学术信息与动态

DOI: 10.5846/stxb202009012274
蓝婷,唐立娜,徐智邦,贾玉秋.基于文献计量的城市空间紧凑度研究知识图谱分析.生态学报,2022,42(4):1645-1654.

基于文献计量的城市空间紧凑度研究知识图谱分析

蓝　婷[1,2],唐立娜[1,*],徐智邦[3],贾玉秋[4]

1 中国科学院城市环境研究所城市环境与健康重点实验室, 厦门　361021
2 中国科学院大学, 北京　100049
3 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉　430079
4 吉林师范大学旅游与地理科学学院, 四平　136000

摘要:城市是地球上扩张速度最快的栖息地,城市的无序扩张被称为城市蔓延,城市蔓延带来了一系列社会和环境问题。为了应对城市蔓延所带来的问题,紧凑城市的相关理论逐渐得到重视。城市空间紧凑度量研究是紧凑城市的主要内容之一,以 Web of Science 数据库为数据源,运用文献计量法绘制城市空间紧凑性度量研究知识图谱,梳理城市空间紧凑性度量研究脉络,以期指导未来的紧凑城市研究。主要有以下发现:(1)城市紧凑性度量指标的研究基本遵循由粗略到详细,由外部到内部,由形态到功能,由静态到动态,由二维到三维的认知过程;(2)城市功能紧凑度研究相比形态紧凑度研究较为不足,中国的可持续发展应更加关注城市的功能效率;(3)新兴众源地理信息数据可以作为遥感数据的重要补充以丰富未来城市紧凑度度量的研究。未来城市紧凑度度量指标应统筹微观和总体,并兼顾公平和效率。

关键词:紧凑城市;城市空间紧凑度;文献计量分析;Web of Science

随着人类生产力的发展,人口逐步从乡村向城市转移,这个过程被称为城市化。城市化过程使得城市在空间上不断扩张,其中部分城市扩张不考虑后果,其增量扩张是无计划的,Batty[1]等将这类扩张定义为蔓延(sprawl)。城市蔓延无疑给城市发展带来了极大挑战,不仅破坏生态环境[2—3],蚕食动植物的生存空间[4—5],造成汽油等能源的耗费[6—7],增加公共基础设施的花费,还可能导致城市中心的衰败[8],甚至影响居民健康[9—10]。城市蔓延所带来的这些问题引发了人们对于城市形态的思考,如何在一定的社会经济和技术条件下,尽可能的节约城市用地,并同时满足城市可持续的发展? 1973 年,“紧凑城市”的概念应运而生[11],并随后受到西方学者的广泛响应。由于与可持续发展的理念有诸多相似[12—13],“紧凑城市”至今仍旧是现代城市研究的热点之一。

自 20 世纪 70 年代“紧凑城市”概念第一次被提出至今,在不同国家和地区都进行过相关的研究和规划实践。这些研究可简单归纳为:紧凑城市的理论内涵研究[14],城市紧凑性的度量方法研究[15],紧凑城市的规划实践应用[16]。这三者中,理论内涵研究是前提和基础,度量方法研究是工具和依托,规划实践应用是最终落脚。其中,城市紧凑性的度量方法起到承前启后的作用,又是“紧凑城市”从抽象概念到定量模型的关键环节,城市形态的紧凑测度模型甚至早于“紧凑城市”概念,于 20 世纪 60 年代就出现[17]。尽管如此,半个世纪过去,关于城市紧凑性的合理判别门槛仍未达共识[18]。另一方面,自 20 世纪 70 年代美国发射第一个陆地(Landsat)系列卫星以来,包括遥感技术在内的多源数据获取能力有了极大的发展,信息通信和计算能力也今

基金项目:国家自然科学基金面上项目(41471137)
收稿日期:2020-09-01;　　**网络出版日期**:2021-11-04
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: lntang@ iue.ac.cn

非昔比。面对城市紧凑性度量研究亟待突破的现状及日新月异的数据和计算环境,极有必要对城市紧凑性测度研究的演进历史、现状热点进行系统的回顾和梳理,并对今后可能突破的方向进行展望和推测。本文主要关注以下科学问题:城市紧凑性度量研究呈现怎样的演进趋势,目前具有哪些不足,又有哪些可能的改进和完善思路。

针对上述科学问题,本文采用文献计量分析法对城市紧凑性度量方法进行定量与定性相结合的可视化综述。文献计量分析法具有分析全面客观的特点,已被用于大量研究中,如生态风险[19]、生态创新[20]等。本文使用 CiteSpace 和 VOSviewer 对 20 世纪 70 年代以来有关城市紧凑性度量的研究进行系统回顾和梳理,以回答上述科学问题。

1 数据和方法

以 Web of Science 数据库的 Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)和 Social Sciences Citation Index (SSCI)为数据源,以主题包含关键词"compactness and urban/urbanization"或者"compactness and city"为检索条件,检索 1970—2020 年的相关文献,共得到 425 篇文献,数据检索日期为 2020 年 7 月 15 日。

CiteSpace 和 VOSviewer 是常用的科学知识图谱分析软件。CiteSpace 能够挖掘研究领域文献的来源地区、研究学者、研究热点及其演变情况[21]。VOSviewer 从整体上探索相关研究领域的研究主题,发掘研究前沿,可视化结果简洁美观,清晰详细[22]。本文运用 CiteSpace 分析城市空间紧凑度研究的主要力量等基础信息,然后运用 VOSviewer 探索该领域的基础知识、研究热点及前沿知识。

