

基于人类活动氮输入探讨深圳市的城市生态风险(2000—2014年)

苏瑀^{1,2} 张小飞^{3,4} 谢苗苗^{2,†} 王仰麟⁴ 宋治清⁴

1. 北京城市学院城市建设学部, 北京 100083; 2. 中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083; 3. 北京大学深圳研究生院城市规划与设计学院, 城市人居环境科学与技术重点实验室, 深圳 518055; 4. 北京大学城市与环境学院, 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871; † 通信作者, E-mail: xiemiaomiao@cugb.edu.cn

摘要 基于氮元素对人类活动的指示性, 通过估算不同类型人类活动的氮输入量, 整合与构建氮输入量变化趋势下人类活动生态风险评估框架。选择典型快速城市化地区深圳市为研究区, 分析在城市社会经济发展趋于稳定时期, 深圳市工业生产、居民生活和农业生产三类主要人类活动对城市生态环境的影响强度及其变化, 结合土地利用数据, 识别深圳市人类活动生态风险相对高值的区域。结果表明, 2000—2014年间, 工业生产氮输入量及居民生活中交通运输的氮输入量逐渐上升, 居民生活氮输入量呈先升后降趋势, 其占深圳市总氮输入量比重大, 是深圳市主要的人类活动生态风险来源, 所以深圳市人类活动氮输入量呈现先升后降的变化趋势: 在空间分布上, 生态风险相对较高的区域分布在南山区、福田区及罗湖区。为了降低人类活动的影响, 建议目前应在产业升级与绿色出行方面上进行优化。

关键词 人类活动; 生态风险; 氮输入; 深圳市

Urban Ecological Risk Analysis Based on Anthropogenic Nitrogen Inputs in Shenzhen (2000–2014)

SU Yu^{1,2}, CHANG Hsiao-fei^{3,4}, XIE Miaomiao^{2,†}, WANG Yanglin⁴, SONG Zhiqing⁴

1. Urban Construction School, Beijing City University, Beijing 100083; 2. School of Land Science and Technology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083; 3. The Key Laboratory for Environmental and Urban Sciences, School of Urban Planning and Design, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen 518055; 4. Laboratory for Earth Surface Processes, Ministry of Education, College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871; † Corresponding author, E-mail: xiemiaomiao@cugb.edu.cn

Abstract This study proposed a framework involving the amount and change trend of anthropogenic nitrogen inputs to analyze the ecological risk of human activities. Shenzhen, the typical rapid urbanized city of China, has been chosen as the case study. Within the context of urban social and economic development, and using official statistical data, therefore resident living, agricultural and industrial production were evaluated. The land use classification and human activities had been corresponded and merged, and the temporal and spatial differences of anthropogenic nitrogen inputs in Shenzhen were obtained. The results indicate that the anthropogenic nitrogen input in Shenzhen showed a trend of first increase and then decrease. As the process of urbanization in Shenzhen stabilized, the nitrogen input from resident living decreased. From 2000 to 2014, the dominated factors of the ecological risk in Shenzhen has changed, and the influence of transportation has been increasing and needs to be paid attention. In terms of spatial distribution, the regions with relatively high ecological risks are distributed in Nanshan District, Futian District and Luohu District. In order to reduce the influence of human activities, it is suggested that industrial upgrading and green travel should be optimized at present.

Key words human activities; ecological risk; nitrogen input; Shenzhen city

人类活动是全球变化的主要驱动力^[1]。人类活动对区域及全球农业、森林和水域等生态系统的分割与侵占,会产生难以逆转的环境影响^[2-4]。人口集聚与高强度的资源利用对环境的影响已成为生态风险评估与研究的重要内容,涉及重金属污染、大气污染、水土流失、生境破碎、生物多样性降低、热岛效应以及人群健康下降等多方面的城市生态问题^[5-8]。如何量化人类活动影响成为城市可持续发展研究的重要内容,当前已有研究从不同视角来量化人类活动影响,例如通过生态足迹^[9-10]、资源占用^[11]和碳及氮输入^[12-14]等指标的时空动态变化,综合分析一定时段内主要的人类活动变化及其影响范围与强度。近年来,由于全球变化问题研究的日益深入,碳排放及氮输入成为研究人类活动对资源环境影响的重要依据^[12-16]。

目前城市生态风险研究主要关注自然灾害^[17]、环境污染^[18]及生态功能与服务退化^[19]等方面,将人类活动视为城市生态风险源的研究较少。为探讨城市化过程中不同类型人类活动的综合影响,本文选择深圳市为研究区,考虑到氮元素对生态系统的重要性及其对生物生长、人类活动的指示性,分析2000—2014年研究区农业生产、工业生产以及居民生活3个主要人类活动的氮元素输入量的时空变化,识别深圳市以氮输入变化量为标尺的人类活动生态风险高值区域,阐明人类活动对城市资源环境影响的空间差异。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

深圳市位于广东省中南部沿海地区,是我国典型的快速城市化地区,自1979年建立经济特区以来,深圳市第二和第三产业发展迅速,第一产业产值降低,建设用地及人口不断增长。年末常住人口由1979年的31.41万人、2000年701.24万人增至2015年1137.87万人(图1)。常住人口年均增长率由“六五”时期的21.5%至“九五”时期的9.3%,保持着较高的增长速率,2001年后增长幅度相对降低,平均值约为3.3%^[20]。至2005年,所有常住人口均为城镇人口^[21]。2000年以来,深圳市城市发展以经济增长与生态环境保护并行为目标,建设用地变化亦随着城市化进程先快速增加然后趋于稳定,由1996年的555.46 km²^[22]、2009年的893.85 km²^[23],增加至2014年的968.31 km²^[24](图2),建设用地面积的

