功能服

务。最小生态安全理论认为城市之间的距离存在一个最小值,当城市之间的距离小于该值时就可能形成交叉复合的环境污染问题,而解决该环境问题的关键在于城镇化的合理布局[2]:一方面,要合理控制城市自身建设规模,另一方面,还要控制城市与城市间的距离,合理测算和确定城市群、城市带之间的生态安全距离,为净化污染扩散和削减预留足够的空间[3]。充分借鉴生态安全和生态安全格局理念的城市最小生态安全距离研究,有助于为城市集中发展预留环境污染净化空间,缓解城市之间环境污染的相互影响,减轻城镇化进程中的环境问题;该研究不仅有助于加强政府空间管控能力,还可为建立统一衔接、功能互补、相互协调的空间规划体系提供理论依据[4]。

2.2. 最小生态安全距离的定义与内涵

2.2.1. 最小生态安全距离的定义

最小生态安全距离(The Minimum Distance For Ecological Security, MDES)是应对我国新型城镇化发展进程中出现的新问题、新矛盾而产生的全新概念。目前,国内外对最小生态安全距离的研究才刚刚起步,学界对此概念的认识和理解十分薄弱,至今尚无明确的定义。笔者认为,最小生态安全距离是为满足生态系统良性循环、生态系统服务功能正常运转以及环境容量不超载,作为复合生态系统的城市之间或城市功能单元之间经济社会活动在空间上需间隔的最小距离[1]。满足了这一距离(或者说具有了这样的空间结构),人类在生产、生活过程中,能够使当地的环境系统和生态系统具有最基本的自组织能力,在受到外界胁迫时能够通过自我调节机制实现自然净化与生态恢复,从而使环境质量维持在一定的水平、生态系统维持在相对稳定的状态。

最小生态安全距离不等同于合理的距离,更不是优化的距离,而是最低限度保障城市生态安全所应保持的最小距离。无法保证这个距离,生态系统就可能受损,生态安全就可能面临威胁;环境质量有可能因污染物超过了承载能力而恶化。最小生态安全距离是针对生态系统而言,因此,对于不同层次的生态系统,其最小生态安全距离的内涵是不一样的。由于生态系统类型多样而复杂,因此,对于不同的生态系统,最小生态安全距离的界定也各不相同,如何确定各类生态系统的生态安全距离,是一个富有挑战性的课题。

2.2.2. 城市(或功能单元)间的最小生态安全距离

城市之间最小生态安全距离是为了保障城市群内所有城市的生态安全,需要在不同城市间划定一定的缓冲地带,限制城市经济社会活动,以满足生态系统正常运转以及环境污染物稀释扩散的需要,达到生态安全和保障人体健康的目的。城市建成区(即市行政区范围内经过实际建设发展起来的非农业生产建设地段)之间的缓冲地带的生态安全距离即为城市间最小生态安全距离。城市间最小生态安全距离包含了建成城市与规划城市之间的最小生态安全距离和两个已建城市之间的最小生态安全距离。城市间生态安全距离如图1所示。

假设有两个相邻城市A和B(图1),城市A和B的建成区周围均存在一定宽度的生态缓冲带,缓冲带内部虚线部分表示城市的城市生态底线, d_A 、 d_B 分别为城市A和城市B的生态安全底线与城市交界处的距离(图1)。首先,针对某个城市,其最小生态安全距离可以理解为:要确保城市发展的生态安全和生态底线,则城市自身排放的污染物,必须保证对其他城市无影响所需的最小距离。具体而言,污染物由A城市的建成区传输到其城市边界,污染物浓度不超过城市边界处的生态安全阈值,此时的缓冲带宽度 d_A 即为城市A发展的最小生态安全距离。其次,从两个城市的角度出发,该视角下主要考虑两个城市相互影响的条件下城市之间的最小安全距离。具体而言,由于A城市和B城市的污染排放均会对边界的环境质量产生影响,所以此时,从建成区生态底线位置算起,必须当城市交界处的污染物浓度恰好达到此处要求的污染物排放安全阈值时, $(d_A + d_B)$ 方为最小生态安全距离。

