



DOI: 10.5846/stxb202107131880

马致远, 雷静品, 黄金莲, 史胜青, 胡琛. 中国-中东欧国家森林生态系统研究重点对比及合作方向分析——基于文献计量研究. 生态学报, 2022, 42(9): 3856-3868.

中国-中东欧国家森林生态系统研究重点对比及合作方向分析 ——基于文献计量研究

马致远¹, 雷静品^{1,2,*}, 黄金莲¹, 史胜青¹, 胡琛¹

1 中国林业科学研究院林业研究所 国家林业和草原局林木培育重点实验室, 北京 100091

2 南京林业大学 南方现代林业协同创新中心, 南京 210037

摘要: 中国-中东欧国家林业合作(17+1 林业合作)是中国-中东欧国家合作的重要组成部分。为了明确双方林业研究的重点, 使 17+1 林业合作更有针对性的开展, 通过比较中国和中东欧 17 国森林生态系统研究状况, 探究中国和中东欧 17 国森林生态系统研究的共同方向和领域, 为中国-中东欧国家林业合作提供支撑。采用文献计量分析软件 Citespace 和 VOSviewer 对 Web of Science 核心库收录的中国和中东欧 17 国在 2016—2020 年期间发表的论文进行比较分析, 内容涵盖国家、研究机构、作者、关键词的共现分析和关键词突现分析。分析结果显示: ①中东欧 17 个国家之间的森林生态系统研究论文发表状况差异明显, 其中波兰和捷克两国在森林生态系统研究领域发表论文数量最多, 发文量分别占中东欧国家发文总量的 26.91% 和 23.52%, 篇均被引频次分别为 8.46 次/篇和 9.85 次/篇。②中国森林生态系统研究发表论文数量 12951 篇, 高于中东欧国家总和 8952 篇, 篇均被引用频次为 8.58 次/篇, 低于中东欧国家平均值 9.90 次/篇。③气候变化、生物多样性、森林土壤是中国与中东欧国家共同的研究重点。④中国的研究重点还包括人工林质量改善等。中东欧国家的研究重点还包括重金属, 主要表现在重金属污染、评估及土壤和植被修复。通过对中国和中东欧国家森林生态系统研究领域发表的论文分析, 为中国与中东欧国家林业合作提供以下建议: 中国与中东欧国家开展林业研究合作, 在气候变化方面的合作对象有波兰科学院、华沙大学、捷克生命科学大学; 生物多样性方面的合作对象有捷克生命科学大学、捷克科学院、波兰科学院; 土壤微生物方面的合作对象有塔尔图大学、波兰科学院; 土壤重金属方面研究的合作对象有克拉科夫农业大学、波兰科学院、波兰格但斯克大学; 病虫害防治方面的合作对象有捷克生命科学大学。

关键词: 中东欧国家; 森林生态系统研究; 文献计量学

中东欧 17 国是中国“一带一路”倡议的对接区以及通往欧洲大陆的门户。中东欧 17 国森林资源丰富, 是传统的林产工业加工基地, 基础设施相对完善, 与中国林业优势互补性强, 合作潜力大^[1-2]。2015 年 11 月 5 日, 中国与中东欧国家林业合作协调机制正式启动^[3]。到目前为止, 已经对中东欧国家林业投资环境、林业发展现状、旅游动态竞争力、林产品贸易等开展了相关研究^[4-7]。但关于中东欧国家林业科研状况的研究不足, 对双方林业研究的重点领域和方向缺乏系统性分析, 在一定程度上束缚了双方林业研究的深入合作。为推动中国与中东欧国家林业研究合作, 落实 17+1 林业合作机制, 有必要对中国与中东欧国家林业研究状况进行比较与分析, 为双方林业研究合作提供基础信息。

基金项目: 中国-中东欧林业合作联合研究中心平台构建(2018Q00161)