2 研究结果

2.1 发文数量和主要研究力量

根据文章发布的数量和引用次数,城市紧凑度研究大致可分为 3 个阶段:研究萌芽阶段、逐步发展阶段、快速发展阶段(图 1)。城市紧凑度研究萌芽阶段(1961—2002 年):城市紧凑度研究始于 1961 年,该阶段关于城市紧凑度的概念被提出,测度以单指标法为主,但每年的发文量不超过 5 篇,且 1977—1993 年期间几乎没有相关文章;2002—2012 年属于逐步发展阶段,2002 年 Burton[15]提出建立城市紧凑度衡量综合指标体系,此后城市紧凑度的实证研究逐步增加,该阶段多指标测度法得到发展;2013—2020 年为快速发展阶段,该阶段发文量和引文量增速明显,出现众多有关紧凑城市环境效应的实证研究。研究城市紧凑度的国家主要有中国、美国、欧洲部分国家(图 1,表 1)。其中美国发文量为 106 篇,排名第二,中心度最高为 0.41,排名第一,美国较早开始城市紧凑度的研究,奠定了该领域的研究基础,具有深远影响;中国发文量为 128 篇,中心度为 0.34,虽然中国关于城市紧凑度的研究起步较晚,但中国在该领域发表的文章具有重要影响力。

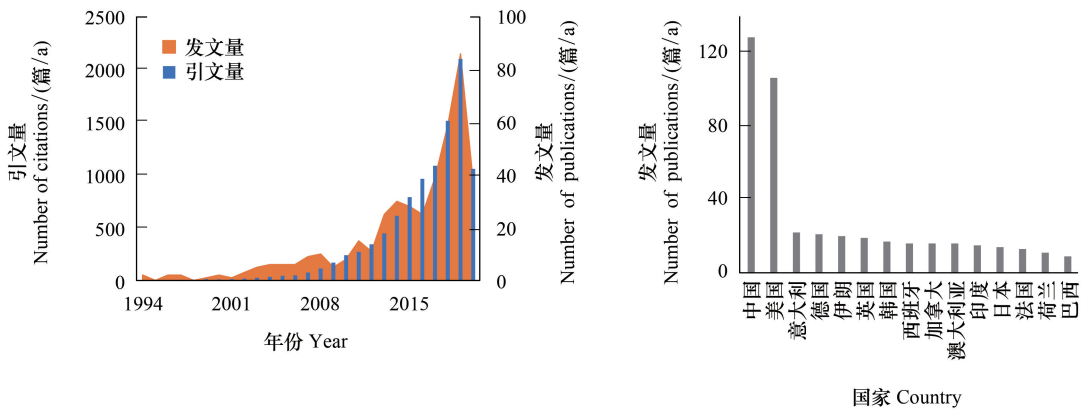

图 1 城市紧凑度的主要研究国家及发文量

Fig.1 The main research countries and published papers of urban compactness

表 1　发文量前十的国家

Table 1　Top10 countries on the number of published papers

国家 Country	发文量/篇 Publications	中心度 Centrality	国家 Country	发文量/篇 Publications	中心度 Centrality
中国 China	128	0.34	韩国 South Korea	17	0.09
美国 USA	106	0.41	西班牙 Spain	16	0.23
意大利 Italy	22	0.23	加拿大 Canada	16	0.12
德国 Germany	21	0.11	澳大利亚 Australia	16	0.03
伊朗 Iran	20	0.05	发文量平均值 Mean number of publications	8.97	
英国 England	19	0.09	发文量方差 Variance of publications	20.54	

2.2　知识基础识别

文献共被引分析可以探究相关领域基础知识。本研究检索文章 425 篇,引文共 16718 篇,将最少共被引次数设为 10,满足条件的共有 67 篇文献。图 2 中共有 67 个节点,每个节点代表一篇文献,节点越大,被引次数越高,节点之间的距离代表文献的相似度,文献越相似,节点越接近。不同颜色代表不同集群,共 4 个集群,集群 1 和集群 2 为理论基础类,集群 3 紧凑度测度方法类,集群 4 环境效应类(图 2,表 2)。

