

城市绿地土壤研究文献的 CiteSpace 可视化分析

包婕¹, 江峰², 马嘉伟¹, 徐彦¹, 马媛蕊¹, 陈楚文³, 叶正钱¹, 柳丹¹

(1. 浙江农林大学 环境与资源学院 浙江省土壤污染生物修复重点实验室, 浙江 杭州 311300; 2. 衢州市园林绿化管理服务中心, 浙江 衢州 324000; 3. 浙江农林大学 风景园林与建筑学院, 浙江 杭州 311300)

摘要: 【目的】城市绿地土壤的质量直接关系到城市生态效益及各项功能的发挥。分析中外城市绿地土壤研究文献, 梳理与总结中国城市绿地土壤研究重点及未来发展方向。【方法】检索中国知网 (China National Knowledge Infrastructure) 和科学网 (Web of Science) 核心数据库中 2012—2021 年关于城市绿地土壤的研究文献, 利用 CiteSpace 从发文量、国家及机构分布、代表人物及热点内容、研究重点内容、研究发展趋势及前沿等方面, 阐明该研究领域的重点内容及动态发展。【结果】近 10 年城市绿地土壤研究领域共发表中英文文献 1107 篇, 其中中国发文总量最多, 且主要集中在中国科学院。国内研究内容主要为土壤质量, 研究热点从土壤肥力质量到土壤污染, 再到土壤改良修复。国外研究内容主要是城市绿地土壤的生态系统服务功能, 研究热点从解决城市生态环境问题到提出绿地维护管理策略, 再到提升城市生态环境效益。研究前沿集中在重金属污染和城市绿地生态系统。【结论】城市绿地土壤中英文文献的研究重点不同, 中文文献更关注城市绿地土壤质量, 这与国家政策、城市发展、生态环境保护等有关。而英文更关注城市绿地生态系统, 这可能与气候变化、绿色基础设施建设、生态环境效益等有关。图 3 表 5 参 58

关键词: 城市绿地; 绿地土壤; 研究文献; CiteSpace

中图分类号: S158 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2023)03-0685-10

CiteSpace visualization analysis of urban green space soil research literature

BAO Jie¹, JIANG Feng², MA Jiawei¹, XU Yan¹, MA Yuanrui¹, CHEN Chuwen³, YE Zhengqian¹, LIU Dan¹

(1. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Soil Pollution Bioremediation, School of Environment and Resources, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China; 2. Quzhou Gardening and Greening Management Service Center, Quzhou 324000, Zhejiang, China; 3. College of Landscape and Architecture, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China)

Abstract: [Objective] The quality of urban green space soil is directly related to the ecological benefits and functions of cities. This study sorts out and summarizes the research focus and future development direction of urban green space soil in China by analyzing the Chinese and English literatures. [Method] The literatures on urban green space soil from 2012–2021 in the core databases of China National Knowledge Infrastructure and Web of Science were searched, and CiteSpace visual analysis software was used to elucidate the key contents and dynamic development of this research area in terms of the number of publication quantity, distribution of countries and institutions, representative figures and hot topics, research focus, research development trend and frontier. [Result] In the past 10 years, 1107 literatures were published in the field of urban green space soil research and most of them were in Chinese. Among the academic institutions, Chinese Academy of Sciences had the largest quantity of publications. Domestic researches mainly focused on soil quality evaluation, with hot

收稿日期: 2021-09-08; 修回日期: 2022-07-08

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目 (Z20C160008)

作者简介: 包婕 (ORCID: 0000-0001-9787-8634), 从事农业资源利用研究。E-mail: 838817529@qq.com。通信作者: 柳丹 (ORCID: 0000-0003-1102-6639), 教授, 博士, 博士生导师, 从事重金属污染修复研究。E-mail: liudan7812@aliyun.com

topics changing from soil fertility quality to soil pollution, and eventually to soil improvement and restoration. Foreign researches mainly focused on the ecosystem service function of urban green space soil, with hot topics changing from solving urban ecological environment problems to proposing green space maintenance management strategies, and finally to improving urban ecological environment benefits. The research frontiers focused on heavy metal pollution and urban green space ecosystem. [Conclusion] The research focuses of Chinese and English literatures on urban green space soil are different. Chinese literatures pay more attention to the quality of urban green space soil, which is related to national policies, urban development, and ecological environmental protection. English literatures focus more on the urban green space ecosystem, which may be related to climate change, green infrastructure construction, ecological and environmental benefits, etc. [Ch, 3 fig. 5 tab. 58 ref.]

Key words: urban green space; CiteSpace Software; greenbelt soil; scientific articles

城市绿地是以土壤为基质,以自然和人工植被为主体,以人类干扰为特征,并与微生物和动物群落协同共生的人工生态系统,具有重要的生态意义和环境价值,维护着城市生态系统的平衡^[1-2]。近年来,城市化进程加快,人为扰动严重,农业和林业土壤被大量占用,给土地造成严重污染,使得城市绿地在土壤物理、化学性质及生物学特性等方面都发生了显著变化^[3-4]。国内研究发现:城市绿地土壤存在来源复杂、养分较少、土体层次混乱、压实严重、通气性差、污染严重的问题,使植物根系呼吸和下扎受阻,影响植物生长发育以及城市环境生态效益和景观功能^[5]。国外对于城市绿地的关注较早,聚焦于城市土壤污染、生物多样性、气候变化及生态系统服务功能等方面^[6]。为了全面了解城市绿地土壤研究文献的变化趋势,本研究总结了国内外城市绿地土壤研究领域的代表文献、研究热点,进行可视化分析,并系统综述了近 10 a 来的主要研究内容,以期为中国城市绿地土壤的研究和建设提供借鉴。