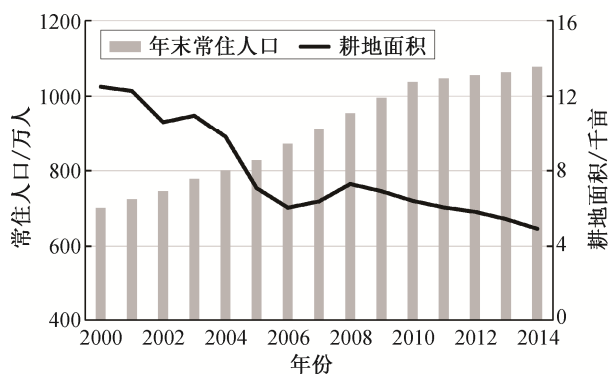


图1 深圳市年末常住人口和耕地面积(2000—2014年)
Fig. 1 Permanent resident population and cultivated land area at the end of the year in Shenzhen (2000—2014)

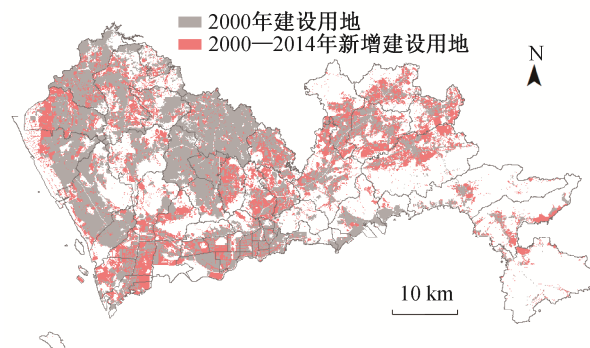


图2 深圳市建设用地空间变化(2000—2014年)^[22-24]
Fig. 2 Distribution of building area in Shenzhen (2000—2014)^[22-24]

增加主要来自农用地的用途改变。由于人口的集聚与产业结构的改变,人类活动已成为区域生态环境变化的主导因子和冲击来源。为估算城市地区人类活动影响程度及其变化,本文选择城市社会经济发展相对稳定的时期(2000—2014年),通过估算氮输入量,量化居民生活、工业生产以及农业生产三类主要人类活动^[25]对环境的冲击程度,识别深圳市人类活动生态风险相对较高的区域。

1.2 研究方法

为量化深圳市人类活动影响,首先依据城市居民生活、工业及农业生产过程中资源及能源消费特征,估算2000—2014年间有机氮排入环境的数量;然后结合土地利用情况,将氮输入估算量分布于空间中,进而分析城市人类活动生态风险的空间变化,如图3所示。

1.2.1 深圳市人类活动氮输入估算方法

农业生产过程的氮输入(nitrogen input from agriculture, N_{ag})主要包含农作物种植和家禽畜牧养殖。农作物种植(稻谷、薯类及花生)氮输入包含施

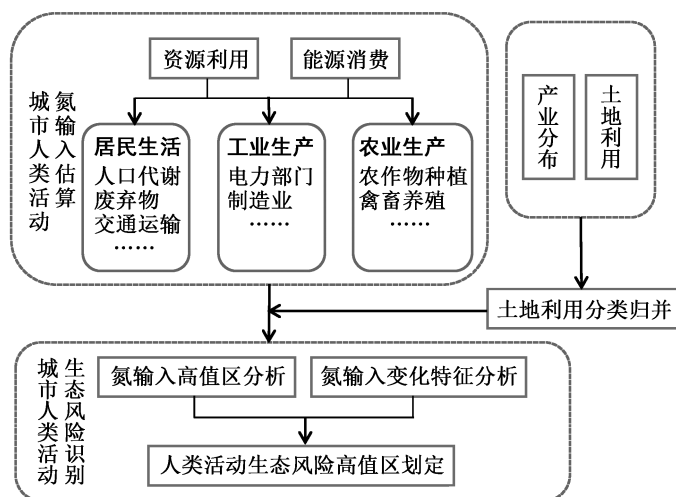


图3 研究框架

Fig. 3 Research flow of ecological risk analysis

肥、浇灌、秸秆还田、农作物吸收以及农作物固氮，计算方法基于文献[13-14]，考虑了粮食作物面积、经济作物面积和农业化肥施用量等。禽畜养殖包含牛、猪、家禽及水产品的喂养和排泄物处理，基于统计年鉴及公报数据，考虑了禽畜与水产品产量(数据来源见表1)，获取各项物质量，然后根据物质组成换算为氮元素的质量^[13-14]。

工业生产过程的氮输入(nitrogen input from industrial production, N_{id})包括工业生产过程中能源消耗、工业固体废弃物以及工业废水排放带来的氮素输入^[13-14]。由于深圳市工业能源消耗主要来自制造业以及电力生产部门原煤、原油、汽油、煤油、柴油和燃料油的消耗，估算时需结合不同类型氮氧化物的排放因子进行量化。工业固体废弃物的处理考虑填埋与堆积两种方式，废水处理过程的氮输入量考虑了废水排放量、废水排放达标率及废水