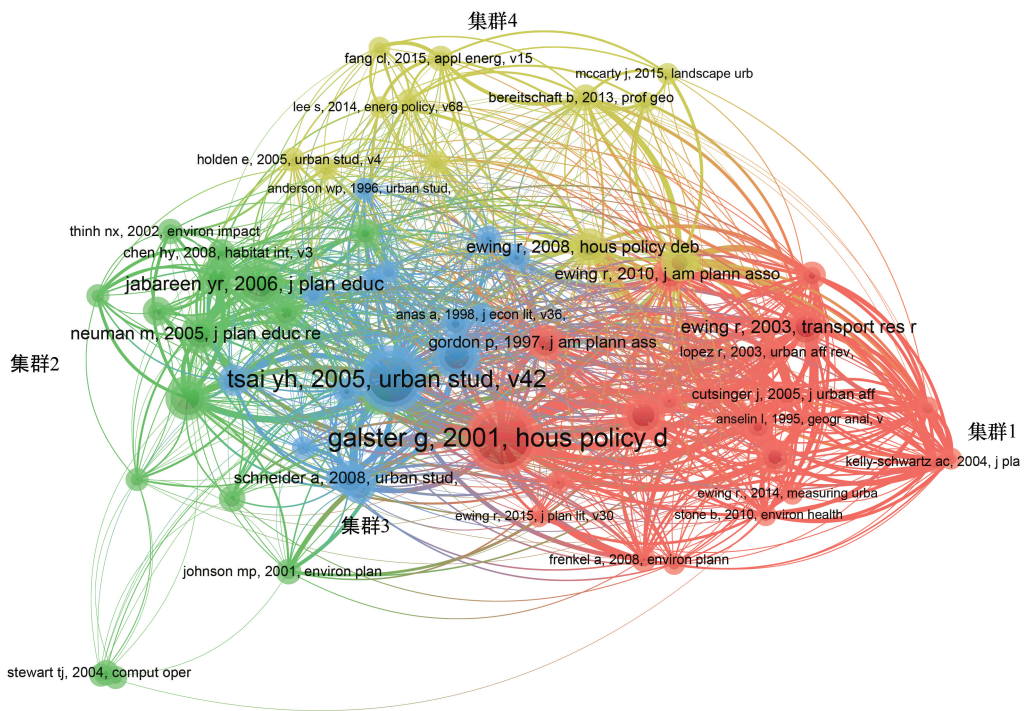

图 2　文献共被引网络可视化

Fig.2　Document co-citation network visualization map

2.2.1　紧凑城市理论基础研究

集群 1 为紧凑城市理论研究:城市紧凑性度量研究是紧凑城市研究的工具和依托,其量理论植根于紧凑城市的理论中。集群 1 主要从紧凑城市的概念、特征角度回答了什么样的城市是紧凑城市,并着重界定了紧凑与蔓延的区别。紧凑城市概念最早由 Dantzig 和 Saaty 于 1973 年提出[11]。1990 年欧共体委员会批判了城市蔓延,并强调紧凑发展的重要性,紧凑城市这一理念才开始受到大量关注。Elkin[46]认为紧凑城市的空间尺度应适合人们步行、骑行并拥有高效的公共交通。Gordon[26]认为紧凑城市是高密度的单中心城市。Anderson[47]认为单中心和多中心的城市形态均可称为紧凑城市。Breheny[14]、Ewing[24]、Burton[33]认为紧凑城

市应该是高密度的、用地功能混合的。Galster[23]认为单位面积上城市空间所占面积比例越高,城市越紧凑。目前对于紧凑城市的概念及特征并未统一,但学者们普遍认为紧凑城市是在充分节约用地并为居民提供可持续福利的城市,具有适度高密度(包括人口、建筑),用地功能混合,交通高效等特征。

表 2 文献共被引信息

Table 2 The information of co-cited literature

集群 Cluster	主题 Theme	聚类大小 Size	重要文献 Important literature
集群 1:理论研究 Theory method	概念特征	22	Galster G[23]; Ewing R[24]; Ewing R[25] Gordon P[26]; Ewing R[27]; Ewing R[28]; Cutsinger J[29]; Schweitzer L[30]
集群 2:理论研究 Theory method	作用可行性	17	Jabareen Y R[31]; Burton E[15]; Neuman M[32] Burton E[33]; Jacobs J[34]; Jenks M[35]; Cervero R[36]; Chen H Y[37]
集群 3:测算方法 Measurement method	形态紧凑功能紧凑 人口紧凑	16	Tsai Y H[38]; Huang J N[39]; Schneider A[40] Kasanko M[41]; Schwarz N[42]; Angel S[43]
集群 4:环境效应 Environment effect	资源能源消耗环境 污染和生态影响	12	Ewing R [44]; Stone Jr B [3]; Newman P W G [45]

重要文献为共被引次数大于等于 15 次的文献

集群 2 也是紧凑城市理论研究,但侧重点和集群 1 有所不同。该集群主要在可持续发展框架下,讨论紧凑发展是否是实现城市可持续发展的有效途径。Jabareen[31]认为可持续发展的城市形态是高密度、多样化、紧凑、交通可持续、绿色发展的城市形态,可持续发展的最终目的是减少能源耗费、环境污染、机动车的使用,保护开放空间和生态系统。Jenks 等[35]对紧凑的城市形态是否是可持续的城市形态这一问题从理论、社会经济问题、环境与资源、评价与检测、紧凑城市的实施等五个部分进行了探讨,认为尽管紧凑城市仍存在争论,但紧凑发展有利于实现城市可持续发展。Chen 等[37]研究了快速城市化背景下,紧凑发展对中国城市可持续发展的适用性,研究表明在某些特定条件下,紧凑发展确实有益于城市环境,从而有利于城市可持续发展。总的来说,目前学者们普遍认同紧凑发展是实现城市可持续发展的有效途径之一。

2.2.2 紧凑性测度方法研究

集群 3 为城市紧凑度的定量评价方法类,包含不同尺度下,运用不同模型、不同数据源,从不同角度进行紧凑度测算的研究。从模型方法看,对城市空间紧凑度的测度包括城市空间形态紧凑度的测度和城市空间功能紧凑度的测度。早期对于城市空间形态特征测度一般从城市空间形态的几何特征入手(表 3),大致可概括为三类:①测度城市外部轮廓特征[48—50];②测度城市斑块与特定位置的关系[51];③测度城市内部地块之间的关联程度[52]。

2000 年左右,多指标的紧凑度测度方法被提出。多指标的测度是指对城市不同维度(形态、功能、人口、经济等)基于系统理论和统计原理进行统计分析。表 4 为一些代表性运用多指标评估城市紧凑度的研究。形态维度指标包括城市大小、密度、城市外部轮廓特征、城市斑块与特定位置关系、城市内部地块关联程度、城市景观格局指数、建设用地连续性、建设用地集中度等形态指标;功能维度包括土地利用混合度、交通可达性、人为活动强度、工作-人口平衡度等非形态指标;人口维度包括人口密度、人口总量等非形态指标;经济维度包括人均 GDP 等非形态指标。

Burton[15]最先提出建立城市紧凑度衡量综合指标体系,从高密度型城市、功能混合型城市和增强型城市 3 个角度评价城市紧凑度。Ewing 等[54]从密度、土地利用混合利用、中心性和道路可达性角度提出了界定城市蔓延的指数。Tsai[38]基于都市区层面从城市规模、密度、均衡分布度、集聚程度提出紧凑度指标体系。Kasanko 等[41]从城市建成区面积、居住用地、城市扩张用地、人口密度和城市密度 5 个方面构建指标体系。Angel 等[43]用 10 个使圆成为最紧凑形态的指标用于测度城市形态紧凑度。Mubareka 等[55]将核心单元覆盖率、核心区面积比率、连接区占建成区比例、分支区占建成区比例 4 个独立的形态指标整合成一个综合指数评价城市紧凑度。虽然使用的具体紧凑度指标存在差异,但本质上都是对于城市形态、功能、人口或者经济等维度紧凑度的测度。