1 数据来源和研究方法

中文文献以中国知网 (China National Knowledge Infrastructure, CNKI) 为数据源,扩大检索范围将检索条件定为“主题=绿地土壤”,检索年限设定为 2012—2021 年,进行高级精确检索,经过人工筛选,将其中重复及与城市绿地土壤相关性不大的文献剔除,共检索到文献 557 篇。在科学网 (Web of Science, WoS) 核心数据库中,以主题 TS=[(Urban Soil AND Greenbelt) OR (Soil AND Green Space) OR (Park Green Space AND Soil) OR (Greenfield AND Soil Evaluation)] AND 文献类型=(Article OR Review) AND 语言=(English) 开展检索,检索年限设定为 2012—2021 年,学科主要选取“Environmental Science” OR “Geosciences Multidisciplinary” OR “Ecology” OR “Environmental Studies” OR “Plant Sciences” OR “Water Resources” OR “Soil Science” OR “Urban Studies” OR “Forestry” AND “Green Sustainable Science Technology”,共检索到文献 550 篇。采用 CiteSpace 5.7.R5W 对前 50 位的文献数据的关键词、作者、国家/地区和机构进行可视化分析。

2 结果与分析

2.1 文献数量

由表 1 可见:自 CJ/T 340—2011《绿化种植土》颁布以来,北京、上海、重庆、广州等城市开展了绿地土壤调研工作,并出台了当地的种植土质量规范^[7],因此发文量有所增加,其中,2018 和 2019 年发文量较多,分别为 79 和 77 篇。从国家政策层面来看,从 2017 年党的十九大提出“加快生态文明体制改革,建设美丽中国”,到 2019 年实施《中华人民共和国土壤污染防治法》,政策制度不断完善,说明国家日益重视土壤污染管控、土壤生态保护及修复。英文发文量呈现整体上升的趋势。

2.2 国家和机构分布

由表 2 可见:2012—2021 年,从 WoS 核心数据库中获取的城市绿地土壤研究文献中,中国发文量位列第一,高达 131 篇,其次是美国、澳大利亚、德国、意大利等。从发文机构的中心性来看,中国科

表 1 年度中英文文献发文数量

年份	中文文献/篇	英文文献/篇	年份	中文文献/篇	英文文献/篇
2012	52	28	2017	51	34
2013	59	33	2018	79	62
2014	40	40	2019	77	82
2015	53	38	2020	58	104
2016	55	45	2021	33	84

表 2 发文量前 5 位的国家和中心性前 5 位的机构

排名	国家	发文量/篇	排名	机构	发文量/篇	中心性
1	中国	131	1	中国科学院	60	0.21
2	美国	93	2	莫纳什大学	8	0.07
3	澳大利亚	37	3	北京师范大学	15	0.06
4	德国	34	4	墨尔本大学	7	0.05
5	意大利	29	5	赫尔辛基大学	8	0.04

学院的中心性最高。中国对城市绿地土壤研究领域的关注度较高，具有较强的国际学术影响力。

2.3 代表性作者及热点内容

由表 3 可知：中文文献发文量排名前 5 位的作者主要研究内容是城市绿地土壤理化性质、土壤质量分析、绿化废弃物的利用、土壤重金属污染^[8-19]。华南农业大学卢瑛^[20-21]、沈阳农业大学的边振兴^[22]和上海市园林科学研究所的张琪^[23]发表的文章被引频次超过 100 次。被引频次高的文献主要涉及城市绿地土壤的养分特征，肥力质量评价，土壤改良和重金属污染等研究，侧面反映了国内对城市绿地土壤的研究热点和重点。

表 3 中文发文量前 5 位的作者及内容

排名	作者姓名	作者机构	发文数/篇	研究内容
1	方海兰	上海市园林科学研究所	15	绿地土壤质量 ^[8] 、绿化废弃物 ^[9]
2	梁晶	上海市园林科学研究所	14	绿化废弃物堆肥处理 ^[10] ，绿地土壤安全的技术利用 ^[11]
3	伍海兵	上海市园林科学研究所	14	绿地土壤物理性质及肥力质量评价 ^[12-16]
4	朱本国	重庆市风景园林科学研究院	14	绿地土壤铅积累情况 ^[18] ，质量分析和改良建议 ^[17]
5	胡艳燕	重庆市风景园林科学研究院	13	绿地土壤重金属含量分布特征及评价 ^[19]

由表 4 可知：英文文献发文量排名前 5 位的作者主要研究内容是城市绿地土壤污染、物种多样性、微生物等^[24-28]。CAMERON 等^[29]、LIVESLEY 等^[30]、COUTTS 等^[31]、KABISCH 等^[32]和 BRAAKER 等^[33]发表文献被引频次超过 100 次，最高达到 277 次。高被引文献研究主题为生态系统服务、绿色基础设施、城市小气候、花园和绿色屋顶构建及其功能，反映了城市绿地土壤研究的热点和重点。

表 4 英文发文量前 5 位的作者及内容

排名	作者姓名	作者机构	发文数/篇	研究内容
1	CHEN Weiping	中国科学院	6	不同植被覆盖的城市绿地中多环芳烃(PAHs)的土壤积累 ^[24]
2	LI Jing	北京清华同恒城市规划设计	6	土壤特征对物种多样性的影响 ^[25]
3	BREED M F	阿德莱德大学	5	人类—环境—微生物相互作用 ^[26]
4	REN Yuan	中国科学院城市环境研究所	5	物种多样性的影响 ^[27]
5	WEINSTEIN P	阿德莱德大学环境研究所	5	人类—环境—微生物相互作用 ^[26] ，微生物群重组作为增加城市生物多样性暴露的机制 ^[28]