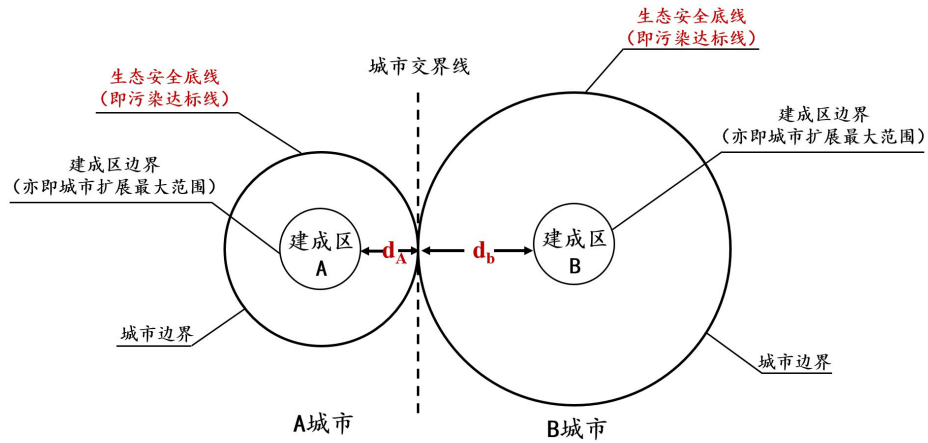


Figure 1. The concept of minimum ecological safety distance between cities
图 1. 城市间最小生态安全距离的概念示意

2.3. 最小生态安全距离的影响因子

城市生态系统分为自然生态系统、经济生态系统和社会生态系统[5] [6]。城市之间的最小生态安全距离主要取决于城市发展空间边界与承载城市污染负荷所需生态空间边界之间的距离。这两者动态变化并存在相关性，两者之间相互影响。

最小生态安全距离的影响因子是多方面的。包含其对城市所需的发展空间和污染物扩散空间两大空间产生影响的各个要素。包括城市发展空间与污染物的扩散空间跟城市功能定位、发展规模、产业导向、经济社会指标、污染物排放和迁移规律、区域生态系统环境特点等诸多要素。最小生态安全距离的影响因子及关系如图 2 所示。由图 2 可见，最小生态安全距离的各要素归结起来包括了城市资源环境承载力，

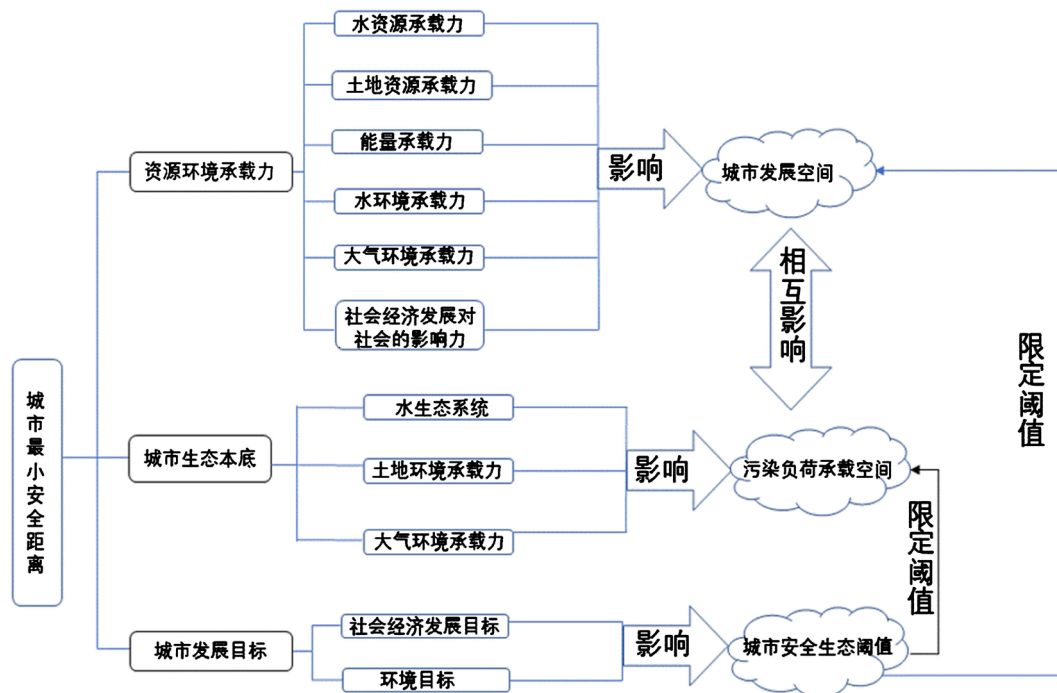


Figure 2. Influence factors and relationships of minimum Ecological Safety distance
图 2. 最小生态安全距离的影响因子及关系