表 3　单指标形态紧凑度测度模型

Table 3　Single-index model of urban physical compactness

模型 Model	公式 Formula
Gibbs[48]	$CI = 1.273A/L$ CI 为城市空间形态紧凑度,A 为城市建成区面积,L 为最长轴长度
Cole[49]	$CI = A/A'$ A 为城市建成区面积,A'为该城市建成区最小外接圆面积
Richardson[50]	$CI = 2\sqrt{\pi A}/P$ A 为城市面积,P 为城市轮廓周长
Bertaud 和 Malpezzi[51]	$CI = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i \times \omega_i}{D}$ di 为第 i 块用地到城市中央商务区的距离。ω_i 为第 i 块用地人口占城市总人口的比例;n 为城市用地斑块数量;D 为同等建成区面积、同等人口数量且各用地斑块人口相等的“等价圆柱体”的半径
Thinh 等[52]	$CI = \frac{2\sum_{i=1}^{N-1}\sum_{j=i+1}^{N}\frac{1}{c}\frac{A^2}{d_{ij}^2}}{N(N-1)}$ A 为任意两个网格 i 和 j 的内的城市建设用地面积($i \neq j$);$d(i,j)$ 为网格 i 和网格 j 的几何距离;c 为常数;N 为格网总数
Huang 等[39]	$CI = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i/p_i}{n^2}$ p_i为第 i 块斑块的周长;P_i为与第 i 块斑块面积相等的圆形的周长;n 为斑块数量
Zhao 等[53]	$\mathrm{NCI} = \frac{T}{T_{\max}} = \frac{M(M-1)}{N(N-1)} \times \frac{\sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=1}^{n}\frac{A^2}{d^2(i,j)}}{\sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=1}^{n}\frac{S^2}{d'^2(i',j')}}$ NCI 为归一化城市空间形态紧凑度指数,S 为等价圆中网格 i' 和 j' 内的建设用地面积, $d'(i',j')$ 为网格 i' 和 j' 的几何距离,M 为等价圆的网格总数
Moran[38]	用地自相关性

表 4　城市空间紧凑度多指标测度模型

Table 4　Multi-index model of urban compactness

研究者 Author	维度 Dimension			
	形态 Morphology	功能 Function	人口 Population	经济 Ecology
Burton[15]	√	√	√	
Ewing 等[54]	√	√	√	
Tsai[38]	√		√	
Kasanko 等[41]	√		√	
Schwarz[42]	√		√	√
Angel 等[43]	√	√		
Mubareka 等[55]	√			
Jia 等[56]	√			

多指标测度方法使用指标众多,指标之间往往存在相关关系,过多指标收集费时费力。Schwarz[42]用相关性分析和因子分析确定了描述城市形态的最小指标集:城市不连续区域面积、边缘密度、平均斑块面积、斑块数量、最大斑块指数、人口数量、人口密度。Jia 等[56]分析了标准紧凑度指数 NCI、标准离散度指数 NDIS、15 个景观格局指数的相关性,筛选出 NCI、NDIS 和 5 个景观格局指数评价城市的空间形态。上述研究减少了多指标测度过程中指标选取的盲目性和节省了采集数据的时间和精力。

数据源上由的统计数据、问卷调查数据等扩展为高分辨率遥感数据[57—58]、中分辨率遥感数据[39,56,59—64]、低分辨率的遥感数据[65—68]、雷达数据[57]。近年来,部分学者从空间垂直维度测度城市紧凑度[69]。此外,随

着移动智能终端的广泛应用,POI 等众源地理数据也被用于城市紧凑度评估[18]。

2.2.3 紧凑城市环境效应研究

集群 4 是紧凑城市的应用类研究:该集群主要探讨紧凑城市的环境效应,即不同紧凑度下对应的环境效应指标的变化。紧凑城市所产生的环境效应主要体现在资源能源消耗、环境污染和生态影响两方面。

(1)资源能源消耗

1989 年,Newman 和 Kenworthy[45]对全球 32 个样本城市人均汽油消耗量和人口密度对比发现美国的人均汽油消耗量是澳大利亚城市的两倍、欧洲城市的四倍、亚洲城市的 10 倍。作者认为人口密度越高,城市越紧凑,人均汽油的耗费量越少。2006 年,Newman 等[70]研究发现全球大城市密度越低能源耗费量越高,而密度越高越能依靠完善的交通系统产生更加经济的能耗。他们认为当居住和就业者密度达到 35 人/hm^2时,可有效改善交通以减少居民的通勤时间,但此标准对于大多数亚洲国家明显偏低[71]。Pucher 等[72]研究了欧洲和北美的城市交通危机,提出城市密度越高,机动车平均出行需求越低,机动车平均出行距离也越短,越是节约能源。Jia 等[56]研究了中国 146 个城市的城市空间形态紧凑性的环境效应,发现城市空间越紧凑、形状复杂度越低,资源环境越是节约。

(2)环境污染和生态影响

Borrego 等对三种理想城市形态下大气污染模拟研究,证明城市空间结构对城市可持续发展的重要性,功能混合发展的紧凑城市较之低密度的分散化城市和沿交通线的网络城市具有更好的空气质量[73]。Glaeser 等[74]对碳排放量和美国各地新建筑地区之间的关系定量研究,发现土地开发强度越大,土地混合利用程度越高,居民由于交通出行所产生的人均碳排放量越少。Williams 等和联合国人类住区规划署[75—76]也发现城市人口密度和温室气体的排放呈负相关关系。Stone 等[77]研究了美国 53 个大城市 1956—2005 年间城市形态与极端高温天气之间的关系,研究结果表明具有蔓延特征的城市极端高温天气出现的频率是紧凑城市的两倍。Geurs 等[78]认为如果荷兰没有采用紧凑发展的策略,荷兰的城市蔓延现象将更严重,汽车使用量将更多,住宅区附近的噪音将更大,野生动物栖息地的破碎度也会更高。Tannier 等[5]研究法国不同城市形态与生境连通性之间的关系,发现在不考虑动物短途迁移的情况下,紧凑发展对于生境连通度的影响更小。