排放标准。

城市居民生活氮输入(nitrogen input from resident living, N_{rl})主要包含居民粪便排放、食物消耗、生活固体垃圾、生活污水和交通运输中化石燃料燃烧过程，计算方法依据文献[13-14]。伴随着深圳市的快速城市化，居民人口数量直线上升，粪便的排放、生活垃圾的处理和工业废弃物处理与人口数量相关估算过程基本上相同；生活污水排放过程氮输入估算的影响因素包括污水排放量、含氮量和污水完善处理率，污水排放量增加了氮输入量，污水处理率则对氮输入量有降低的作用。

总氮输入 N_{Total} 为农业生产过程氮输入 N_{ag} 、工业生产过程氮输入 N_{id} 与居民生活氮输入 N_{rl} 之和：

$$N_{Total} = N_{ag} + N_{id} + N_{rl} \quad (1)$$

1.2.2 深圳市氮输入的空间差异分析

为分析人类活动氮输入量的空间差异，本研究

表1 研究数据及来源

Table 1 Description of data source

数据内容	来源
人口数、生活用水配水量、污水处理率、禽畜饲养数量(猪、牛及家禽)、水产品养殖量、耕地面积主要作物产量(粮食作物为稻谷、薯类及花生)、工业废水排放量和货物周转量	1995—2015年深圳统计年鉴 ^[20]
垃圾量和污水处理率	2001—2015年深圳市环境状况公报 ^[26] 1995—2015年深圳统计年鉴 ^[20]
污水处理率和工业废水排放量	1993—2014年中国海洋统计年鉴 ^[27]
氮肥料施用量	2011年广东统计年鉴 ^[21] 2012年中国区域经济统计年鉴 ^[28]
国家铁路运输内燃机车每万吨公里耗油量	2001—2015年中国统计年鉴 ^[29]
土地利用	第二次全国土地调查数据、遥感数据以及土地变更调查 ^[14]

根据区位理论和三类产业分类,将当前土地利用分类与居民生活、工业生产和农业生产活动进行归并,结合2000,2003,2006,2010及2014年氮输入量,对不同土地利用类型进行赋值,得出深圳市氮输入的时空差异。对应年份各类用地的单位面积氮输入量 N_{ai} (kg/km²)为

$$N_{ai} = N_i / A_i, \quad (2)$$

其中, a 为用地类型, i 为人类活动类型(农业生产、工业生产和居民生活), A 为用地面积。

1.2.3 城市人类活动生态风险区域的空间识别

本文以氮输入为指标,分析研究时段内,不同人类活动对深圳市生态环境产生负面影响的可能性,进而阐明深圳市人类活动生态风险的空间差异。人类活动生态风险值(ecological risk, ER)的公式如下:

$$ER = STV + NV, \quad (3)$$

其中, STV 表示氮输入时空变化(spatio-temporal variation)中持续高值区域, NV 表示氮输入变化(nitrogen input variation)幅度较大的区域。生态风险的级别判定:年氮输入量 363.713~1308.899 kg 为高值区域; 94.501~363.712 kg 为较高值区域; 32.395~94.500 kg 为中值区域; 9.441~32.394 kg 为较低值区域; 0~9.440 kg 为低值区域。人类活动生态风险较高的区域为氮输入量持续处于高值状态或有明显增长趋势的区域。

由于部分氮输入量处于高值的区域(商服、居住等用地),近年来氮输入有一定程度的下降,而工业及交通用地的氮输入值则显著增加,两者对城市生态环境皆有一定的影响,且其分布状况对预测、预防和控制人类活动生态风险具有重要意义,故在风险估算时,对长期处在高值的区域及氮输入值增加的区域进行等权重加和。

2 研究结果与分析

2.1 氮输入总量的时间变化

基于氮输入估算结果,2000—2014年深圳市居民生活、工业及农业生产氮输入量呈现先降后增,而后逐年减少的波动下降趋势,2000年的氮输入量约为 1.2×10^8 t; 2003—2006年的氮输入量相对较高,最高值出现在2005年(约为 1.4×10^8 t); 之后逐渐下降至2014年约 3.3×10^7 t(图4(a))。在结构上,氮输入主要来自居民生活,占深圳市人类活动氮输入的

