Research
Sustainable Infrastructure—Article

基于 GIS 的中国深圳市城市快速路环境敏感性评估

李骐安^{a,b}, 郭凤清^{a,c}, 关云涛^{a,b,*}^a State Environmental Protection Key Laboratory of Microorganism Application and Risk Control, School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China^b Guangdong Provincial Engineering Technology Research Center for Urban Water Cycle and Water Environment Safety, Graduate School at Shenzhen, Tsinghua University, Shenzhen, 518055, China^c College of Water Conservancy Engineering, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China

ARTICLE INFO

Article history:

Received 2 November 2017

Revised 1 December 2017

Accepted 3 January 2018

Available online 22 March 2018

关键词

环境敏感区
城市快速路
地理信息系统
低影响开发

摘要

随着城市化、人口增长以及社会经济的迅猛发展,中国的城市生态环境日趋恶化。深圳市正在建设一条经过环境敏感区(ESA)的城市快速路。由于城市快速路的径流系数大、污染物累积量高、污染物成分复杂,导致城市快速路造成的潜在环境污染问题格外严峻。鉴于ESA极易受到人为干扰,因此应给予特别关注。为了评估该城市快速路沿线的环境敏感性,并最大限度地减少道路建设及未来通行对周边生态系统的影响,本文借助地理信息系统(GIS)对相关区域的环境敏感性进行了评估。最终的ESA分布图被划分为4个环境敏感度等级。结果表明该快速路的大部分路段(11.93 km)经过高度敏感区,占快速路总里程的52.3%,且90%以上的路段经过ESA。本文为基于低影响开发技术的初期降雨径流处理设施的布局方案优化提供重要指导,以最大限度地减小道路径流污染对周边生态环境的影响。

© 2018 THE AUTHORS. Published by Elsevier LTD on behalf of Chinese Academy of Engineering and Higher Education Press Limited Company This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. 引言

城市生态环境为人们提供了清洁的水资源和舒适的居住环境,这些都是城市经济、社会和文化发展的基础。然而,随着城市化的发展,城市生态环境受城市内涝、热岛效应和降雨径流污染的影响而变得日益脆弱。为了缓解城市扩张对环境的影响,生态系统管理通常都是从对环境敏感区域(ESA)的考察开始。ESA的识别为维护城市生态系统健康和提高公共生活水平提供重要依据。

目前深圳市正在建设的一条快速路经过多个自然保护区,这些保护区是城市中的限制建设区域,需要得到适当的保护。本文利用地理信息系统(GIS)来评估该

城市快速路沿线的环境敏感性,从而识别相关的ESA并为生态系统管理提供数据支撑。考虑到城市建设与生态系统保护之间的矛盾,低影响开发(LID)理念与技术有助于解决这一难题并突出城市扩张过程中环境保护的重要性。

2. 方法

2.1. 研究区域

该城市快速路自西向东延伸,全长约22.82 km。它穿越多个饮用水水源保护区,包括:铜锣径水库、三洲田水库、矿山水库、大山坡水库、上下肚水库、红花岭

* Corresponding author.

E-mail address: guanyt@tsinghua.edu.cn (Y. Guan)

水库和赤坳水库等。此外，它还穿越三洲田自然保护区和马峦山自然保护区，如图1所示。

2.2. 环境敏感性评估框架

本文选取了两类环境要素，即自然保护区和水源保护区。环境敏感性等级根据水源和自然保护区管理条例中规定的缓冲区分别确定，这些缓冲区根据其与管理条例的空间距离进行划分[1,2]。为了量化保护区管理条例并评估研究区域内的敏感性水平，将缓冲区划分为4个等级，分别给出7分、5分、3分和1分。根据参考文献[3]，得分越高，该区域的重要性越大，环境敏感度也越高(表1)。

2.3. 环境敏感性评估过程

本文利用GIS平台进行环境敏感性评估。GIS是一种实用、经济且便捷的地理空间分析工具，它可以通过高效地测量、分析和可视化实际收集的空间数据，来进

行环境敏感性评估。首先，收集空间数据并将其格式进行相应的转化后导入至GIS平台；随后，参照《城市规划GIS技术应用指南》[4]，进行多缓冲区分析，进而评估每个ESA要素的环境敏感性。在评估研究区域的综合环境敏感性之前，根据各个ESA要素在保护城市生态系统和保障公众健康方面的重要性来确定各要素的权重。ESA要素的重要性与其稀缺程度、可修复性成本和现有的管理体系密切相关。在这种情况下，参照文献[5,6]，确定两个要素的总权重为1，水源保护区要素的权重占0.6，自然保护区要素的权重为0.4。然后进行空间叠加分析，即根据多因素评估模型[公式(1)]，通过基于每个ESA要素的权重的叠加分析来进行栅格数据叠加计算，从而得出综合敏感度值：