2.4 研究重点关注领域

CiteSpace 对论文关键词的共现分析能体现出文献的关注领域。中文文献关于城市绿地土壤的研究，主要围绕土壤肥力、土壤理化性质、重金属污染评价等展开(图 1)。土壤肥力是土壤质量状况的综合反映，可通过单项指标评价和综合评价对土壤质量全面解析。张明等^[34]收集了中国 32 个城市绿地土壤的 9 项理化指标数据，得出土壤碱性化趋势明显，城市绿地土壤肥力状况待改善。土壤重金属污染评价是根据不同尺度选用合适的评价方法和模型分析该区域的污染程度，如单因子指数评价法^[35-36]、内梅罗综合污染指数法^[37]、模糊综合评价法^[38]、地质累积指数法^[39]、潜在生态危害指数法^[37, 39]、污染负荷指数法^[40-41]、综合指数评价法^[41]、灰色聚类法等。谢贤健等^[42]利用单因子污染指数法、GIS 技术结合投影寻

踪模型评估了研究区不同土地利用方式下表层土壤铅 (Pb)、镉 (Cd)、铜 (Cu)、锌 (Zn) 的污染特征及其空间污染程度。张俊叶等^[43]使用物元可拓模型法, 计算单指标关联度、多指标综合关联度和等级评定。

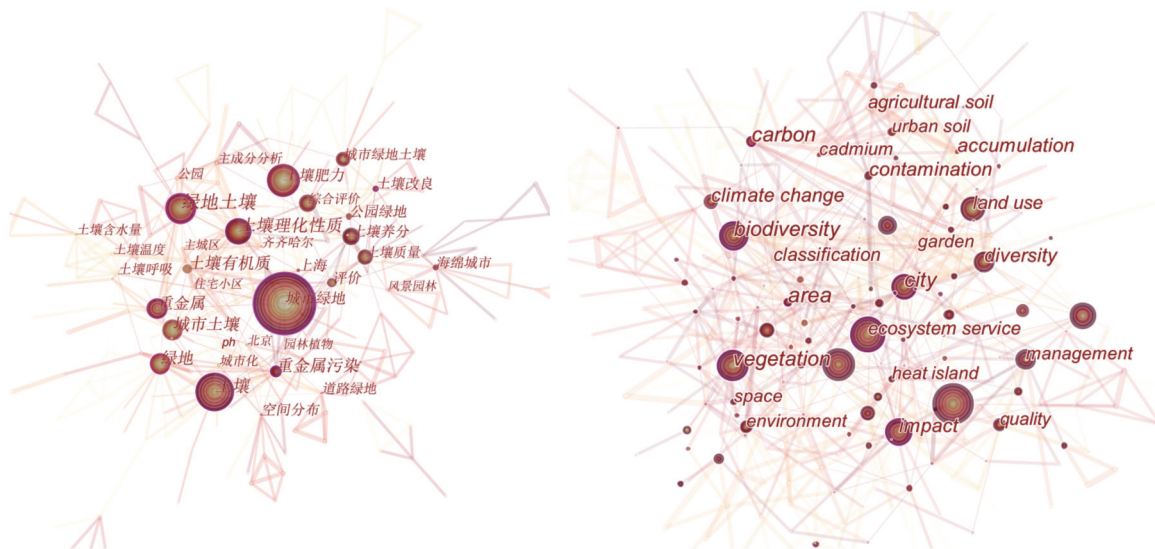


图1 中英文文献关键词共现图

Figure 1 Keywords co-occurrence map of Chinese and English literatures

由图1可以看出: 英文文献的关键词主要有生态系统服务、生物多样性、植被。在城市绿地生态系统服务研究中, 高频被引文献围绕着城市土壤与人类健康^[44]、城市绿地对径流调节^[45]和土壤重金属积累的影响^[46]等方面展开。除此之外, 英文文献在可持续绿化和绿色基础设施方面^[47]的发展值得学习。JIM^[48]提出了可持续的绿化战略, 加强绿地树木和行道树维护, 充分利用可种植资源, 创新公共政策和绿化技术, 形成覆盖全城的绿色网络。LOPUCKI等^[49]通过多功能绿色基础设施的参与式规划过程, 为城市提供生态系统服务的策略, 如植物生物多样性、微气候控制、土壤渗透、碳固存、视觉质量、娱乐和社会资本等。在城市绿地生物多样性研究中, TRESCH等^[50]调查发现: 植物物种丰富度增加, 使土壤动物物种和微生物丰富度增加, 从而对凋落物分解产生积极影响。文献从多角度分析城市生物多样性的影响因素, 如绿地管理和维护^[51]、城市建筑高度和密度、土壤微生物群落和功能^[52]、植物和土壤相互作用等。

2.5 研究趋势及前沿分析

由图2可见: 中文文献研究从重金属、综合评价、海绵城市等聚类节点展开。英文文献研究方向主要是城市生态、城市气候、城市土壤、归一化植被指数、土壤理化性质等聚类。可见文献围绕城市绿地土壤特性对城市绿地生态系统的影响, 着眼于土壤重金属污染、植被覆盖和土壤蓄渗能力等研究。LIU等^[53]研究发现: 同一季节不同类型的城市绿地土壤中的重金属含量差异较大。城市绿地为减缓径流提供了巨大的潜力, 植被覆盖可提高雨水入渗率, 土壤渗透速率随堆积密度的增加而降低^[45, 54]。近几年来, 许多英文文献阐述了绿色基础设施建设、自然气候、植被生长和人为活动等因素对土壤特征的影响, 包含绿色屋顶、雨水循环利用、植被蒸腾等方面, 反映出的内容更丰富。2012—2021年, 重金属、齐齐哈尔、污染评价等关键词突现强度高, 该阶段土壤污染问题受重视, 近3a主要关注重金属污染和土壤改良问题(表5)。