收稿日期: 2021-07-13; **网络出版日期:** 2021-11-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: leijp@caf.ac.cn

森林生态系统作为陆地生态系统的主体,在为人提供物质产品、气候调节、支持生物多样性等方面发挥重要作用。然而,气候变化、氮沉降、生物多样性丧失等全球性环境问题,威胁着中国与中东欧国家森林生态系统健康与林业可持续发展^[8-10]。如何推进森林可持续经营,提高森林生态系统服务功能是中国与中东欧国家林业发展的共同目标。中东欧 17 国森林资源丰富,森林分布地带性明显,森林类型包括温带阔叶林、地中海森林和山地森林。中东欧 17 国森林总面积为 49.62 万 km²,森林覆盖率达 34.5%,森林单位面积蓄积量为 230m³/hm²,高于我国的 87m³/hm²^[11]。中国与中东欧 17 国,自然资源禀赋不同,优势互补性强,开展森林生态系统研究合作是落实中国-中东欧国家林业合作的重要环节,也是双方的共同愿景。

文献计量学方法是对文献进行一系列的统计工作以获得必要的数,并通过数据分析从中找出变化规律,以分析科学研究发展状况,预测发展趋势,确定研究热点的研究方法^[12],目前已广泛应用于生命科学、环境科学、医学等多个领域^[13]。本文通过文献计量学方法,分析中国和中东欧国家森林生态系统研究的发展状况、研究热点、优势领域、主导机构与代表性专家等信息,为中国-中东欧国家林业合作提供新的方向与视角,为双方林业研究合作提供指导与建议。

1 数据来源与分析方法

本文分析的文献数据来源于美国汤森路透公司(Thomson Reuters)Web of Science 数据库核心合集。检索主题词(forest * or forestry *) not (random forest),语言选择:English;文献类型:Article;时间:2016—2020 年;检索地址栏分别选择中国及中东欧 17 国,共检索出 24706 篇文献,截至 2021 年 4 月 23 日。通过全记录方式导出,导出内容包括每篇文献的标题、作者、摘要、关键词、参考文献等信息。这些文献存在研究领域的不相关性,因此需要对初步获取的文献进行分析筛选。首先,剔除不相关期刊论文 1926 篇,得到 22780 篇;然后,对每一篇论文的摘要进行浏览,人工筛选剔除重复和研究内容与林业不相关的文献,最终得到相关文献 21903 篇,中国 12951 篇、中东欧国家 8952 篇。本文采用 Citespace 5.7.R5 和 VOSviewer 1.6.16 对研究机构、国家、作者、关键词网络进行可视化分析和关键词突现分析。

2 结果

2.1 中国-中东欧国家森林生态系统研究概况

2.1.1 发文量概况

文献数量和被引频次是衡量某一学科或领域研究进展的重要指标,能在一定程度上反映一个国家或地区的整体科研实力和影响力。本文对中国与中东欧 17 国 2016—2020 年间森林生态系统研究领域发表的论文分析,结果表明中国与中东欧 17 国森林生态系统研究发表论文数量不断上升,中国增长速度快于中东欧 17 国。中国在 2016 年—2020 年间森林生态系统研究发表论文数量均高于中东欧 17 国发表论文数量的总和(图 1)。

中东欧国家中,波兰和捷克两个国家在森林生态系统研究领域发表论文数量上占明显优势,分别占该地区总量的 26.91%和 23.52%。斯洛伐克、罗马尼亚、匈牙利、爱沙尼亚、希腊在森林生态系统研究领域发表论文分别占该地区总量的 7.32%、6.37%、6.09%、5.79%、5.57%。斯洛文尼亚、塞尔维亚、克罗地亚、保加利亚、立陶宛、拉脱维亚、波黑、黑山、北马其顿、阿尔巴尼亚,在森林生态系统研究领域发表论文数量占该地区总量的比重均低于 5%(图 2)。