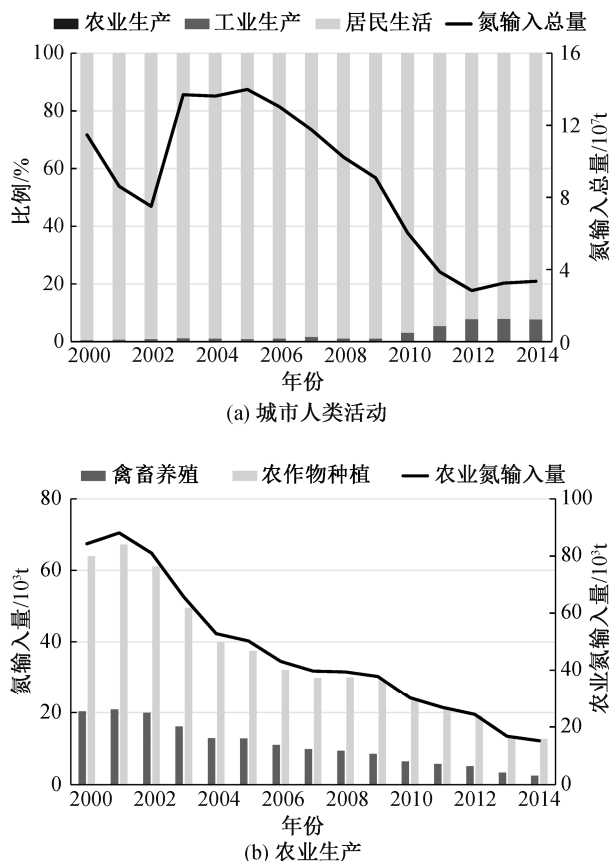


图4 深圳市氮输入量及结构变化(2000—2014年)
Fig. 4 Temporal changes of nitrogen input from human activities in Shenzhen (2000—2014)

90%以上,其中人口代谢产生的氮输入量随人口数量的增加不断升高,交通运输的氮输入亦不断增加,但在城市化趋于稳定后,生活污水的完善处理率提升(由2000年的54.03%增长至2014年的96.50%^[20]),使得生活污水对环境的影响下降,所以居民生活对区域环境的影响呈现先增加后减少的趋势。工业生产过程中产生的氮输入呈波动上升,最低值为2001年的 5×10^5 t,最高值为2014年的 2.6×10^6 t,年平均增长率约为19.00%,这与工业生产过程中的能源消耗量、污水排放量及废弃物量的持续增长息息相关,也表明深圳市的工业发展比重在城市化过程中不断增加。2000—2014年间农业生产氮输入量相对偏低,比例均低于总量的1%,且逐年减少,深圳市播种面积由187401亩降至73775亩^[20],随着农业种植面积的下降,施肥、灌溉和秸秆还田等的氮输入量均呈现下降趋势,禽畜养殖的氮输入亦逐年减少(图4(b)),可以看出,随着城市化日益稳定,农业生产已非深圳市主要的人类活动类型。

2.2 深圳市氮输入的时空差异与分析

由于农业生产的氮输入在深圳市比例偏低,故在分析氮输入的时空差异时,主要分析居民生活和工业生产两方面。

居民生活氮输入的高值区域集中在深圳市南部罗湖、福田以及南山区,空间分布上呈由城市中心向外扩散的状态,外围高值区域零散分布(图5)。2000与2003,2010与2014年居民生活氮输入空间分布状况相似,2003—2006年氮输入量变化相对较大,2003年高值区域面积较大且分布相对集中,主要分布在深圳市西南部地区,由于结合了交通运输的能源消耗,所以盐田港附近区域一直处于氮输入高值区域。2010年市政道路与街巷氮输入量相对较高,高值区域分布于深圳大学、西部港口码头及龙岗区坪山街道办等地。2014年随着生活污水的完善处理率提升,居民生活氮输入量降低,大部分高值区域的面积亦随之减少。

在工业生产活动方面,高值区域土地利用类型包含工业、采矿及仓储用地(图6),2003年氮输入高值区域面积较大,空间上相对集中地分布在宝安区和龙岗区,包括观澜街道在建工厂及厂房、深业集团工业用地、石岩街道办采矿用地和南山街道仓储用地等。2010年氮输入高值区域主要分布在城市西部,东部工业氮输入高值区域包括深圳深国投商用置业有限公司工业用地、比亚迪汽车有限公司工业用地、广东大鹏液气天然气有限公司仓储用地、宝安区工业用地、西丽街道永恒石材市场工业用地以及南海石油深圳开发服务总公司仓储用地。2014年深圳市工业生产区域氮输入量明显升高,各行政区均存在高值区域,宝安区、光明新区和龙岗区最多。