$$M = \sum_{i=1}^n A_i \times W_i \quad (1)$$

式中， M 表示每个栅格单元的综合环境敏感度值； A_i 表

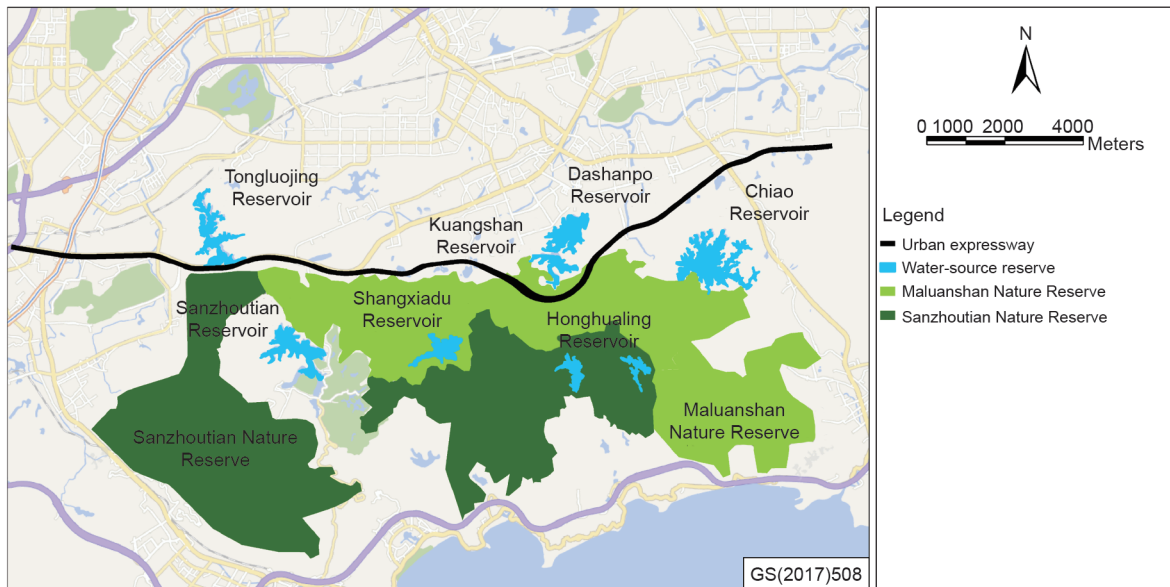


图1. 环境敏感性评估的研究区域。

表1 环境敏感性评估的分级系统

ESA elements	Buffer zone levels	Distance to water-source reserve/nature reserve (m)	Scores
Water-source reserve	Primary protection zone	< 200	7
	Secondary protection zone	200–2000	5
	Quasi-protection zone	2000–3000	3
	Non-protection zone	> 3000	1
Nature reserve	Core zone	< 500	7
	Buffer zone	500–1000	5
	Pilot zone	1000–5000	3
	Non-protection zone	> 5000	1

示每个ESA要素的缓冲区值（即 $A = 1、3、5、7$ ）； W_i 表示每个ESA要素的分配权重（即 $W = 0.6$ 为水源保护区， $W = 0.4$ 为自然保护区）； n 表示ESA要素的数量（即在这种情况下， $n = 2$ ）。

然后将计算出的敏感度值根据自然段点法重新归为4类，分别对应4种环境敏感度等级（表2）。最终得到GIS专题图形式的环境敏感性评估结果。

3. 结果与讨论

3.1. ESA 单要素的环境敏感性评估

从获得的单要素敏感性专题地图（图2和图3）可以看出，快速路的大部分路段位于水源保护区内，部分路段接近甚至就在划定的一级保护区内。值得注意的是，一段长度为1.49 km的快速路路段距离铜锣径水库边界不足100 m，对该饮用水水源造成了潜在的不利影响。除水源保护区外，由于三洲田自然保护区和马峦山自然保护区覆盖面广，因此，快速路总里程的56.1%，约12.80 km穿越自然保护区的核心区。此外还可以看出，