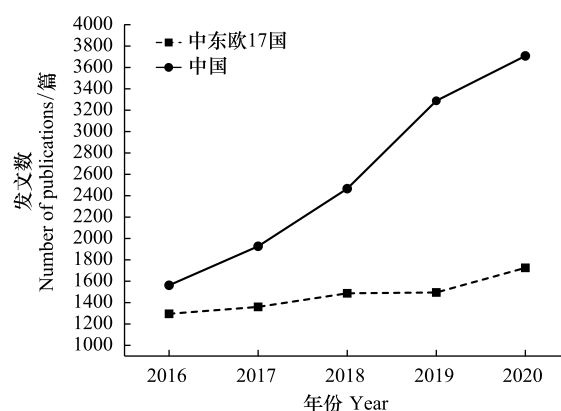


图 1 2016—2020 年森林生态系统研究发文量

Fig. 1 Number of publications on forest ecosystem research during 2016—2020

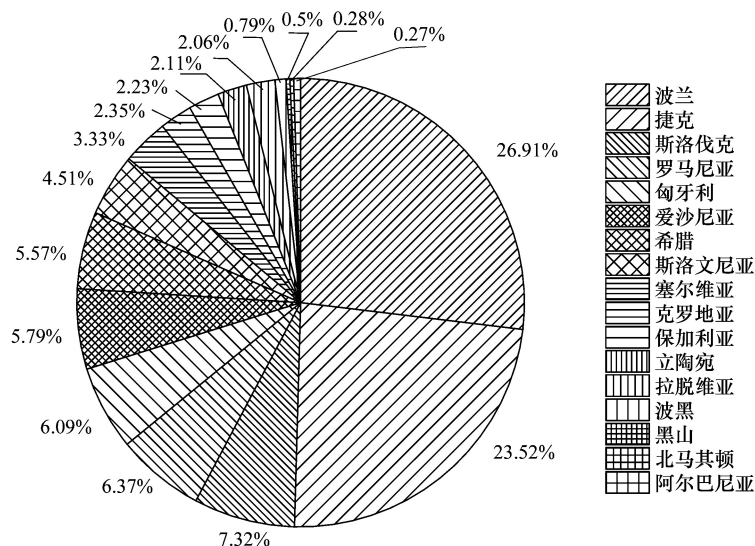


图2 中东欧17国发文量比重

Fig.2 Percentage of papers issued by 17 countries in Central and Eastern Europe

在2016—2020年间,中国森林生态系统研究发表论文数量达12951篇,高于中东欧17国总和(8952篇),篇均被引用频次为8.58次/篇,低于中东欧国家平均水平(9.90次/篇)。中东欧17国中发表论文数最多的国家波兰和捷克,分别发表了2409篇和2106篇,篇均被引用频次分别为8.46次/篇和9.85次/篇。斯洛伐克、罗马尼亚、匈牙利、爱沙尼亚、希腊、斯洛文尼亚、克罗地亚、保加利亚、立陶宛、拉脱维亚,发表论文数在100—700篇之间,其中爱沙尼亚和保加利亚两国篇均被引用频次为13.95次/篇和12.61次/篇,分别排名本研究的18个国家中的第二和第三。波黑、北马其顿、黑山、阿尔巴尼亚发文量最少,五年累计发文量均低于100篇。其中,北马其顿篇均被引用频次为19.27次/篇,在本研究的18个国家中排名第一(表1)。

表1 2016—2020年中国与中东欧国家森林生态系统研究发文概况

Table 1 Status of forest ecosystem research in China and Central and Eastern European Countries during 2016—2020