2.3 人类活动氮输入

整合居民生活、工业生产及农业生产,得到人类活动氮输入总量。由图7可以看出,2000年氮输入高值区域主要集中于南部,2003年以后人类活动

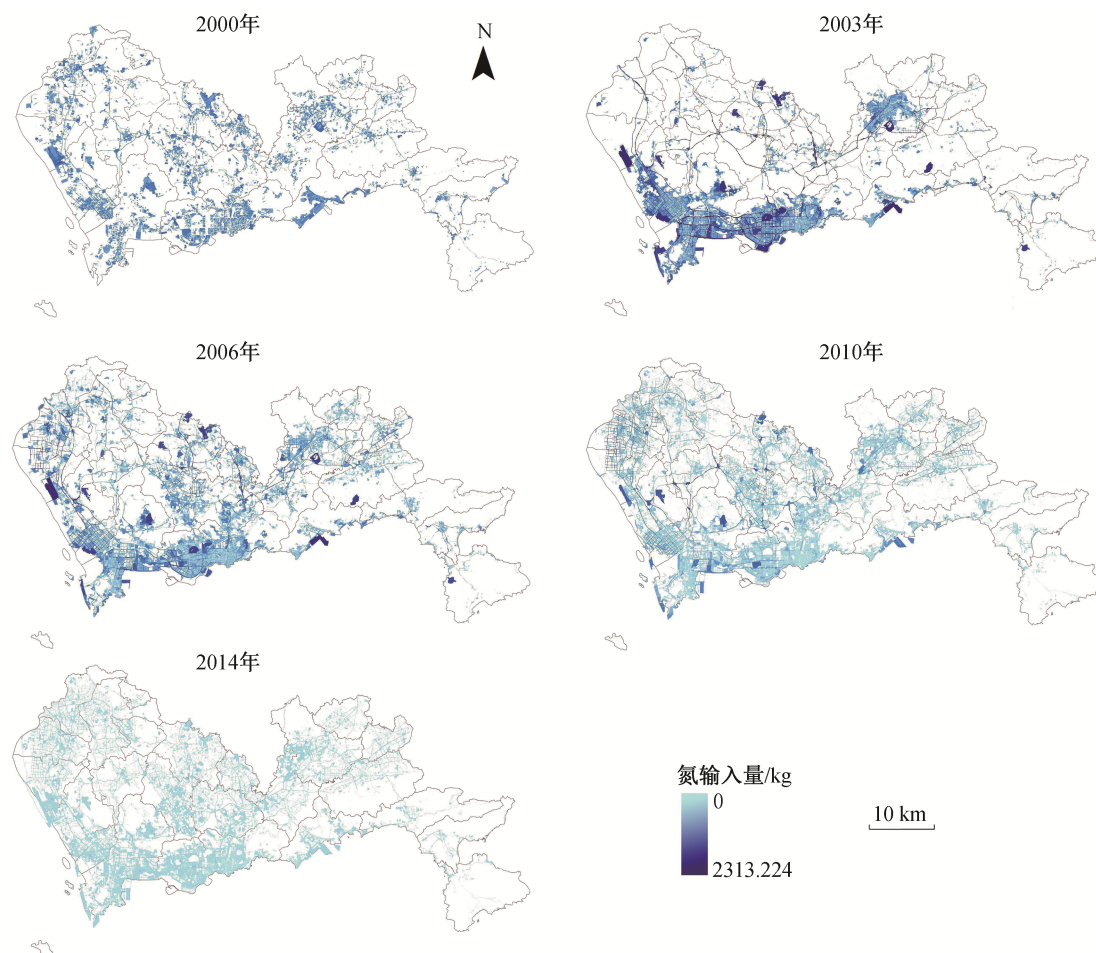


图5 深圳市居民生活氮输入的空间变化(2000—2014年)

Fig. 5 Distribution of nitrogen input from residential living in Shenzhen (2000—2014)

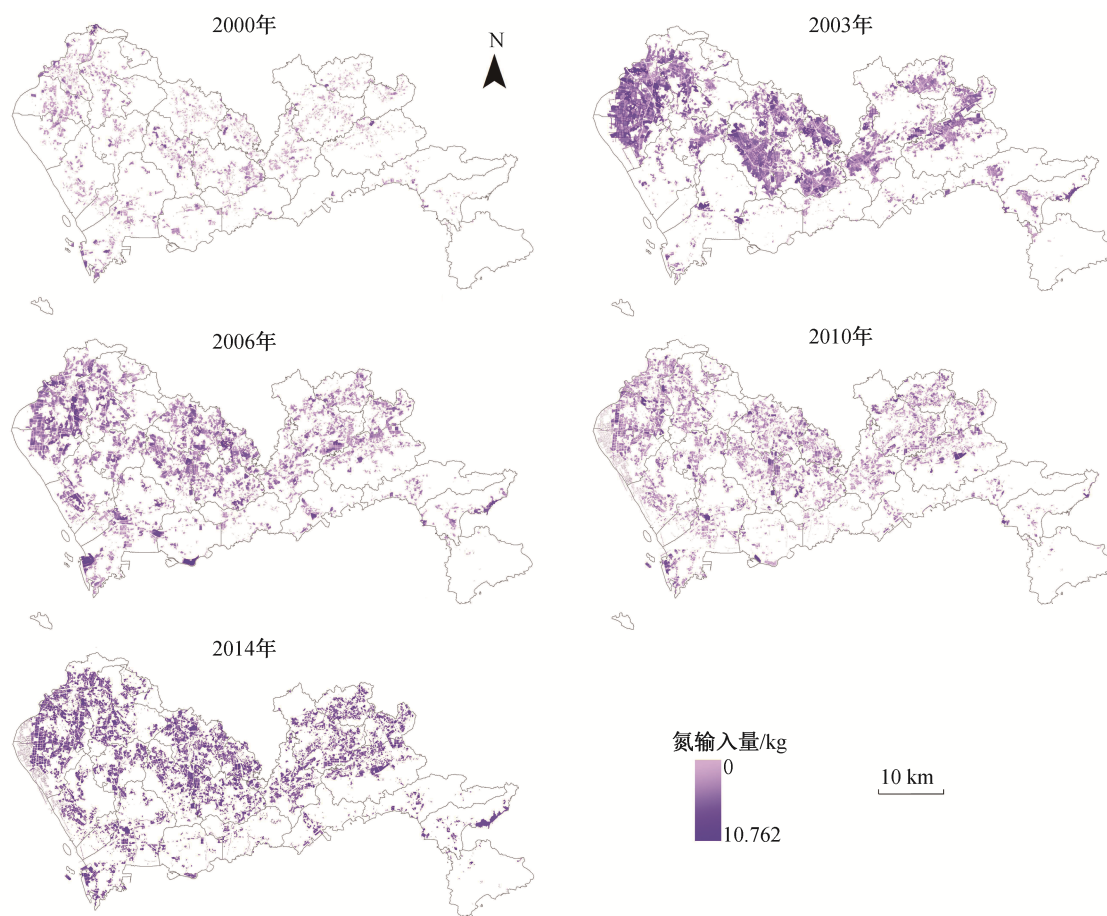


图6 工业生产的氮输入空间变化(2000—2014年)