由图3可见: ①2012—2014年重点是土壤肥力、土壤理化性质、综合评价、重金属污染, 侧重对城市绿地土壤理化和生物特性的分析评价; ②2015—2017年, 研究内容细化, 区分不同类型绿地(公园、住宅小区、园林绿地)的土壤理化特性分析评价, 其中主成分分析法运用较多; ③2018—2021年, 从空间变异角度分析城市绿地土壤污染特征并评价, 即从污染源出发(源解析), 分析污染物类型(重金属、多环芳烃), 最后进行生态风险评价。

英文文献中, 2012—2021年突现强度高的关键词是效益、蒸腾, 主要关注绿地与社会效益以及与城市环境的关系, 对城市绿地蒸腾、降温^[48]等方面的研究有所增加。其中, 2017—2018年中国在城市绿

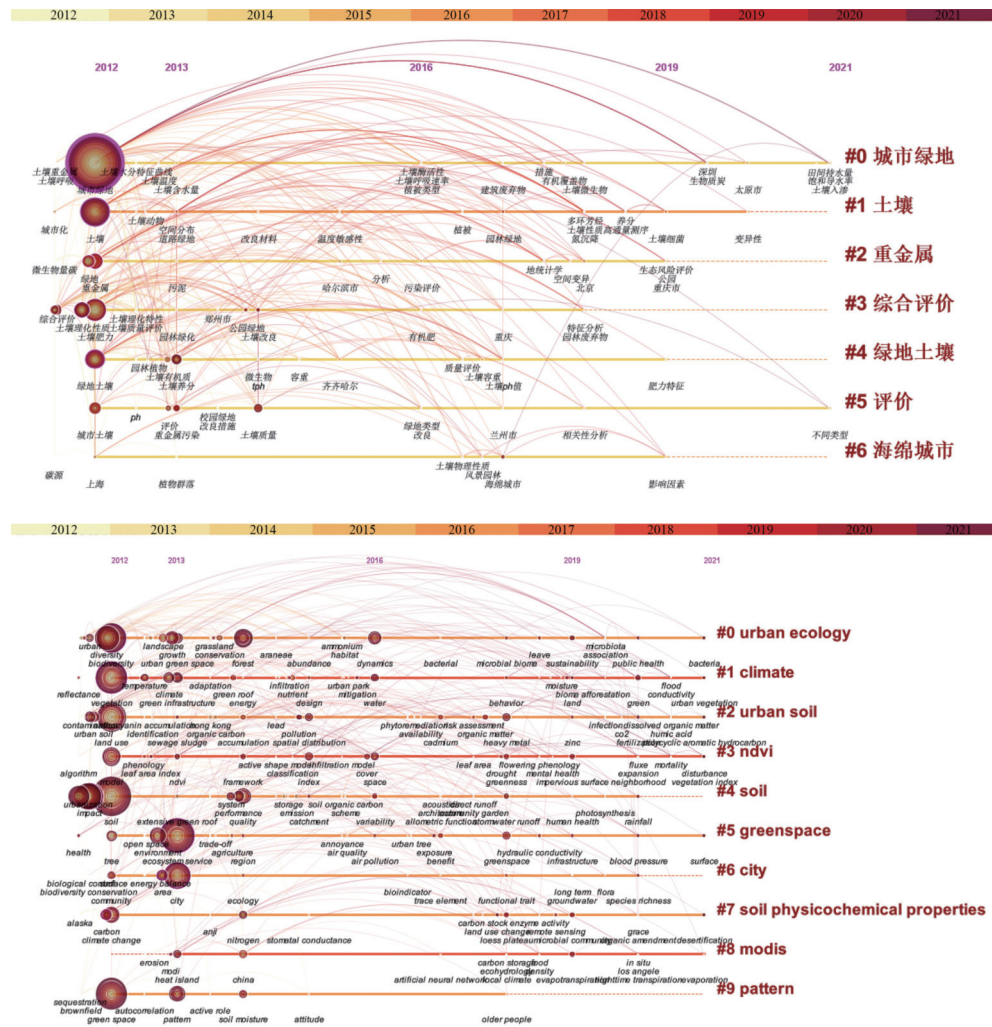


图 2 中英文文献关键词聚类分析分布图

Figure 2 Cluster analysis distribution of key words of Chinese and English literatures

地土壤领域的研究处于突出位置(表 5)。英文文献也可分为 2012—2014 年、2015—2017 年、2018—2021 年 3 个阶段(图 3)。第 1 阶段基本涵盖城市绿地土壤领域的热点,集中在“生态系统服务”“生物多样性”“影响”“城市化”等 4 个方面。早期研究大多是关于城市居民健康水平及生活质量的提升^[55],随着城市化进程加快以及城市气候环境改变,研究重点转向解决城市生态环境问题^[56]。第 2 阶

表 5 中英文文献关键词突现前 10 位

Table 5 Summary of top 10 key words of Chinese and English literatures

中文文献关键词突现前10位(2012—2021)				英文文献关键词突现前10位(2012—2021)			
排名	关键词	突现时间	突现强度	排名	关键词	突现时间	突现强度
1	重金属	2018—2019	3.35	1	效益(benefit)	2017—2019	3.87
2	齐齐哈尔	2015—2017	2.83	2	蒸腾(evapotranspiration)	2019—2021	3.79
3	污染评价	2016—2018	2.50	3	中国(China)	2017—2018	3.64
4	重金属污染	2019—2020	2.36	4	树(tree)	2012—2013	3.21
5	土壤质量	2014—2015	2.28	5	有机碳(organic carbon)	2014—2016	2.93
6	城市土壤	2014—2016	2.07	6	人口(population)	2012—2013	2.79
7	土壤改良	2019—2021	2.07	7	景观(landscape)	2013—2016	2.79
8	土壤呼吸	2012—2014	2.01	8	设计(design)	2015—2018	2.73
9	土壤温度	2013—2016	1.90	9	城市生态(urban ecology)	2013—2016	2.60
10	园林绿化	2012—2014	1.86	10	温度(temperature)	2013—2016	2.45