虽然已有较多研究对证明了紧凑城市有利于减少资源能源消耗,具有较好的环境绩效,但仍有部分研究对紧凑城市提出了质疑,Gordon 认为密集的城市会导致交通压力过重,出行时间过长,进而影响空气质量[26]。Neuman[32]认为能源危机存在其他深层次原因,减少机动车出行不一定能节约能源。Wang 等[67]在研究中发现紧凑的城市形态会导致 CO_2排放量的增加。因此紧凑城市的环境效应目前还存在一定争议。

2.3 研究热点及趋势

借助关键词的词频信息分析,进一步识别了紧凑城市研究领域内的知识关联。VOSviewer 叠加可视化将时间因素加入到关键词共现网络中,能进一步帮助我们了解紧凑城市的研究热点及演化过程。本研究对关键词进行清洗后,选择最小共现次数大于 8 的关键词,最终共得到 63 个有效关键词。关键词叠加可视化图中,圆的大小可以反映研究热点,圆越大,研究越热门;圆的颜色可以反映研究趋势,越接近黄色研究主题越新(图 3)。

研究热点可以概括为 3 类:紧凑度模型构建类,城市形态评估类,城市环境效应类。紧凑度模型的构建是定量评价城市形态及其环境效应的前提,也是主要研究热点之一,在 2.2.2 小节中已经有详细描述,在此不再赘述;城市形态评估类中,城市化过程中城市形态演变趋向蔓延还是紧凑是研究的焦点[79—81],部分学者在此基础上进一步探究了城市空间结构紧凑性的影响因素[18]及城市形态演变的驱动力[82],GIS 和 RS 作为重要空间分析手段及数据源也被广泛使用[52,59]。此外,中国作为最大的发展中国家,城市类型丰富,为城市可持续形态的探索提供了丰富的案例[18,37,59];城市形态的环境效应也是研究热点之一,包括探索城市形态与能源耗费[83]、气候变化[67]、空气污染[73]等的关系,请参考 2.2.3 小节。

近 3 年的研究热点可以概括为两大类。一类是在城市可持续发展背景下探索城市形态紧凑或蔓延发展

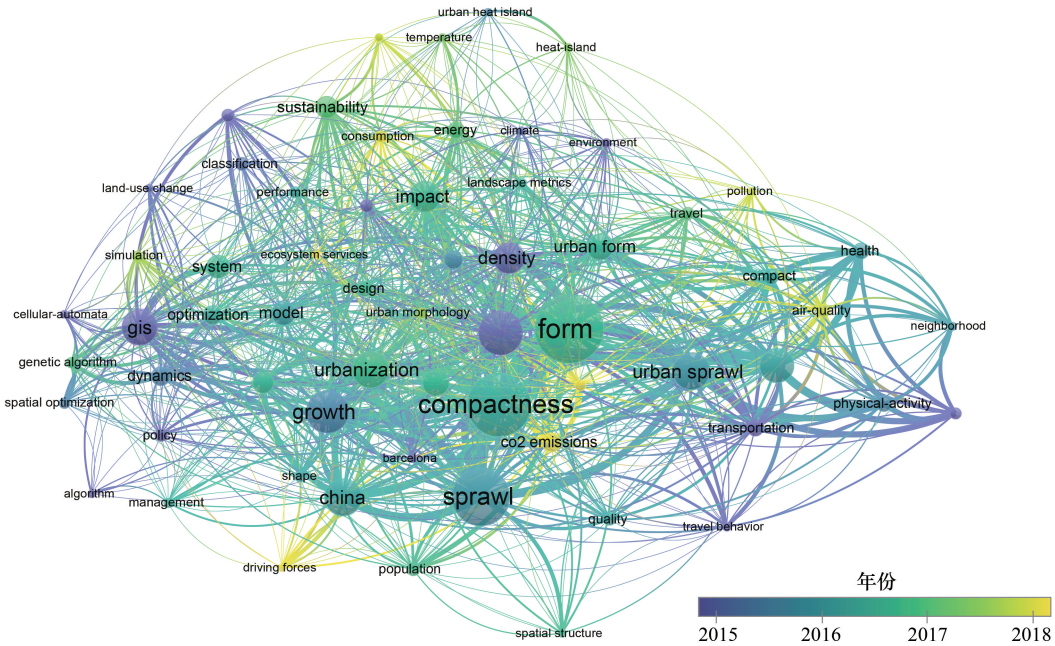

图 3　关键词叠加可视化

Fig.3　Keywords overlay visualization map

的驱动力[82],从而根据驱动力反推控制城市形态变化的关键点。一类是紧凑城市的环境效应,如城市形态与空气质量的关系[84—85]、城市形态与能源耗费的关系[86]。其中尤为重要的是城市形态与 CO_2 排放的关系[87—88],这是在最新的全球议程“联合国 2030 可持续发展目标 13:气候行动”背景下迫切需要解决的问题之一,即什么样的城市形态更有助于碳中和目标的实现。

3　讨论与结论

本文基于 Web of Science 检索了 1970—2020 年与城市紧凑度研究相关的文献,借助 CiteSpace 和 VOSviewer 进行文献计量分析,发现紧凑度发展可划分为研究萌芽、逐步发展和快速发展 3 个阶段,中国、美国是主要研究力量,美国奠定了研究基础,中国正逐渐占据主导地位。对城市紧凑度研究的基础知识、研究热点及趋势进一步梳理得到以下结论:

(1)紧凑度度量指标的研究基本遵循由粗略到详细,由外部到内部,由形态到功能,由静态到动态,由二维到三维的认知过程。城市紧凑度测度至少包括形态和功能两个维度,城市形态紧凑度的研究较丰富,但由于功能数据难以获取等原因,城市功能紧凑度研究相对不足。