Fig. 6 Distribution of nitrogen input from industry production in Shenzhen (2000–2014)

氮输入量明显降低,部分高值区域转为低值区域。2003—2014年深圳市高值区域减少且分布趋向分散,2014年氮输入高值区域明显少于2000年。与2000年深圳市居民生活氮输入时空格局(图5)相比,2003年氮输入高值区域明显集中,且南部区域氮输入量有所增加。2003年新增高值区域为盐田港附近,大学城以及动物园地区氮输入明显减少,交通道路持续呈高值区域。2003年工业用地明显增多,促使高值区域增加。2006年氮输入高值区域从南部集中状态向全市范围扩散,这是由于交通方面的氮输入量大幅增加。2010年后全市氮输入量有明显的下降趋势,主要表现为高值区域面积减少且分布逐渐零散,到2014年全市已无明显的氮输入高值区域。

综合图5~7,通过2000—2014年单位面积人类活动氮输入量计算,可知2014年深圳市居民生活相关的用地(居住、商业等)单位面积氮输入量较2000

年下降84.19%,仅人口增长产生的废弃物和废水的氮输入可通过配套环境设施加以缓解。15年间单位交通用地的氮输入增长204.70%,单位工业用地的氮输入增长118.70%,因此未来在绿色交通与低能耗产业的发展上,仍需要持续完善。在农业生产方面,15年间在禽畜养殖和农作物种植的单位面积氮输入皆呈现下降的趋势,与2000年相比,2014年农作物种植的单位面积氮输入下降79.48%,禽畜养殖下降97.41%,反映深圳市当前农产品来源大多仰赖外部地区供给,这方面可改进空间不大。

2.4 深圳市人类活动生态风险的空间识别

氮输入带来的生态风险不仅仅是人口数量、人口密度和土地利用类型变化引起的,还受人类活动过程的影响。2000—2014年深圳市大部分区域氮输入量处于相对低等级的状态。宝安区西北部主要为低转中值区及低转较高值区,中、东和西南部呈现高转低值区和高转较低值区。南山区氮输入相

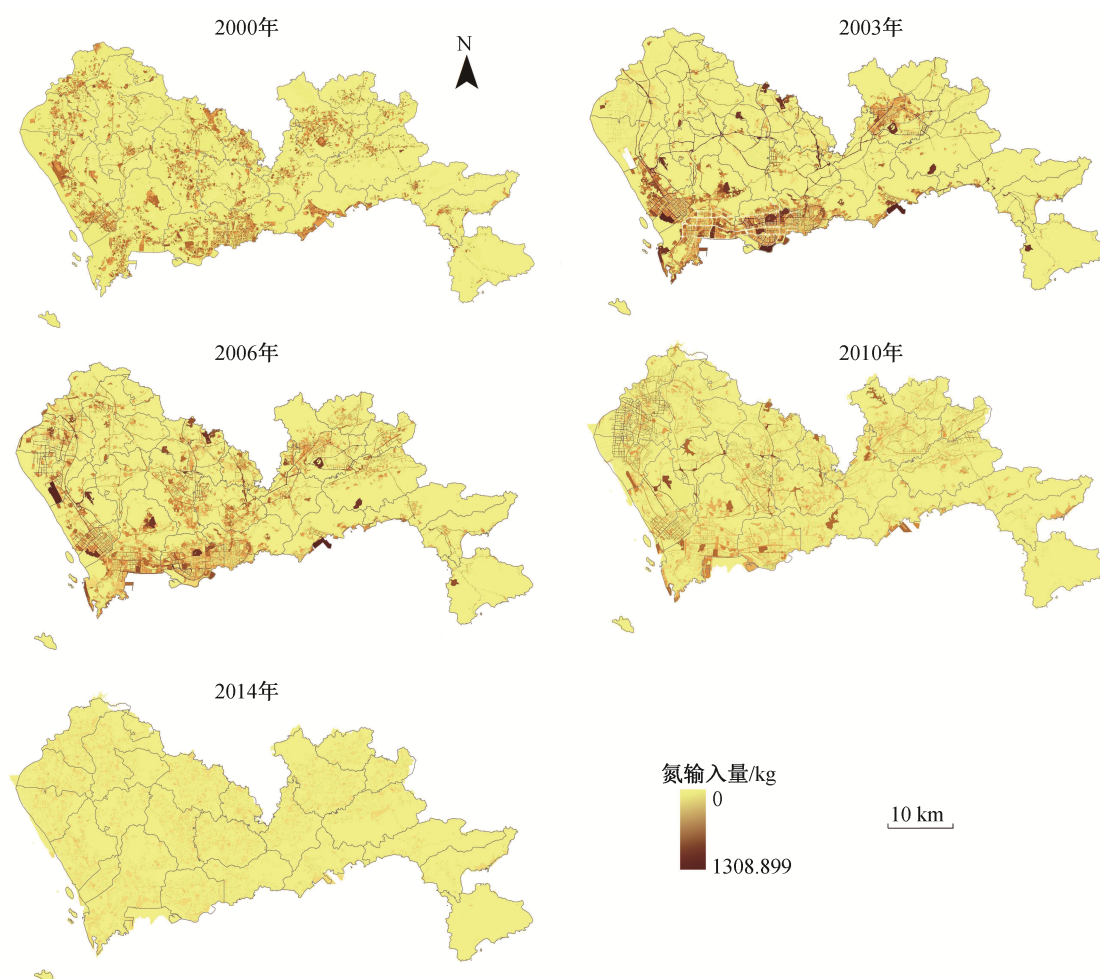


图7 人类活动氮输入的空间分布(2000—2014年)