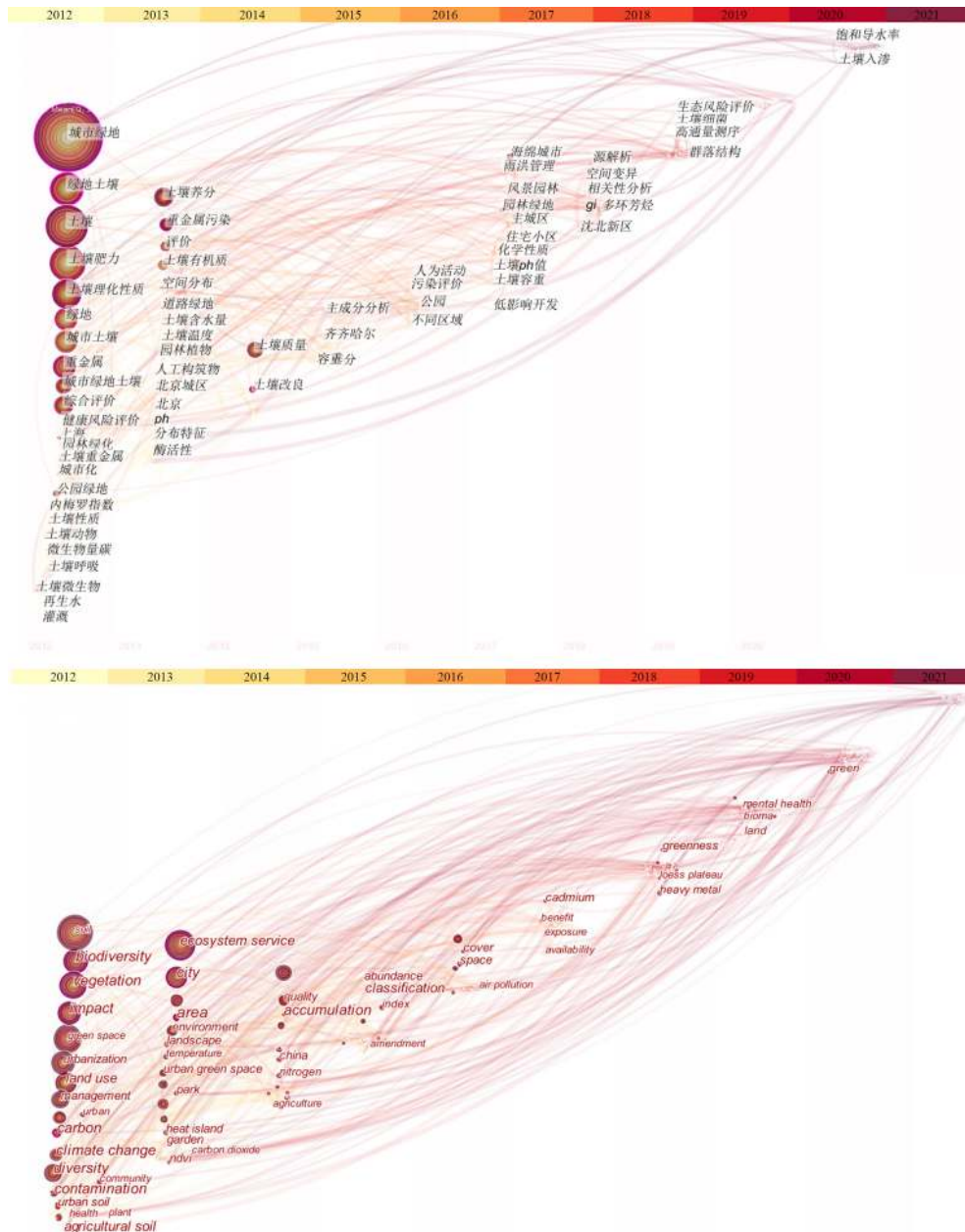


图3 中英文文献城市绿地土壤关键词时区图

Figure 3 Time zone map of key words of Chinese and English literatures

段的关键内容是“分类”“土壤改良”“空间”“效益”，绿地发展阶段演变及新技术涌现，针对绿地管理和维护开展了大量研究^[57]。第3阶段的高频词是“重金属”“心理健康”“绿色”，综合探讨了绿地与城市社会、环境、居民整体效益的关系及对生态系统服务功能的影响。研究表明：增加公园绿地有利于提升城市环境质量^[58]。第1阶段和第2阶段是从生态学角度探索城市绿地土壤与生态系统服务之间的关系，并寻求合适的解决方法。第3阶段学者们转向对环境污染与治理以及人类健康与绿色空间的相互关系等研究。

3 结论与展望

本研究表明：城市绿地土壤中英文文献的研究重点不同，中文文献更关注城市绿地土壤质量，主要研究土壤理化性质、土壤肥力、土壤改良、综合质量评价和土壤重金属污染等，对城市土壤质量进行空间分析及评价，提出土壤改良建议，美化城市环境。而英文文献更关注城市绿地生态系统，主要研究生态系统服务、生物多样性、森林、绿色基础设施和土壤重金属污染等，研究多因素(植物、动物及微生

物)间相互影响以及生态系统服务价值,提升社会、环境、人居这三方面的整体效益,更好地为人们提供适宜的生活环境。

今后,国内研究者应重点关注城市绿地土壤与城市生态系统之间的相互关系;对城市绿地土壤质量的量化评价需要增加物理学、化学、生物学、污染、植物等方面的指标;定期检测各项土壤质量指标,利用大数据精密监控城市绿地土壤环境,实行数字智能化管理。