表2 环境敏感性等级分类

ESA level	Sensitivity value	Sensitivity level
High sensitivity	$5 < M < 7$	1
Moderate sensitivity	$3.4 < M \leq 5$	2
Low sensitivity	$2.2 < M \leq 3.4$	3
Non-sensitivity	$1 \leq M \leq 2.2$	4

在高度敏感区和低度敏感区之间还存在一小部分中度敏感区（蓝色区域）。这个狭窄的中度敏感区被视为缓冲区（距离自然保护区500~1000 m），用来保护高度敏感区或核心区免受人类活动的影响。因此，中度敏感区也应当受到保护。

与其他城市道路一样，由于道路表面的污染物累积，包括重金属如锌（Zn）、镉（Cd）和铅（Pb）等[7]，快速路被认为是降雨径流污染的主要来源。这些污染物会被降雨径流冲刷，并最终随着径流排放到周围环境，从而造成水环境恶化和土地污染[8]。因此，除了快速路对水源保护区水资源利用的影响外，还应考虑其对自然保护区的影响。

3.2. 研究区域综合环境敏感性评估

从最终的综合环境敏感性专题地图（图4）可以看出，该快速路穿越铜锣径水库和矿山水库附近高度敏感区的边缘，一半以上的路段（52.3%）位于高度敏感的区域，这些区域应禁止开展与环境保护无关的建设（表3）。因此，在快速路建设和通行期间应着重关注这些路段，尤其是那些靠近水库的路段。除高度敏感区外，快速路一段长度约6.02 km、占其总里程26.4%的路段穿越中度敏感区。相比之下，只有长度约2.68 km、占总里程11.7%的快速路路段穿越低度敏感区，而快速路的其他路段（长度为2.19 km）穿越环境非敏感性区域。鉴于道路径流污染对周围环境造成的潜在不利影响，应采取合理的措施，维持城市扩张与生态系统保护之间的平衡，尤其