Fig. 7 Distribution of nitrogen input from human activities in Shenzhen (2000–2014)

对稳定, 福田区分布相对较大的高值转低值区域, 罗湖区则维持氮输入相对较低的状态。生态风险相对较高的区域为南山区的招商街道与河口街道、福田区的福田街道、罗湖区的南园街道、桂园街道、南湖街道等及龙华新区的龙华街道。区域生态环境承载的人类活动压力种类发生的变化以及交通运输产生的压力不断提升, 成为当前需要重视的生态压力来源。通过单位面积氮输入量占全市前5%和15年期间单位面积氮输入增长率大于100%的选取依据, 可得深圳市高风险值区域(图8), 高值区域土地利用类型为居住、商服、工业、仓储及交通用地等。受限于行政单元东西狭长, 高风险地块在空间分布上相对零散, 为降低人类活动生态风险, 建议当前应结合用地类型对交通出行以及产业格局进行优化。

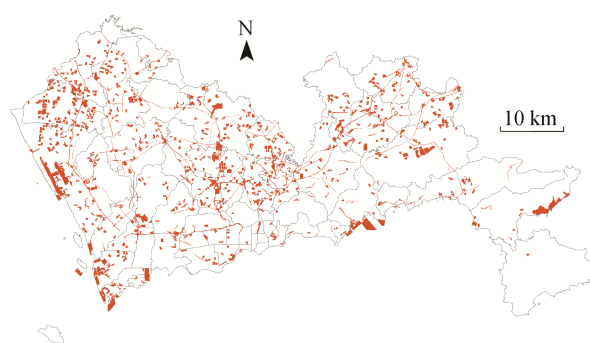


图8 深圳市人类活动高风险值地块分布

Fig. 8 Distribution of regions with high risk value in Shenzhen

3 结论与讨论

人类活动是当前全球变化的主要驱动力, 利用氮输入量评估人类活动对生态环境的影响程度与变

化,不仅能够指示当前城市发展过程中不同人类活动氮输入的变化趋势,量化地反映各类活动给生态环境带来的风险,同时为调整城市人类活动以及降低人类行为对生态环境的冲击,提供一定的参考依据。

基于氮输入分析,本文构建了城市化生态风险评估框架,分析深圳市2000—2014年间城市发展过程中不同人类活动对生态环境的影响。结果表明,居民生活、禽畜养殖及农作物种植的氮输入在2001年后逐渐减少,可知随着城市稳定的发展以及环境保护政策的推行与设施的完善,有效地降低了区域人类活动对环境的影响。例如,2000年后大力开展水环境污染治理;深圳市全面实施珠江流域(深圳)整治方案的各项任务,建成观澜污水处理厂、坪山上洋污水处理厂工程和污水排海二期工程等;进一步完善《深圳市城市污水处理市场化实施方法》草案,有效地降低了污水排放的环境影响。由于能源消耗量的增加以及受深圳市行政单元东西狭长的限制,工业区分布零散且东西向交通联系紧密,2000—2014年工业生产与居民生活中的交通运输氮输入呈现上升的趋势,因此建议结合社会经济发展规划,对当前产业结构与出行方式进行调整。

在分析结果中,为了说明不同年份人类活动的变化,仅将氮输入量及其变化视为该年生态风险的主要指标,忽略了氮输入量在区域环境中的叠加与代谢。其次,本文分析数据主要来自深圳市统计年鉴和广东统计年鉴等,由于不同统计年鉴的统计口径存在差异,氮输入的计算采用估计与分配方式,这对分析结果有一定的影响。第三,本研究主要考虑深圳市人类活动氮输入的影响,未考虑境外的氮输入量,例如随着人口的增加与种植面积的减少,研究区外部输入农产品的比重改变将影响城市人类活动的氮输入量。最后,在生态风险的空间差异分析中,依据土地利用类型,将居民生活、工业及农业生产3类主要人类活动及其氮输入进行赋值,但不同人类活动类型及其空间分布仍有待细分,不同农作物的具体位置亦影响氮输入空间差异的分析。后续工作需结合详细精确的统计数据以及实地调研进一步完善。