4 参考文献

- [1] 秦娟, 许克福. 我国城市绿地土壤质量研究综述与展望[J]. 生态科学, 2018, 37(1): 200 – 210.
QIN Juan, XU Kefu. Research summary and prospect of urban green space soil quality in China [J]. *Ecological Science*, 2018, 37(1): 200 – 210.
- [2] 苏泳娴, 黄光庆, 陈修治, 等. 城市绿地的生态环境效应研究进展[J]. 生态学报, 2011, 31(23): 7287 – 7300.
SU Yongxian, HUANG Guangqing, CHEN Xiuzhi, et al. Research progress in the eco-environmental effects of urban green spaces [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(23): 7287 – 7300.
- [3] AJMONE-MARSAN F, BIASIOLI M. Trace elements in soils of urban areas [J]. *Water, Air, & Soil Pollution*, 2010, 213: 121 – 143.
- [4] ELLIS E C. Anthropogenic transformation of the terrestrial biosphere [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 2011, 369(1938): 1010 – 1035.
- [5] VRŠČAJ B, POGGIO L, MARSAN F A. A method for soil environmental quality evaluation for management and planning in urban areas [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2008, 88(2/4): 81 – 94.
- [6] de KIMPE C R, MOREL J L. Urban soil management: a growing concern [J]. *Soil Science*, 2000, 165(1): 31 – 40.
- [7] 邹明珠, 王艳春, 刘燕. 北京城市绿地土壤研究现状及问题[J]. 中国土壤与肥料, 2012(3): 1 – 6.
ZOU Mingzhu, WANG Yanchun, LIU Yan. The present status and problems of the research on Beijing urban green space soil [J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2012(3): 1 – 6.
- [8] 方海兰, 陈玲, 黄懿珍, 等. 上海新建绿地的土壤质量现状和对策[J]. 林业科学, 2007, 43(增刊 1): 89 – 94.
FANG Hailan, CHEN Ling, HUANG Yizhen, et al. Current situation and strategy for the soil quality of newly-established green belts in Shanghai [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2007, 43(suppl 1): 89 – 94.
- [9] 吕子文, 方海兰, 黄彩娣. 美国园林废弃物的处置及对我国的启示[J]. 中国园林, 2007, 24(8): 90 – 94.
LÜ Ziwen, FANG Hailan, HUANG Caidi. The disposing of green waste in USA and the inspiration for its utilization in China [J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2007, 24(8): 90 – 94.
- [10] 梁晶, 吕子文, 方海兰. 园林绿色废弃物堆肥处理的国外现状与我国的出路[J]. 中国园林, 2009, 26(4): 1 – 6.
LIANG Jing, LÜ Ziwen, FANG Hailan. Status of composting treatment of garden waste abroad and application in China [J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2009, 26(4): 1 – 6.
- [11] 梁晶, 方海兰, 张浪, 等. 基于城市绿地土壤安全的主要生态技术研究及应用[J]. 中国园林, 2016, 32(8): 14 – 17.
LIANG Jing, FANG Hailan, ZHANG Lang, et al. Study and application of main ecology technology based on soil security for urban landscape [J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2016, 32(8): 14 – 17.
- [12] 伍海兵, 方海兰, 彭红玲, 等. 典型新建绿地上海辰山植物园的土壤物理性质分析[J]. 水土保持学报, 2012, 26(6): 85 – 90.
WU Haibing, FANG Hailan, PENG Hongling, et al. Soil physical properties analysis of the typical newly-established green belt of Shanghai Chenshan Botanical Garden [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2012, 26(6): 85 – 90.
- [13] 伍海兵, 李爱平, 方海兰, 等. 绿地土壤孔隙度检测方法及其对土壤肥力评价的重要性[J]. 浙江农林大学学报, 2015, 32(1): 98 – 103.
WU Haibing, LI Aiping, FANG Hailan, et al. Green-belt soil testing methods for porosity and the importance of porosity on soil fertility evaluation [J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2015, 32(1): 98 – 103.
- [14] 伍海兵, 张青青, 梁晶. 城市绿地土壤肥力质量综合评价方法初探[J]. 土壤通报, 2020, 51(4): 795 – 800.
WU Haibing, ZHANG Qingqing, LIANG Jing. A comprehensive evaluation method of soil fertility quality in urban green space [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2020, 51(4): 795 – 800.
- [15] 伍海兵. 城市绿地土壤物理性质特征及其改良研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.