(2)未来指标的构建可关注以下 3 方面:需要探索和形态度量指标相对应并可联合计算的功能度量指标;指标构建要以兼顾公平和效率为目标同时统筹微观和总体;数据来源多样性和现势性需要加强,可尝试将遥感数据与新兴众源地理数据结合分析以弥补遥感数据无法获取地块功能属性的缺点。

(3)在“联合国 2030 可持续发展目标 13:气候行动”背景下,探索城市空间紧凑性与碳排放的关系是重要的研究方向。此外,根据城市空间紧凑度与城市环境效应之间的关系,探索适宜的紧凑度区间也是亟待解决的重要问题。

对中国的城市紧凑性研究而言,需要充分考虑中国和其他国家在地理条件、文化背景等国情上的差异,切忌机械的迁移和照搬,在规划和管理过程中努力探寻适合中国特色的紧凑城市发展路径。本文不免存在一些不足,例如仅使用了 Web of Science 上的 SCI 和 SSCI 核心数据库作为原始数据,缺少对中文文献的归纳和总结。国内对城市紧凑性的研究时间相对国外较短,始于 20 世纪末期。已有研究以城市形态紧凑性度量方

法[53,89]和城市或城市群尺度的测度分析实践[17,71,90—91]为代表,都对快速城镇化背景下的中国城市发展决策产生了积极意义。笔者未来也将进一步追踪国内的城市紧凑性研究,以期帮助探索具有中国特色的紧凑城市发展路径。

参考文献(References):

[1] Batty M, Besussi E, Chin N. Traffic, urban growth and suburban sprawl. London: CASA, 2003.

[2] Lo C P. Testing urban theories using remote sensing. GIScience & Remote Sensing, 2004, 41(2): 95-115.

[3] Stone Jr B. Urban sprawl and air quality in large US cities. Journal of Environmental Management, 2008, 86(4): 688-698.

[4] Bierwagen B G. Connectivity in urbanizing landscapes: The importance of habitat configuration, urban area size, and dispersal. Urban Ecosystems, 2006, 10(1): 29-42.

[5] Tannier C, Foltête J C, Girardet X. Assessing the capacity of different urban forms to preserve the connectivity of ecological habitats. Landscape and Urban Planning, 2012, 105(1/2): 128-139.

[6] Gong P, Liang S, Carlton E J, Jiang Q W, Wu J Y, Wang L, Remais J V. Urbanisation and health in China. The Lancet, 2012, 379(9818): 843-852.

[7] Zhao J Z, Xiao L S, Tang L N, Shi L Y, Su X D, Wang H N, Song Y, Shao G F. Effects of spatial form on urban commute for major cities in China. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 2014, 21(4): 361-368.

[8] Burchell R W, Mukherji S. Conventional development versus managed growth: The costs of sprawl. American Journal of Public Health, 2003, 93(9): 1534-1540.

[9] Frumkin H. Urban sprawl and public health. Public Health Reports, 2002, 117(3): 201-217.

[10] Sturm R, Cohen D A. Suburban sprawl and physical and mental health. Public Health, 2004, 118(7): 488-496.

[11] Dantzig G B, Saaty T L. Compact city: A plan for a liveable urban environment. San Francisco: W.H. Freeman, 1973.

[12] Handayanto R T, Tripathi N K, Kim S M, Guha S. Achieving a sustainable urban form through land use optimisation: Insights from Bekasi city's land-use plan (2010 - 2030). Sustainability, 2017, 9(2): 221.

[13] Setälä H, Bardgett R D, Birkhofer K, Brady M, Byrne L, de Ruiter P C, de Vries F T, Gardi C, Hedlund K, Hemerik L, Hotes S, Liiri M, Mortimer S R, Pavao-Zuckerman M, Pouyat R, Tsiafouli M, van der Putten W H. Urban and agricultural soils: Conflicts and trade-offs in the optimization of ecosystem services. Urban Ecosystems, 2013, 17(1): 239-253.

[14] Breheny M. Urban compaction: Feasible and acceptable? Cities, 1997, 14(4): 209-217.

[15] Burton E. Measuring urban compactness in UK towns and cities. Environment and Planning B: Planning and Design, 2002, 29(2): 219-250.

[16] 李琳. 欧盟国家的"紧凑"策略: 以英国和荷兰为例. 国际城市规划, 2008, 23(06): 106-116.

[17] 方创琳, 祁巍锋, 宋吉涛. 中国城市群紧凑度的综合测度分析. 地理学报, 2008, 63(10): 1011-1021.

[18] Zhao F Q, Tang L N, Qiu Q Y, Wu G. The compactness of spatial structure in Chinese cities: Measurement, clustering patterns and influencing factors. Ecosystem Health and Sustainability, 2020, 6(1): 1743763.

[19] 祝薇, 向雪琴, 侯丽朋, 王保盛, 唐立娜. 基于 Citespace 软件的生态风险知识图谱分析. 生态学报, 2018, 38(12): 4504-4515.

[20] 廖中举, 张曼婷. 基于 Web of Science 分析的生态创新研究进展. 生态学报, 2020, 40(09): 3144-3153.

[21] 陈悦, 陈超美, 胡志刚, 王贤文. 引文空间分析原理与应用. 北京: 科学出版社, 2014.

[22] 李志明, 濮佩君. 英文文献中的海绵城市研究进展——基于 Citespace 和 VOSviewer 的知识图谱分析. 现代城市研究, 2016, (07): 12-18.

[23] Galster G, Hanson R, Ratcliffe M R, Wolman H, Coleman S, Freihage J. Wrestling sprawl to the ground: Defining and measuring an elusive concept. Housing Policy Debate, 2001, 12(4): 681-717.

[24] Ewing R. Is Los Angeles-style sprawl desirable? Journal of the American Planning Association, 1997, 63(1): 107-126.