城市生态本底,以及城市发展目标(包括社会经济目标和环境目标)三个方面。在城市发展目标限制条件下,城市资源环境承载力所影响的城市发展空间与城市生态本底所影响的污染物负荷所需空间将达到动态平衡,根据这两大空间之间的距离可确定城市最小生态安全距离。

3. 最小生态安全距离的生态学意义

3.1. 最小生态安全距离的尺度分析

尺度问题是所有生态学研究的基础。尺度的一个重要特性是它的不可推绎性,在一个尺度上的定义会随着观测尺度的改变而改变,因此不可将一种尺度上得到的概括性结论推广到另一种尺度上去[7]。理论上,最小生态安全距离就是在不同研究尺度上划定的限制城市发展的底线。它可以在宏观、中观和微观三个尺度上进行界定。最小安全距离在宏观尺度上旨在划定出城市之间、城市组团或城市大片区之间的生态安全距离;在中观尺度上,主要划定城市内部各个生态保护斑块和生态保护廊道生态安全的最小距离;微观尺度上则是要确保城市内部公共空间的最小距离。

3.2. 最小生态安全距离与生态安全格局

景观中的某些关键性的局部,位置和空间联系构成生态安全格局(Security Patter, SP) [8] [9]。城市尺度生态安全格局的研究难点在于:如何实现城市尺度上生态安全格局边界的清晰化。对城市间生态安全距离而言,最小生态安全距离正好是构建城市生态安全格局的重要工具,它能保障城市的主体生态功能不受影响,环境质量不会显著下降。

最小生态安全距离的划定属于微观层次的技术方法,该方法可以划定城市的开发边界,城市生态保护红线,以及城市之间污染物扩散和吸收的最小空间。根据城市发展定位和总体目标,收集城市相关基础数据,构建城市最小生态安全距离测算模型,研究城市群之间、城市之间、城市内部各组团、各片区之间的最小生态安全距离,据此划分出城市之间的污染物扩散和吸收的最小生态空间。通过合理布局绿色基础设施,构建城市生态安全格局,保障城市及城市之间、城市内部各组团、各片区,以及城市内部及周边地区生态控制斑块和廊道的生态安全。

3.3. 最小生态安全距离与生物多样性保护

生物多样性是所有来源的活的生物体中的变异性。生物多样性发生变化时,生态系统的功能就将遭受损害,并影响生态系统的生产力[10]。随着城镇化进程的加快,城市空间形成了大分散和蔓延式的扩张,自然生态系统被挤压、分割。生态用地破碎化程度加剧,冲击野生动物栖息地,破坏自然景观的范围与结构,降低生物多样性。生物多样性保护的重要措施之一是建立自然保护区。自然保护区是为了保护生物多样性而划定的生态空间,在二维尺度上表现为生态距离,即在生态系统空间分布的研究中,抛开传统的点-点距离量测方法,在近邻分析基本原则下,以含点面积单元之间的距离判定取代点间的距离判定。从生物多样性的空间分布定义最小生态安全距离,自然保护区的划定和建立过程,从本质上说,也就是最小生态安全距离的确定过程。

3.4. 最小生态安全距离与生态城市

随着城市化进程的快速推进,在不同空间尺度上出现了超大城市、城市群、城市组团等新的城市形态,城镇人口数量剧增,城市规模迅速膨胀和蔓延,资源、环境、交通等问题不断加剧。其中尤为突出的一个新问题就是:在区域内城市的密集布局,高强度污染物排放并交叉迁移扩散,城市与城市之间的环境冲突与污染叠加成为我国城市环境污染的一种常态表现形式。建设生态城市是探索和解决上述城