- WU Haibing. *Research on Character of Soil Physical Properties and its Improvement of Urban Green Space* [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2013.
- [16] 伍海兵. 上海中心城区典型绿地土壤物理性质特征研究[J]. 土壤, 2018, **50**(1): 155 – 161.
WU Haibing. Study on soil physical properties of green belts in central urban area of Shanghai [J]. *Soils*, 2018, **50**(1): 155 – 161.
- [17] 朱本国, 王丽娟, 陈祥, 等. 城市居住区园林景观绿地土壤质量分析和改良建议[J]. 现代园艺, 2019, **42**(23): 29 – 30, 41.
ZHU Benguo, WANG Lijuan, CHEN Xiang, et al. Soil quality analysis and improvement suggestions for garden landscape green land in urban residential areas [J]. *Xiandai Horticulture*, 2019, **42**(23): 29 – 30, 41.
- [18] 朱本国, 胡艳燕, 包兵, 等. 城市新老城区绿地土壤铅积累情况浅析——以重庆市沙坪坝区大学城为例[J]. 中国园艺文摘, 2016, **32**(2): 110 – 112, 183.
ZHU Benguo, HU Yanyan, BAO Bing, et al. Analysis on lead accumulation in new and old urban areas [J]. *Chinese Horticulture Abstracts*, 2016, **32**(2): 110 – 112, 183.
- [19] 徐福银, 胡艳燕. 重庆市不同功能区城市绿地土壤重金属分布特征与评价[J]. 土壤通报, 2014, **45**(1): 227 – 231.
XU Fuyin, HU Yanyan. Distribution and pollution assessment on heavy metals in urban soils of different functional areas in Chongqing [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2014, **45**(1): 227 – 231.
- [20] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖, 等. 南京城市土壤重金属含量及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2004, **15**(1): 123 – 126.
LU Ying, GONG Zitong, ZHANG Ganlin, et al. Heavy metal concentration in Nanjing urban soils and their affecting factors [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, **15**(1): 123 – 126.
- [21] 卢瑛, 甘海华, 史正军, 等. 深圳城市绿地土壤肥力质量评价及管理对策[J]. 水土保持学报, 2005, **19**(1): 153 – 156.
LU Ying, GAN Haihua, SHI Zhengjun, et al. Soil fertility quality assessment and managing measures for urban green space in Shenzhen City [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, **19**(1): 153 – 156.
- [22] 边振兴, 王秋兵. 沈阳市公园绿地土壤养分特征的研究[J]. 土壤通报, 2003, **34**(4): 284 – 290.
BIAN Zhenxing, WANG Qiubing. Study on urban park soil nutrients in Shenyang City's green areas [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2003, **34**(4): 284 – 290.
- [23] 张琪, 方海兰, 黄懿珍, 等. 土壤阳离子交换量在上海城市土壤质量评价中的应用[J]. 土壤, 2005, **37**(6): 679 – 682.
ZHANG Qi, FANG Hailan, HUANG Yizhen, et al. Application of soil CEC to evaluation of soil quality in Shanghai [J]. *Soils*, 2005, **37**(6): 679 – 682.
- [24] PENG Chi, OUYANG Zhiyun, WANG Mei'e, et al. Vegetative cover and PAHs accumulation in soils of urban green space [J]. *Environment Pollution*, 2012, **161**: 36 – 42.
- [25] LIN Mao, LI Suyan, SUN Xiangyang, et al. Heavy metal contamination in green space soils of Beijing, China [J]. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 2018, **68**(4): 291 – 300.
- [26] SELWAY C A, MILLS J G, WEINSTEIN P, et al. Transfer of environmental microbes to the skin and respiratory tract of humans after urban green space exposure [J/OL]. *Environment International*, 2020, **145**: 106084[2022-10-15]. doi: 10.1016/j.envint.2020.106084.
- [27] GUO Peipei, YU Fang, REN Yuan, et al. Response of ruderal species diversity to an urban environment: implications for conservation and management [J/OL]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, **15**(12): 2832[2022-10-15]. doi: 10.3390/ijerph15122832.
- [28] MILLS J G, WEINSTEIN P, GELLIE N J C, et al. Urban habitat restoration provides a human health benefit through microbiome rewilding: the microbiome rewilding hypothesis [J]. *Restoration Ecology*, 2017, **25**(6): 866 – 872.
- [29] CAMERON R W F, BLANUŠA T, TAYLOR J E, et al. The domestic garden - its contribution to urban green infrastructure [J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2012, **11**(2): 129 – 137.
- [30] LIVESLEY S J, MCPHERSON E G, CALFAPIETRA C. The urban forest and ecosystem services: impacts on urban water, heat, and pollution cycles at the tree, street, and city scale [J]. *Journal of Environment Quality*, 2016, **45**: 119 – 124.
- [31] COUTTS A M, TAPPER N J, BERINGER J, et al. Watering our cities: the capacity for Water Sensitive Urban Design to support urban cooling and improve human thermal comfort in the Australian context [J]. *Progress in Physical Geography-Earth and Environment*, 2013, **37**(1): 2 – 28.
- [32] KABISCH N, HAASE D. Green spaces of European cities revisited for 1990–2006 [J]. *Landscape and Urban Planning*,