参考文献

- [1] Zalasiewicz J, Williams M, Steffen W, et al. The new world of the anthropocene. *Environmental Science & Technology*, 2010, 44(7): 2228–2231
- [2] Li Y F, Zhu X D, Sun X, et al. Landscape effects of environmental impact on bay-area wetlands under rapid urban expansion and development policy: a case study of Lianyungang, China. *Landscape & Urban Planning*, 2010, 94(3/4): 218–227
- [3] 陆大道, 姚士谋. 中国城市化进程的科学思辨. *人文地理*, 2007, 22(4): 1–5
- [4] Alberti M, Correa C, Marzluff J M, et al. Global urban signatures of phenotypic change in animal and plant populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2017, 114(34): 8951–8956
- [5] Maanan M, Saddik M, Maanan M, et al. Environmental and ecological risk assessment of heavy metals in sediments of Nador lagoon, Morocco. *Ecological Indicators*, 2015, 48: 616–626
- [6] Robinson L, Newell J P, Marzluff J M. Twenty-five years of sprawl in the Seattle region: growth management responses and implications for conservation. *Landscape & Urban Planning*, 2005, 71(1): 51–72
- [7] 陈晓红, 万鲁河. 城市化与生态环境耦合的脆弱性与协调性作用机制研究. *地理科学*, 2013, 33(12): 1450–1457
- [8] The Royal Society. Resilience to extreme weather. London: Royal Society Science Policy Centre, 2014: 14–17
- [9] Wang P, Wang X J. Spatiotemporal change of ecological footprint and sustainability analysis for Yangtze Delta Region. *Journal of Geographical Sciences*, 2011, 21(5): 859–868
- [10] 谢文瑄, 黄庆旭, 何春阳. 山东半岛城市扩展模式与生态足迹的关系. *生态学报*, 2017, 37(3): 969–978
- [11] Su M H, Huang C H, Li W Y, et al. Water footprint analysis of bioethanol energy crops in Taiwan. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 88: 132–138
- [12] 程叶青, 王哲野, 张守志, 等. 中国能源消费碳排放强度及其影响因素的空间计量. *地理学报*, 2013, 68(10): 1418–1431
- [13] Cui S, Shi Y, Groffman P M, et al. Centennial-scale analysis of the creation and fate of reactive nitrogen in China (1910–2010). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2013, 110(6): 2052–2057
- [14] 苏瑛. 深圳市氮输入估算及期潜在生态风险识别[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2017
- [15] Lü F M, Lü X T, Liu W, et al. Carbon and nitrogen

- storage in plant and soil as related to nitrogen and water amendment in a temperate steppe of northern China. *Biology & Fertility of Soils*, 2011, 47(2): 187–196
- [16] 洗超凡, 欧阳志云. 城乡居民食物氮足迹估算及其动态分析——以北京市为例. *生态学报*, 2016, 36(8): 2413–2421
- [17] 叶丽梅, 周月华, 向华, 等. 基于GIS淹没模型的城市道路内涝灾害风险区划研究. *长江流域资源与环境*, 2016, 25(6): 1002–1008
- [18] 丁惠君, 钟家有, 吴亦潇, 等. 鄱阳湖流域南昌市城市湖泊水体抗生素污染特征及生态风险分析. *湖泊科学*, 2017, 29(4): 848–858
- [19] 徐菲, 王永刚, 张楠, 等. 北京市白河和潮河流域生态健康评价. *生态学报*, 2017, 37(3): 932–942
- [20] 深圳统计局. 深圳统计年鉴2016[EB/OL]. (2017–01–20)[2017–07–25]. <http://tjj.sz.gov.cn/xxgk/zfxxgkml/tjsj/tjnj/>
- [21] 广东省统计局. 广东统计年鉴2015 [EB/OL]. (2016–09–25) [2017–03–12]. <http://stats.gd.gov.cn/tjsj186/index.html>
- [22] 深圳市规划和国土资源委员会(市海洋局). 深圳市土地利用总体规划(1997—2010) [EB/OL]. (2008–12–19) [2017–03–16]. <http://pnr.sz.gov.cn/>
- [23] 深圳市规划和国土资源委员会(市海洋局). 深圳市2010—2012年度土地变更调查主要数据成果的公报 [EB/OL]. (2014–09–29) [2017–03–16]. http://pnr.sz.gov.cn/xxgk/sjfb/tjsj/201712/t20171213_461011.html
- [24] 深圳市规划和国土资源委员会(市海洋局). 深圳市2014年度土地变更调查主要数据成果的公报 [EB/OL]. (2015–08–07) [2017–03–16]. http://pnr.sz.gov.cn/xxgk/sjfb/tjsj/201508/t20150807_461009.html
- [25] 张小飞, 王仰麟, 李正国, 等. 基于氮排放估算的区域生态风险评价——以中国台湾地区为例. *生态学报*, 2016, 36(4): 893–903
- [26] 深圳市人居环境委员会. 深圳市年度环境状况公报(2005—2015年) [EB/OL]. (2008–12–19) [2017–03–16]. <http://www.sz.gov.cn/szsrjhjw/xxgk/tjsj/ndhjzkqb/>
- [27] 国家海洋局. 中国海洋统计年鉴(1993—2014年) [EB/OL]. (2008–12–19) [2017–03–16]. <http://tongji.cnki.net/kns55/navi/HomePage.aspx?id=N2011050046&name=YZGHT&floor=1>
- [28] 国家统计局. 中国区域经济统计年鉴(2012年) [EB/OL]. (2008–12–19) [2017–03–16]. <http://tongji.cnki.net/kns55/navi/HomePage.aspx?id=N2013010085&name=YZXDR&floor=1>
- [29] 国家统计局. 中国统计年鉴(2001—2015年) [EB/OL]. (2008–12–19) [2017–03–16]. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/nds/>