镇化问题的一种理想途径。现代生态城市思想强调城市与自然平衡的和谐共存[11]。在城镇化进程中,需要紧密结合生态城市理念,合理划定生态保护红线,扩大城市生态空间,在城镇化地区合理建设绿色生态廊道,在城市群、城市带之间留足生态安全距离。

基于最小生态安全距离编制城市生态安全格局规划是生态城市发展的先导条件。在生态城市是建设中,合理规划城镇空间,在发展区域间划定生态安全距离,将城市生态过程与生态功能这两个概念具体化、落地化,有效解决的城市污染,为城市规划划定开发边界,构建城市生态安全格局。

3.5. 最小生态安全距离与大气污染控制

除了集中、高强度的污染排放这一原因外,城市的不合理布局也是造成区域大气污染的重要根源。随着城市规模的不断扩张,区域内城市连片发展,受大气环流作用,城市间大气污染相互影响明显,相邻城市间污染传输影响极为突出。由于城市群内部各城市之间几乎没有充足的减缓污染影响的缓冲区域,城市间大气污染互相叠加、互相影响,导致城市复合污染日益严重也是不能忽略的事实。在这种情况下,引入城市之间最小生态安全距离指标,可以限制和协调城市群中各城市的发展边界,缓解复合型大气污染。

城市群、大型城市及周边城镇通常为污染物排放较为集中的地区,建设面积的大小、建设布局及间距远近的不同对城市群区域大气环境带来重要影响[12]。应当根据其大小、产业结构和规模、大气流通环境等,合理科学确定城市间的生态安全距离,使城市群大气污染物在一定范围内实现自净和扩散,减少大气污染对城市环境的影响从城市群、城市与城市之间、城市内部三个尺度,构建基于资源和生态系统承载力的城镇发展格局,依托现有山水脉络等独特风光,让城市融入大自然,不断优化城市生态安全格局,从源头防止大气污染及其它污染问题。

4. 最小生态安全距离测算模型及应用

4.1. 最小生态安全距离划定思路

最小生态安全距离受自然本地、环境目标敏感度和社会发展目标水平等因素的影响,不同尺度下的最小安全距离测算的对象也各不相同。城市之间的最小生态安全距离主要取决于城市发展边界与承载城市污染负荷所需生态空间边界之间的距离。基于城市生态本底、城市资源环境承载力,城市发展目标(社会经济目标、环境目标)的城市间最小生态安全距离的测算步骤大体可分四步:首先,确定城市功能定位、城市规模、环境目标或生态安全目标。其次,根据城市资源环境承载力和功能定位,筛选影响和决定城市生态安全的生态环境要素(哨兵标志物),这个标志物必须是该城市中较敏感的生态要素,并且还能够定量或半定量的影响城市的生态安全边界。第三,根据城市不同阶段的环境目标或生态安全目标,基于哨兵标志物,演算保障生态要素达标所需的最小生态空间(或城市面积)。第四,根据计算所得城市最小生态空间和城市空间计算最小生态安全距离。

哨兵标志物的选择是最小生态安全距离计算的基础,哨兵标志物包含了可能对生态环境造成破坏和压力的所有要素,包括重大危险源,大气环境污染,水环境污染,生态安全等,每一类环境要素中还可以进行细分,例如大气环境中的不同类型的污染物,生态安全中的外来物种入侵或生态破碎化等。以大气污染和生态环安全为例,说明最小生态安全距离的测算方法。

4.2. 大气污染的最小生态安全距离测算

除了一些众所周知的英文缩写,如 IP、CPU、FDA,所有的英文缩写文中第一次出现时都应该给出其全称。文章标题中尽量避免使用生僻的英文缩写。1 大气生态安全距离受到污染源排放强度、空间