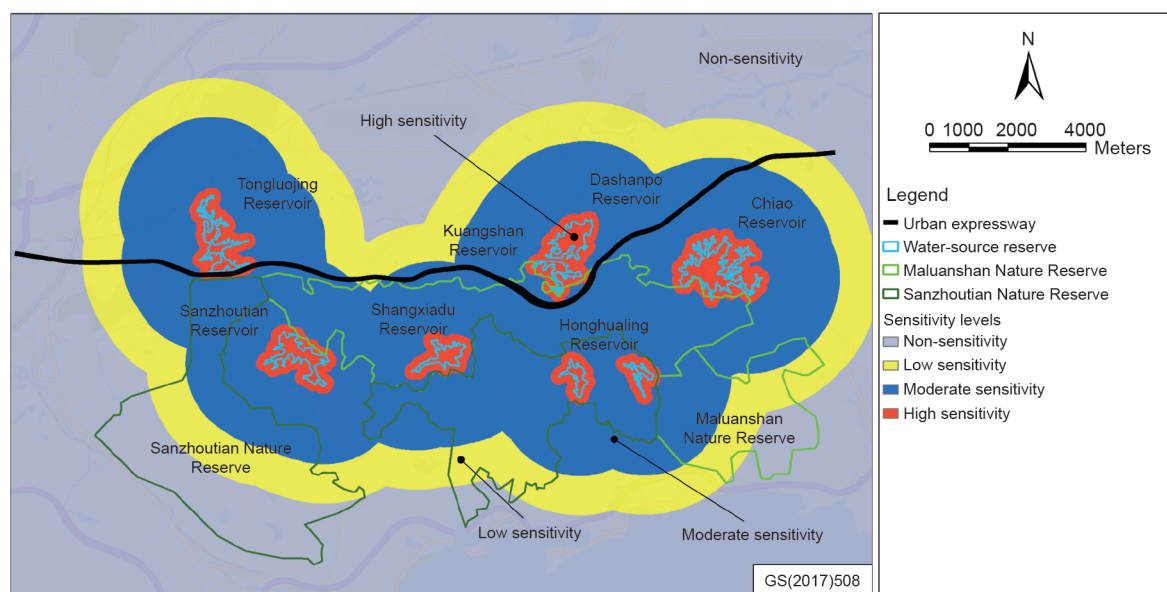


图2. 基于水源保护区要素的环境敏感性评估。

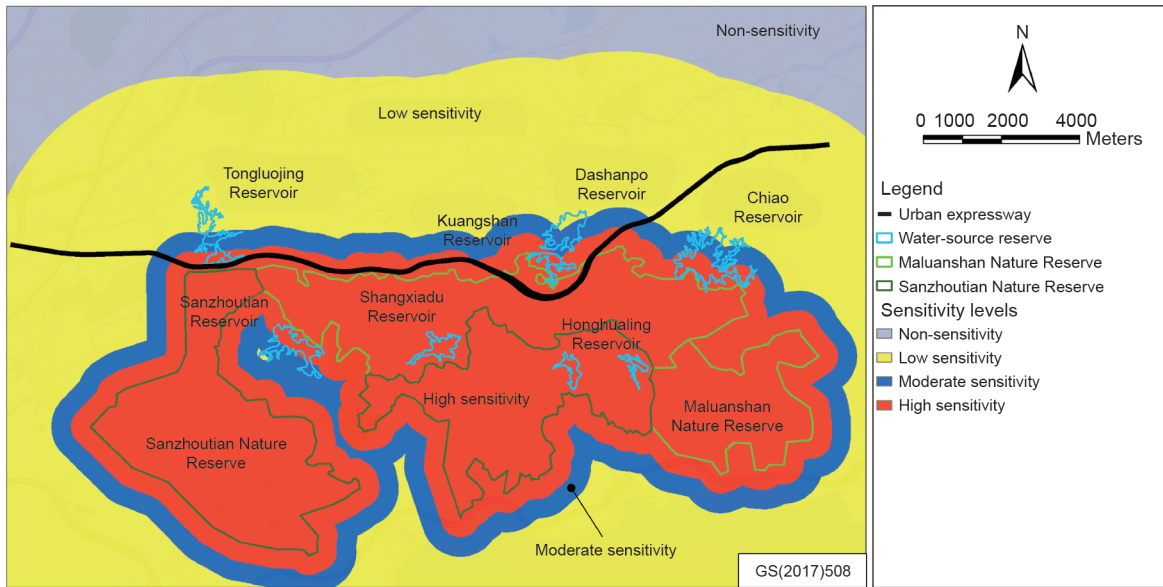


图3. 基于自然保护区要素的环境敏感性评估。

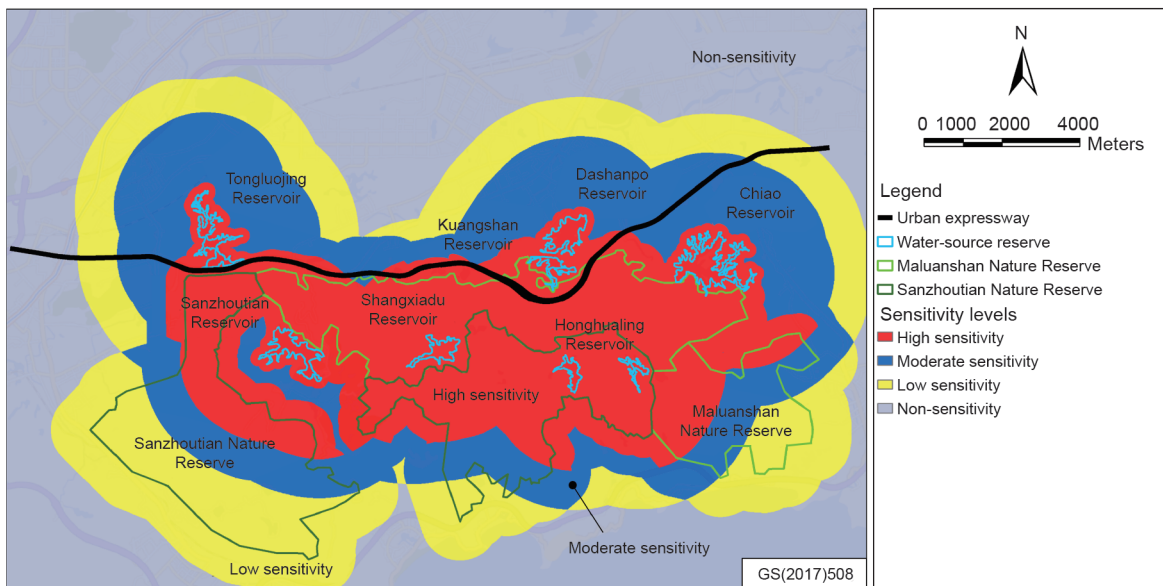


图4. 研究区域综合环境敏感性评估。

需要在90%的快速路路段经过的环境敏感区域制定相应的保护措施。

为此，考虑采用LID技术来降低道路径流对周围ESA的影响。LID技术，如生物滞留池、植草沟和雨水储罐，有利于从源头上控制降雨径流，并通过自然的滞留、渗透和蒸发过程净化径流。此外，由于LID技术通常是小规模 and 分散式的，因此它们可以被应用于建成密集区和ESA，且对环境产生的影响较小[9]。通过采用LID技术和相关设施，可以将快速路受污染的径流截留并加以处理，而不是直接排入ESA。该评估结果为基于