[25] Ewing R, Pendall R, Chen D. Measuring sprawl and its transportation impacts. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2003, 1831(1): 175-183.

[26] Gordon P, Richardson H W. Are compact cities a desirable planning goal? Journal of the American Planning Association, 1997, 63(1): 95-106.

[27] Ewing R, Cervero R. Travel and the built environment: A meta-analysis. Journal of the American Planning Association, 2010, 76(3): 265-294.

[28] Ewing R, Schmid T, Killingsworth R, Zlot A, Raudenbush S. Relationship between urban sprawl and physical activity, obesity, and morbidity. American Journal of Health Promotion, 2003, 18(1): 47-57.

[29] Cutsinger J, Galster G, Wolman H, Hanson R, Towns D. Verifying the multi-dimensional nature of metropolitan land use: Advancing the understanding and measurement of sprawl. Journal of Urban Affairs, 2005, 27(3): 235-259.

[30] Schweitzer L, Zhou J P. Neighborhood air quality, respiratory health, and vulnerable populations in compact and sprawled regions. Journal of the American Planning Association, 2010, 76(3): 363-371.

[31] Jabareen Y R. Sustainable urban forms: Their typologies, models, and concepts. Journal of Planning Education and Research, 2006, 26(1): 38-52.

[32] Neuman M. The compact city fallacy. Journal of Planning Education and Research, 2005, 25(1): 11-26.
[33] Burton E. The compact city: Just or just compact? A preliminary analysis. Urban Studies, 2000, 37(11): 1969-2006.
[34] Jacobs J. The death and life of great American cities. New York: Random House, 1961.
[35] Jenks M, Burton E, Williams K. The compact city: A sustainable urban form? London: E&FN Spon, 1996.
[36] Cervero R, Kockelman K. Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 1997, 2(3): 199-219.
[37] Chen H Y, Jia B S, Lau S S Y. Sustainable urban form for Chinese compact cities: Challenges of a rapid urbanized economy. Habitat International, 2008, 32(1): 28-40.
[38] Tsai Y H. Quantifying urban form: Compactness versus 'sprawl'. Urban Studies, 2005, 42(1): 141-161.
[39] Huang J N, Lu X X, Sellers J M. A global comparative analysis of urban form: Applying spatial metrics and remote sensing. Landscape and Urban Planning, 2007, 82(4): 184-197.
[40] Schneider A, Woodcock C E. Compact, dispersed, fragmented, extensive? A comparison of urban growth in twenty-five global cities using remotely sensed data, pattern metrics and census information. Urban Studies, 2008, 45(3): 659-692.
[41] Kasanko M, Barredo J I, Lavalle C, McCormick N, Demicheli L, Sagris V, Brezger A. Are European cities becoming dispersed?: A comparative analysis of 15 European urban areas. Landscape and Urban Planning, 2006, 77(1/2): 111-130.
[42] Schwarz N. Urban form revisited—selecting indicators for characterising European cities. Landscape and Urban Planning, 2010, 96(1): 29-47.
[43] Angel S, Parent J, Civco D L. Ten compactness properties of circles: Measuring shape in geography. The Canadian Geographer/Le Géographe canadien, 2010, 54(4): 441-461.
[44] Ewing R, Rong F. The impact of urban form on U.S. residential energy use. Housing Policy Debate, 2008, 19(1): 1-30.
[45] Newman P W G, Kenworthy J R. Gasoline consumption and cities: A comparison of U.S. cities with a global survey. Journal of the American Planning Association, 1989, 55(1): 24-37.
[46] Elkin T, McLaren D, Hillman M. Reviving the city: Towards sustainable urban development. London: Friends of the Earth, 1991.
[47] Anderson W P, Kanaroglou P S, Miller E J. Urban form, energy and the environment: A review of issues, evidence and policy. Urban Studies, 1996, 33(1): 7-35.
[48] Gibbs J P. Urban research methods. Princeton: Van Nostrand, 1961.
[49] Cole J P. Study of major and minor civil divisions in political geography//Proceedings of the 20th International Geographical Congress, Sheffield. Nottingham: University of Nottingham, 1964.
[50] Richardson H W. The economics of urban size. Lexington: Saxon House, 1973: 66-83.
[51] Bertaud A, Malpezzi S. The spatial distribution of population in 35 world cities: The role of markets, planning, and topography[D]. Wisconsin: University of Wisconsin, 2001.
[52] Thinh N X, Arlt G, Heber B, Hennersdorf J, Lehmann I. Evaluation of urban land-use structures with a view to sustainable development. Environmental Impact Assessment Review, 2002, 22(5): 475-492.
[53] 赵景柱, 宋瑜, 石龙宇, 唐立娜. 城市空间形态紧凑度模型构建方法研究. 生态学报, 2011, 31(21): 6338-6343.
[54] Ewing R H, Pendall R, Chen D D. Measuring sprawl and its impact. Washington, DC: Smart Growth America, 2002.
[55] Mubareka S, Koomen E, Estreguil C, Lavalle C. Development of a composite index of urban compactness for land use modelling applications. Landscape and Urban Planning, 2011, 103(3/4): 303-317.
[56] Jia Y Q, Tang L N, Xu M, Yang X Y. Landscape pattern indices for evaluating urban spatial morphology: a case study of Chinese cities. Ecological Indicators, 2019, 99: 27-37.
[57] Abdullahi S, Pradhan B, Jebur M N. GIS-based sustainable city compactness assessment using integration of MCDM, Bayes theorem and RADAR technology. Geocarto International, 2015, 30(4): 365-387.
[58] Ye H, He X Y, Song Y, Li X H, Zhang G Q, Lin T, Xiao L S. A sustainable urban form: The challenges of compactness from the viewpoint of energy consumption and carbon emission. Energy and Buildings, 2015, 93: 90-98.
[59] Li X, Yeh A G O. Analyzing spatial restructuring of land use patterns in a fast growing region using remote sensing and GIS. Landscape and Urban Planning, 2004, 69(4): 335-354.
[60] Angel S. Planet of cities. Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy, 2012.
[61] Shi L Y, Yang S C, Gao L J. Effects of a compact city on urban resources and environment. Journal of Urban Planning and Development, 2016, 142(4): 05016002.
[62] Zhao M Y, Cai H Y, Qiao Z, Xu X L. Influence of urban expansion on the urban heat island effect in Shanghai. International Journal of Geographical Information Science, 2016, 30(12): 2421-2441.
[63] Maimaiti B, Ding J L, Simayi Z, Kasimu A. Characterizing urban expansion of Korla city and its spatial-temporal patterns using remote sensing and GIS methods. Journal of Arid Land, 2017, 9(3): 458-470.
[64] 贾玉秋, 唐立娜, 桂柳鸣. 城市空间形态离散度指数 NDIS 构建与应用. 生态学报, 2018, 38(20): 7269-7275.