布局、风速、风向等多种因素影响，城市中不同的方位的最小生态安全距离也不相同。因此，大气生态安全距离并不是一个单一值，而是由一系列不同方位组成的矢量值。大气生态安全距离的测算需要从城市发展的目标主体入手，并根据污染物排放强度和气象要素来构建最小生态安全距离的测算模型。2 目标主体对某一方位的客体影响程度与目标主体的污染物排放强度和该方位风的频率有关(3-2-1)，由于相邻区域污染存在交叉，需要考虑两个区域之间的相互重叠影响，重叠的程度与两个区域之间的风向频率有关，两个区域之间相互重叠后的污染物总量为 TE (3-2-2)。

$$I = E \times WP_i \tag{3-2-1}$$

$$TE = E_A \cdot WP_A + E_B \cdot WP_B \tag{3-2-2}$$

I 为目标主体对方位 i 的客体影响程度，表现为污染物输入量(t)； E 为目标主体的大气污染物排放量(t)； WP_i 为目标主体在方位 i 的年风向频率。 TE 为两个区域之间相互重叠后的污染物总量(t)； E_A 和 E_B 为两个区域的大气污染物排放量(t)； WP_A 和 WP_B 为 A 和 B 区域在 AB 连线方向上的年风向频率；

两个区域之间使污染物扩散和降解的空间，可粗略认为是对应于该风向方位上(360°的 1/16 角度)的下垫面面积(A)。面积的大小由区域之间的空间距离和风向方位的角度决定：

$$A = \frac{\tan(360^\circ/32) \times R_{EA}^2}{2} \tag{3-2-3}$$

R_{EA} 为 A、B 两个区域之间的空间距离(km)。

下垫面面积 A 对应的污染物净化能力(PCL)可采用单位面积的大气环境容量与区域面积估算为：

$$PCL = A \times AP \tag{3-2-4}$$

式中， PCL 为下垫面面积 A 对应的污染物净化能力(t)； AP 为区域单位面积的大气污染物环境容量(t/km²)。

下垫面类型不同，对于污染物的净化能力不同，如果是森林和草地，则具有较强的大气污染物的净化功能，下垫面 A 区域的森林和草地的净化能力(PCE)可表示为：

$$PCE = A \cdot FD \cdot FSE + A \cdot GD \cdot GSE \tag{3-2-5}$$

式中， PCE 为下垫面 A 区域的森林和草地的净化能力(t)； FD 和 FSE 分别为下垫面森林覆盖率和森林的污染物净化能力(t/km²)； GD 和 GSE 分别为下垫面草地覆盖率和草地的污染物净化能力(t/km²)。

风向对应的下垫面净化能力如果能够恰好等于两个区域重叠的污染物，则认为对应的空间距离达到了最小生态安全距离的要求。即重叠的污染物量与缓冲区对应的环境容量和净化能力达到平衡，数学表达式为：

$$E_A \cdot WP_A + E_B \cdot WP_B = A \cdot AP + A \cdot FD \cdot FSE + A \cdot GD \cdot GSE \tag{3-2-6}$$

由此得到下垫面的面积 A ：

$$A = \frac{E_A \cdot WP_A + E_B \cdot WP_B}{AP + FD \cdot FSE + GD \cdot GSE} \tag{3-2-7}$$

所以区域之间大气生态安全距离 R_{EA} 为：

$$R_{EA} = \sqrt{\frac{2(E_A \cdot WP_A + E_B \cdot WP_B)}{\tan(11.25^\circ)(AP + FD \cdot FSE + GD \cdot GSE)}} \tag{3-2-9}$$

式中， R_{EA} 为 A、B 两个区域之间的大气生态安全距离(km)。

大气生态安全距离的平方 R_{EA}^2 与两个区域的大气污染物排放量 E_A 、 E_B 成正比关系，即两个区域的大

气污染物排放量愈大, 大气生态安全距离愈大, 且与年风向频率 WP_A 、 WP_B 也成正比关系。

4.3. 生态安全格局的最小累积阻力模型

城市用地扩展是一种水平方向上的空间运动。由于土地的空间异质性和生态要素的敏感性差异, 城市在向不同方向扩展的过程中受到不同的阻力, 消耗不同的费用, 运用最小累积阻力模型分析城市用地在扩展过程中所受的生态安全阻力, 并计算累计阻力值, 通过确定阻力值的阈值确定最小生态安全距离。