- 2013, **110**: 113 – 122.
- [33] BRAAKER S, GHAZOUL J, OBRIST M K, *et al.* Habitat connectivity shapes urban arthropod communities: the key role of green roofs [J]. *Ecology*, 2014, **95**(4): 1010 – 1020.
- [34] 张明, 潘国林, 张宗应, 等. 我国部分城市绿地土壤肥力质量分析与评价[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2019, **40**(3): 46 – 51.
ZHANG Ming, PAN Guolin, ZHANG Zongying, *et al.* Soil fertility quality analysis and evaluation in some urban green space of China [J]. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2019, **40**(3): 46 – 51.
- [35] 赵靛, 梁云平, 陈倩, 等. 中国北方某市城市绿地土壤重金属空间分布特征、污染评价及来源解析[J]. 环境科学, 2020, **41**(12): 5552 – 5561.
ZHAO Liang, LIANG Yunping, CHEN Qian, *et al.* Spatial distribution contamination assessment and sources of heavy metals in the urban green space soils of a city in North China [J]. *Environmental Science*, 2020, **41**(12): 5552 – 5561.
- [36] 赵卓亚, 王志刚, 毕拥国, 等. 保定市城市绿地土壤重金属分布及其风险评价[J]. 河北农业大学学报, 2009, **32**(2): 16 – 20.
ZHAO Zhuoya, WANG Zhigang, BI Yongguo, *et al.* The distributions and risk assessment of heavy metals in the soils from different urban greenland region of Baoding city [J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2009, **32**(2): 16 – 20.
- [37] 杨建宇, 欧聪, 李琪, 等. 基于云模型的吉林大安耕地土壤养分模糊综合评价[J]. 农业机械学报, 2018, **49**(1): 251 – 257.
YANG Jianyu, OU Cong, LI QI, *et al.* Fuzzy synthetic evaluation of soil nutrients in cultivated land based on cloud model in Da'an City, Jilin Province [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2018, **49**(1): 251 – 257.
- [38] 周长松, 邹胜章, 李录娟, 等. 几种土壤重金属污染评价方法的对比[J]. 地球与环境, 2015, **43**(6): 709 – 713.
ZHOU Changsong, ZOU Shengzhang, LI Lujuan, *et al.* Comparison of evaluation methods for soil heavy metals contamination [J]. *Earth and Environment*, 2015, **43**(6): 709 – 713.
- [39] 鲍思屹, 徐梦洁, 解菁菁, 等. 红壤耕地重金属含量空间变异与潜在生态风险的不确定性——以鹰潭市余江区为例[J]. 天津农业科学, 2020, **26**(7): 55 – 61.
BAO Siyi, XU Mengjie, XIE Jingjing, *et al.* Spatial variability of heavy metal content in cultivated land of red soil and uncertainty of potential ecological risks: a case of Yujiang District, Yingtan City [J]. *Tianjin Agricultural Science*, 2020, **26**(7): 55 – 61.
- [40] 易文利, 董奇, 杨飞, 等. 宝鸡市不同功能区土壤重金属污染特征、来源及风险评价[J]. 生态环境学报, 2018, **27**(11): 2142 – 2149.
YI Wenli, DONG Qi, YANG Fei, *et al.* Pollution characteristics, sources analysis and potential ecological risk assessment of heavy metals in different functional zones of Baoji City [J]. *Ecology and Environment Science*, 2018, **27**(11): 2142 – 2149.
- [41] 康彩霞. GIS与地统计学支持下的哈尔滨市土壤重金属污染评价与空间分布特征研究[D]. 长春: 吉林大学, 2009.
KANG Caixia. *Study on Evaluation and Spatial Distribution Characteristics of Heavy Metal Pollution in Soil of Harbin Base on GIS and Geo-statistics* [D]. Changchun: Jilin University, 2009.
- [42] 谢贤健, 韩光中. 基于普通克里格和投影寻踪模型的城市土壤重金属污染评价[J]. 生态环境学报, 2017, **26**(9): 1584 – 1590.
XIE Xianjian, HAN Guangzhong. Evaluation of soil heavy metal pollution in Neijiang City based on ordinary Kriging and Projection Pursuit Model [J]. *Ecology and Environment Science*, 2017, **26**(9): 1584 – 1590.
- [43] 张俊叶, 刘晓东, 庞少东, 等. 物元可拓法用于南京城市绿地土壤重金属污染评价[J]. 环境科学研究, 2018, **31**(9): 1572 – 1579.
ZHANG Junye, LIU Xiaodong, PANG Shaodong, *et al.* Pollution assessment of heavy metals in urban green land soils in Nanjing City based on the Matter-Element Extension Model [J]. *Research of Environment Science*, 2018, **31**(9): 1572 – 1579.
- [44] LI Gang, SUN Guoxin, REN Yin, *et al.* Urban soil and human health: a review [J]. *European Journal of Soil Science*, 2018, **69**(1): 196 – 215.
- [45] YAO Lei, CHEN Liding, WEI Wei, *et al.* Potential reduction in urban runoff by green spaces in Beijing: a scenario analysis [J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2015, **14**(2): 300 – 308.
- [46] WANG Mei'e, LIU Rui, CHEN Weiping, *et al.* Effects of urbanization on heavy metal accumulation in surface soils, Beijing

- [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2018, **64**: 328 – 334.
- [47] LOVELL S T, TAYLOR J R. Supplying urban ecosystem services through multifunctional green infrastructure in the United States [J]. *Review of Landscape Ecology*, 2013, **28**(8): 1447 – 1463.
- [48] JIM C Y. Sustainable urban greening strategies for compact cities in developing and developed economies [J]. *Urban Ecosystems*, 2013, **16**(4): 741 – 761.
- [49] ŁOPUCKI R, KIERSZTYN A. Urban green space conservation and management based on biodiversity of terrestrial fauna: a decision support tool [J]. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2015, **14**(3): 508 – 518.
- [50] TRESCH S, FREY D, le BAYON R, *et al.* Litter decomposition driven by soil fauna, plant diversity and soil management in urban gardens [J]. *Science of the Total Environment*, 2019, **658**: 1614 – 1629.
- [51] KABISCH N. Ecosystem service implementation and governance challenges in urban green space planning: the case of Berlin, Germany [J]. *Land Use Policy*, 2015, **42**: 557 – 567.
- [52] MILLS J G, BISSETT A, GELLIE N J C, *et al.* Revegetation of urban green space rewilds soil microbiotas with implications for human health and urban design [J]. *Restoration Ecology*, 2020, **28**(S4): 322 – 334.
- [53] LIU Kun, YANG Shan, WANG Jun, *et al.* Seasonal pollution characteristics of heavy metals in different green space [J]. *Environment Impact Assessment*, 2018, **40**(1): 73 – 77.
- [54] WANG Peijiang, ZHENG Haifeng, REN Zhibin, *et al.* Effects of urbanization, soil property and vegetation configuration on soil infiltration of urban forest in Changchun, northeast China [J]. *Chinese Geographical Science*, 2018, **28**(3): 482 – 494.
- [55] LEE A C K, MAHESWARAN R. The health benefits of urban green spaces: a review of the evidence [J]. *Journal of Public Health*, 2011, **33**(2): 212 – 222.
- [56] WOLCH J R, BYRNE J, NEWELL J P. Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities ‘just green enough’ [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2014, **125**: 234 – 244.
- [57] DIENEKE S B, PIET O, LIESBET D, *et al.* Indicators to support healthy urban gardening in urban management [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, **621**: 863 – 871.
- [58] BRENDA B L, MONIKA H E. Global social and environmental change drives the management and delivery of ecosystem services from urban gardens: a case study from central coast, California [J/OL]. *Global Environment Change*, 2020, **60**: 102006 [2022-20-12]. doi:10.1016/j.gloenvcha.2019.102006.