[65] Liu Y, Arp H P H, Song X D, Song Y. Research on the relationship between urban form and urban smog in China. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 2016, 44(2): 328-342.

[66] Angel S, Arango Franco S, Liu Y, Blei A M. The shape compactness of urban footprints. Progress in Planning, 2018, 12: 100429.

[67] Wang S, Wang J, Fang C, Li S. Estimating the impacts of urban form on CO_2 emission efficiency in the Pearl River Delta, China. Cities, 2018, 85: 117-129.

[68] Ewing R, Hamidi S. Measuring urban sprawl and validating sprawl measures. Washington, DC: National Cancer Institute, National Institutes of Health Ford Foundation Smart Growth America, 2014.

[69] Koziatek O, Dragićević S. A local and regional spatial index for measuring three-dimensional urban compactness growth. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 2019, 46(1): 143-164.

[70] Newman P, Kenworthy J. Urban design to reduce automobile dependence. Opolis, 2006, 2(1): 35-52.

[71] 赵景柱, 石龙宇, 宋瑜, 邱全毅, 苏晓丹, 邵国凡, 唐立娜, 高莉洁. 2013 中国可持续城市发展报告-紧凑城市. 北京: 中国环境出版社, 2013.

[72] Pucher J, Lefèvre C. The urban transport crisis in Europe and North America. London: Springer, 1996.

[73] Borrego C, Martins H, Tchepel O, Salmim L, Monteiro A, Miranda A I. How urban structure can affect city sustainability from an air quality perspective. Environmental Modelling & Software, 2006, 21(4): 461-467.

[74] Glaeser E L, Kahn M E. The greenness of cities: Carbon dioxide emissions and urban development. Journal of Urban Economics, 2010, 67(3): 404-418.

[75] Williams K, Joynt J L R, Hopkins D. Adapting to climate change in the compact city: The suburban challenge. Built Environment, 2010, 36(1): 105-115.

[76] 联合国人类住区规划署. 全球人类住区报告 2011: 城市与气候变化: 政策方向. 联合国人类住区规划署北京信息办公室, 译. 北京: 联合国人类住区规划署北京信息办公室, 2011.

[77] Stone B, Hess J J, Frumkin H. Urban form and extreme heat events: Are sprawling cities more vulnerable to climate change than compact cities? Environmental Health Perspectives, 2010, 118(10): 1425-1428.

[78] Geurs K T, van Wee B. Ex-post evaluation of thirty years of compact urban development in the netherlands. Urban studies, 2006, 43(1): 139-160.

[79] Seto K C, Fragkias M. Quantifying spatiotemporal patterns of urban land-use change in four cities of China with time series landscape metrics. Landscape Ecology, 2005, 20(7): 871-888.

[80] Song Y, Knaap G J. Measuring urban form: Is portland winning the war on sprawl? Journal of the American Planning Association, 2004, 70(2): 210-225.

[81] Ewing R, Hamidi S. Compactness versus sprawl: A review of recent evidence from the United States. Journal of Planning Literature, 2015, 30(4): 413-432.

[82] Zhong Y, Lin A W, He L J, Zhou Z G, Yuan M X. Spatiotemporal dynamics and driving forces of urban land-use expansion: A case study of the Yangtze River economic belt, China. Remote Sensing, 2020, 12(2): 287.

[83] Trepci E, Maghelal P, Azar E. Effect of densification and compactness on urban building energy consumption: Case of a Transit-Oriented development in Dallas, TX. Sustainable Cities and Society, 2020, 56: 101987.

[84] Cárdenas Rodríguez M, Dupont-Courtade L, Oueslati W. Air pollution and urban structure linkages: Evidence from European cities. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 53: 1-9.

[85] McCarty J, Kaza N. Urban form and air quality in the United States. Landscape and Urban Planning, 2015, 139: 168-179.

[86] Xu C, Haase D, Su M R, Yang Z F. The impact of urban compactness on energy-related greenhouse gas emissions across EU member states: Population density vs physical compactness. Applied Energy, 2019, 254: 113671.

[87] Fang C L, Wang S J, Li G D. Changing urban forms and carbon dioxide emissions in China: A case study of 30 provincial capital cities. Applied Energy, 2015, 158: 519-531.

[88] Lee S, Lee B. The influence of urban form on GHG emissions in the U.S. Household sector. Energy Policy, 2014, 68: 534-549.

[89] 吕斌, 孙婷. 低碳视角下城市空间形态紧凑度研究. 地理研究, 2013, 32(06): 1057-1067.

[90] 燕月, 陈爽, 李广宇, 余成. 城市紧凑性测度指标研究及典型城市分析——以南京、苏州建设用地紧凑度为例. 地理科学进展, 2013, 32(5): 733-742.

[91] 马丽, 金凤君. 中国城市化发展的紧凑度评价分析. 地理科学进展, 2011, 30(8): 1014-1020.