4.3.1. 最小累积阻力模型

最小累积阻力(Minimum Cumulative Resistance, MCR)是指从“源”出发经过不同类型的景观(土地结构类型)后, 到达一定区域或位置所需克服的最小阻力或者耗费的最小费用, 该模型基于地理理论常用来详细表达地理信息和测算个体之间的连接度, 可用于计算生态敏感要素所需的最小生态安全距离。MCR模型最早由 Knaapen 等[13]人于 1992 年提出, 经俞孔坚[7]、陈利顶等人 1998 年的修改后的基本公式为 [14] [15]:

$$MCR = f_{\min} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (D_{ij} \times R_i) \quad (3-3-1)$$

式中: MCR 是最小累积阻力值; 表示物种从源 j 到景观单元 i 的空间距离; 表示景观单元 i 对某物种运动(或者说生态空间扩展)的阻力系数; Σ 表示单元 i 与源 j 之间穿越所有单元的距离和阻力的累积; \min 表示被评价的斑块对于不同的源取累积阻力最小值; f 表示最小累积阻力与生态过程的正相关关系, 是一个单调递增函数。

源的选取和阻力面体系的构建是 MCR 模型建立的关键, 而源在阻力面体系下对周围空间单元的竞争性扩散(以最小累积阻力值为依据)是 MCR 模型的核心。模型可选用 ArcGIS 系列软件中的 Cost distance 模块进行计算。

4.3.2. 基于 MCR 模型的最小生态安全距离测算

1) 确定源

源是事物或事件向外扩散的起点和基地, 它具有内部同质性, 否则就要分解为不同的源。源具有向四周扩展或吸引的能力, 扩展能力或吸引能力的大小与源的性质, 四周传播媒体的性质均有关。

2) 设置扩展阻力系数

能流或物流经过景观受到城市土地结构特征的影响使流速、流向等发生改变, 这种影响称为扩展阻力, 如风通过遇到防护林时, 风的方向与速度都要发生改变。将城市的扩展过程在空间上看作是城市发展侵占和占用城市周围土地的过程, 而这种扩展过程将导致城市生态安全状态发生改变或者受到破坏, 因而存在一定的扩展阻力。可以使用生态安全指数来反表征某个区域的阻力值, 生态安全指数越高的区域, 其对生态安全破坏作用的承载力越高, 其扩展阻力就越小。反之亦成立。生态安全指数可选用层次分析法进行计算。

3) 计算最小累积阻力距离

基于阻力系数的设置, 获取研究区域的阻力成本栅格。以“源”为起点, 计算“源”之间的最小累积阻力。“源”可经过不同的路径(单元)到达目标栅格单元路径不同, 阻力成本不同。通过 ArcGIS 的 Cost distance 模块计算“源”的最小累积阻力分布。

4) 阻力面分析

在最小生态安全距离的计算中, 城市对土地的利用被看作是对空间的竞争性控制和覆盖过程, 而这种控制和覆盖必须经过克服阻力来实现。所有单元的累积阻力在空间上的分布就构成了扩展源(城市建成

区)在城市扩展过程中运动的趋势面,也就是阻力面(resistance layer),可以较为直观地反映出城市扩展的潜在可能性或运动轨迹。

5) 城市最小生态安全距离的计算

根据城市的生态定位或者对功能区的生态保护要求,城市扩展范围必须处于生态安全阈值所限定的范围之内。在城市用地扩展最小累积阻力分布图上,我们采用相应的阻力限值来表征生态安全阈值,从而对城市扩展范围设定出空间的边界。该边界以内的区域就是城市扩展可以到达的区域。而这个边界与城市行政边界之间的距离就是单个城市的最小生态安全距离。对于多个城市组成的城市群来讲,分别计算出在同等生态安全状态下各个城市建成区的扩展边界。这些边界之间的距离就是城市群中对应某一个生态安全状态(大气、生态等)的城市间最小生态安全距离。

5. 结语

随着城市化进程中超大城市、城市群、城市组团等新的城市形态的出现,跨区域的交叉复合污染愈发严重。确保城市与城市间的最小生态安全距离,在提高城市宜居性的同时,为净化空气污染预留足够的空间显得尤为必要。最小生态安全距离的划定受城市发展目标、环境本底和资源环境承载的影响,是一个统筹多种规划的工具。最小生态安全距离的确定可以为生态安全格局的构建提供依据,促进生物多样性保护和生态城市建设,缓解跨区域大尺度的交叉复合污染。