国家/地区 Countries and regions	发文量/篇 Number of publications	总被引用量/次 Total cited times	篇均被引频次/(次/篇) Average cited times
中国 China	12951	111169	8.58
波兰 Poland	2409	20372	8.46
捷克 Czech	2106	20754	9.85
斯洛伐克 Slovakia	655	6353	9.70
罗马尼亚 Romania	570	6180	10.84
匈牙利 Hungary	545	6096	11.19
爱沙尼亚 Estonia	518	7228	13.95
希腊 Greece	499	5644	11.31
斯洛文尼亚 Slovenia	404	4438	10.99
塞尔维亚 Serbia	298	2307	7.74
克罗地亚 Croatia	210	1975	9.40
保加利亚 Bulgaria	200	2431	12.16
立陶宛 Lithuania	189	1779	9.41
拉脱维亚 Latvia	184	1237	6.72
波黑 Bosnia & H	71	698	9.83
北马其顿 North Macedonia	45	867	19.27
黑山 Montenegro	25	116	4.64
阿尔巴尼亚 Albania	24	186	7.75
中东欧国家 Central and Eastern European countries	8952	88661	9.90

2.1.2 中国-中东欧国家间合作基础

通过对中国与中东欧国家森林生态系统研究合作关系分析,对深化双方已有合作和开展新的合作关系提供参考。本研究采用 VOSviewer 可视化软件作出 2016—2020 年中国和中东欧 17 国间森林生态系统研究的合作关系图。图中节点大小表示该国家在森林生态系统研究领域发表论文的数量,连接线的粗细反映了各国之间合作的紧密度。其中,中国与波兰、捷克、爱沙尼亚在森林生态系统研究领域的合作关系最为紧密(图 3)。

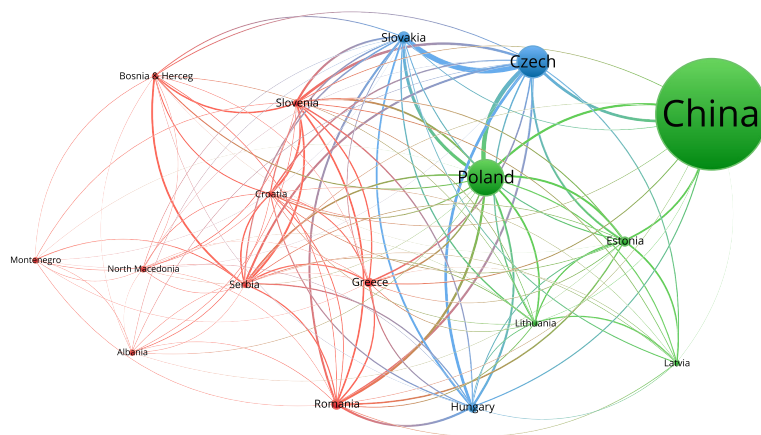


图 3 2016—2020 年中国与中东欧国家森林生态系统研究合作网

Fig.3 Cooperation between China and Central and Eastern European Countries in the field of forest ecosystem research during 2016—2020

Albania: 阿尔巴尼亚; Bosnia & H: 波黑; Bulgaria: 保加利亚; China: 中国; Croatia: 克罗地亚; Czech: 捷克; Estonia: 爱沙尼亚; Greece: 希腊; Hungary: 匈牙利; Latvia: 拉脱维亚; Lithuanian: 立陶宛; Montenegro: 黑山; North Macedonia: 北马其顿; Poland: 波兰; Romania: 罗马尼亚; Serbia: 塞尔维亚; Slovenia: 斯洛文尼亚; Slovakia: 斯洛伐克

2.2 研究力量分布与合作基础

2.2.1 主要研究机构分析

中国-中东欧国家林业研究合作在 17+1 林业合作机制的基础上继续深化合作。了解中国与中东欧国家研究机构间已有的合作关系,在已建立的合作基础上深化合作,是推动双方林业研究合作的重要途径。本研究采用 VOSviewer 可视化软件分析 2016—2020 年,中国和中东欧 17 国主要研究机构之间的合作关系图。图中节点大小表示该机构的发文量,连接线的粗细反映了合作的紧密度。在 2016—2020 年期间,波兰科学院、捷克科学院、捷克生命科学大学、塔尔图大学等中东欧国家科研机构均与中国科研机构有合作关系,其主要合作机构有中国科学院、中国科学院大学、中国林业科学研究院、北京林业大学等(图 4)。