表3 快速路穿越不同敏感度等级区域的比例

ESA level	Expressway length (km)	Percentage of total length (%)
High sensitivity	11.93	52.3
Moderate sensitivity	6.02	26.4
Low sensitivity	2.68	11.7
Non-sensitivity	2.19	9.6
Total	22.82	100

敏感度等级的LID设施布局提供了科学的依据。特别是对于高度敏感区，应使用降雨径流净化和利用设施，配

合道路化学品泄漏应急处理装置及材料,以消除潜在的环境破坏风险。相比之下,对于中度敏感区,在道路径流排入环境或再利用前,应使用LID设施(如生物滞留池)对其进行处理。此外,对于敏感度较低的区域,由于环境敏感性在一个相对可接受的范围内,因此道路径流可以通过植草沟输送,径流污染物可以在排入到周围环境前得到有效过滤。对于环境不敏感区域,道路径流不加以控制,但为了节约水资源并促进可持续发展,也可采用基于LID的雨水收集设施来实现雨水资源的回用。

4. 结论

城市快速路穿越的大部分区域是环境敏感性区域,一半以上的快速路路段穿越高度敏感区。基于GIS的应用,该环境敏感性评估为这一城市扩张过程中如何有效降低潜在的生态环境危害提供了指导。该评价中被划分为“环境敏感”的区域并不意味着其内部不允许任何形式的人类活动,而是通过该评价使人们愈加认识到生态保护的重要性,并在城市建设过程中采取适当的环境保护措施。

为了降低道路降雨径流污染对周围环境的影响,建议使用基于LID理念的初期降雨径流处理和利用设施,作为解决这一问题的一种方法。后续研究将在评价中加入更多的指标,并将包括LID具体的实施策略,以便详细评估环境敏感性并优化保护城市生态环境的措施。本文提出的评估体系和基于该评估体系并包含要全面评估要素如地形和水文条件的综合体系,也可应用于其他领域的研究,如自然灾害评估和土地利用规划。

致谢

本研究由深圳市科技创新委员会(JSGG20160428181710653和JSGG20170412145935322)、深圳市发展和改革委员会(城市水循环与水环境安全保障项目)和深圳市交通运输委员会资助。

Compliance with ethics guidelines

Qian Li, Fengqing Guo, and Yuntao Guan declare that they have no conflict of interest or financial conflicts to disclose.

References

- [1] Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. HJ/T338—2007 Technical guideline for delineating source water protection areas. Chinese standard. Beijing: China Environmental Science Press; 2007. Chinese.
- [2] Regulations of the People's Republic of China on Nature Reserves. Beijing: The State Council of the People's Republic of China; published 1994 Oct 9; revised 2011 Jan 8. Chinese.
- [3] Bathrellos GD, Skilodimou HD, Chousianitis K, Youssef AM, Pradhan B. Suitability estimation for urban development using multi-hazard assessment map. *Sci Total Environ* 2017;575:119–34.
- [4] Niu Q. GIS application guide for urban planning. Beijing: China Architecture & Building Press; 2012. Chinese.
- [5] Wang J, Qian X, Hong JP, Qian Y. Analysis on environmental sensitive areas for land use status in Xinzhou City. *China Environ Sci* 2010;30(12):1702–7. Chinese.
- [6] Leman N, Ramli MF, Khirrodin RPK. GIS-based integrated evaluation of environmentally sensitive areas (ESAs) for land use planning in Langkawi, Malaysia. *Ecol Indic* 2016;61(Pt 2):293–308.
- [7] Liu A, Liu L, Li D, Guan Y. Characterizing heavy metal build-up on urban road surfaces: implication for stormwater reuse. *Sci Total Environ* 2015;515–516:20–9.
- [8] Wei B, Jiang F, Li X, Mu S. Spatial distribution and contamination assessment of heavy metals in urban road dusts from Urumqi, NW China. *Microchem J* 2009;93(2):147–52.
- [9] Coffman LS. Low impact development creating a storm of controversy. *Water Resources Impact* 2001;3(6):7–9.