最小生态安全距离测算的关键明确影响安全距离的哨兵因子,并根据不同的哨兵因子确定相应的计算模型,除了文中给出的大气污染和生态安全方面的测算外,还可能涉及地表水环境污染以及微观的重大危险源对应的最小生态安全距离,由于篇幅有限,不作深入的讨论。

此外,对于一个特定的城市或城市群,由于受多方面条件限制,该城市群内部各城市之间的距离往往小于其最小生态安全距离。这样,各城市之间的环境空间将不具备吸收和消纳污染物的能力。对于这种情况,可以通过在城市内部或两城市之间规划相应的绿色基础设施[16],增强其对污染物的吸收和净化能力,用于弥补最小生态安全距离不足的问题。对于一个已建或在建的城市或城市群,其城市规划及其空间布局早已形成,城市及城市之间,城市内部各组团、各片区之间的空间距离将无法改变。对于这样的城市,已不能划定其最小生态安全距离,即无法为该城市的可持续发展预留一个最小的污染物扩散空间。针对这种情况,可以通过在城市之间,或城市内部构建完善的绿色基础设施体系,用以解决最小生态安全距离不足的问题。

基金项目

四川省科技厅应用基础研究计划项目(2017JY0245);成都市哲学社会科学规划项目(2018R48)。

参考文献

- [1] 贾滨洋,曾九利,李玫,等.“多规融合”下的城市开发边界与最小生态安全距离[J]. 环境保护, 2015, 43(3): 23-26.
- [2] Cilliers, E.J. and Schoeman, C.B. (2008) The Urban Development Boundary as a Planning Tool for Sustainable Urban Form. *Sustainable City V*, 117, 85-94. <https://doi.org/10.2495/SC080091>
- [3] 高吉喜,张惠远. 构建城市生态安全格局,从源头防控区域大气污染[J]. 环境保护, 2014, 42(6): 20-22.
- [4] 丁一,卢庆芳. 城市生态安全构建研究——成都市天府新区新型城镇化的建设[J]. 西南民族大学学报:人文社会科学版, 2014(10): 156-159.
- [5] 景星蓉,张健,樊艳妮. 生态城市及城市生态系统理论[J]. 城市问题, 2004(6): 20-23.
- [6] White, R.R. (2002) *Building the Ecological City*. CRC Press, Woodhead.
- [7] 张娜. 景观生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2014.

- [8] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局[J]. 生态学报, 1999, 19(1): 8-15.
- [9] Schumacher, M., Fernandez, E., Hybertson, D., *et al.* (2005) Security Patterns: Integrating Security and Systems Engineering. John Wiley & Sons.
- [10] 俞孔坚, 李迪华, 段铁武. 生物多样性保护的景观规划途径[J]. 生物多样性, 1998, 6(3): 205-212.
- [11] 郗凤明, 胡远满, 贺红士, 等. 基于 SLEUTH 模型的沈阳-抚顺都市区城市规划[J]. 中国科学院大学学报, 2009, 26(6): 765-773.
- [12] Barsotti, S., Neri, A. and Scire, J.S. (2008) The VOL-CALPUFF Model for Atmospheric Ash Dispersal: 1. Approach and Physical Formulation. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **113**(B3). <https://doi.org/10.1029/2006JB004623>
- [13] Knaapen, J.P., Scheffer, M. and Harms, B. (1992) Estimating Habitat Isolation in Landscape Planning. *Landscape & Urban Planning*, **23**, 1-16. [https://doi.org/10.1016/0169-2046\(92\)90060-D](https://doi.org/10.1016/0169-2046(92)90060-D)
- [14] 彭晋福. 应用最小累计阻力模型模拟土地变化——以江苏省扬中市为例[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京大学, 2000.
- [15] 王瑶, 宫辉力, 李小娟. 基于最小累计阻力模型的景观通达性分析[J]. 地理空间信息, 2007, 5(4): 45-47.
- [16] Canzonieri, C., Benedict, M.E. and McMahon, E.T. (2007) Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities. *Landscape Ecology*, **22**, 797-798.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2324-7967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ije@hanspub.org