统计 2016—2020 年森林生态系统研究领域发表论文数量前 10 的机构,以了解中国森林生态系统研究中占主导的研究机构(表 2)。其中,中国科学院和中国科学院大学在森林生态系统研究领域发表论文的数量位居前两位,分别占发文量前 10 机构发文总量的 33.1% 和 16%,发文量分别为 2713 篇和 1312 篇,远高于排名第三的北京林业大学(579 篇)。

发表论文数量在一定程度上反映了研究机构的科研实力。统计中东欧 17 国 2016—2020 年森林生态系统研究领域发表论文数量前 10 的机构(表 3),了解中东欧国家森林生态系统研究中占主导的研究机构,为中国-中东欧林业研究的合作寻找潜在合作目标。中东欧国家中,在森林生态系统研究领域发表论文数量前 10 的机构有 6 个来自于捷克,斯洛伐克 2 个,爱沙尼亚 1 个,波兰 1 个。发文量前 3 的机构分别为:波兰科学院(521 篇)、捷克科学院(415 篇)、捷克生命科学大学(388 篇)。

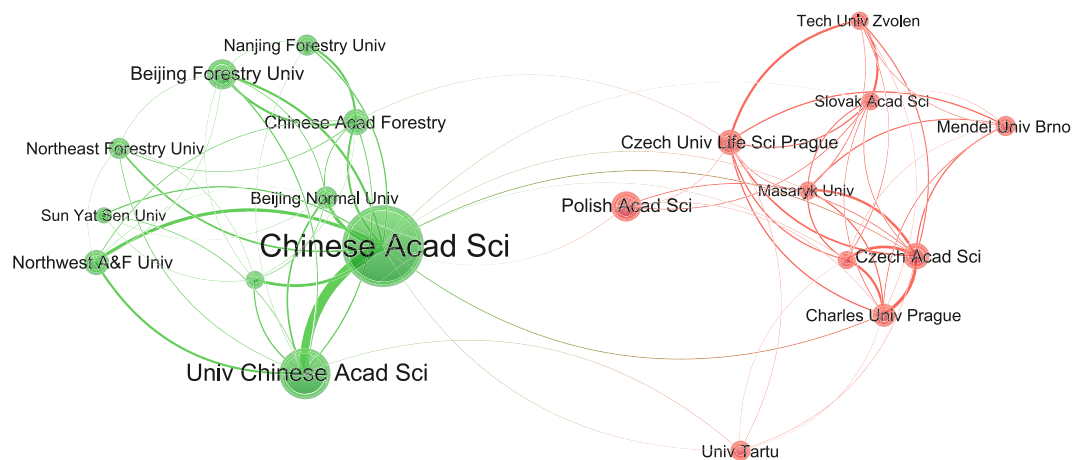


图 4 2016—2020 年中国与中东欧国家森林生态系统研究机构合作网

Fig.4 Cooperation of forest ecosystem research institutions between China and 17 Central and Eastern European countries during 2016—2020

Beijing Forestry Univ: 北京林业大学; Beijing Normal Univ: 北京师范大学; Charles Univ Prague: 查尔斯大学; Chinese Acad Forestry: 中国林业科学研究院; Chinese Acad Sci: 中国科学院; Czech Acad of Sci: 捷克科学院; Czech Univ Life Sci Prague: 捷克生命科学大学; Masaryk Univ: 马萨里克大学; Mendel Univ Brno: 布尔诺孟德尔大学; Nanjing Forestry Univ: 南京林业大学; Northeast Forestry Univ: 东北林业大学; Northwest A&F Univ: 西北农林科技大学; Polish Acad of Sci: 波兰科学院; Slovak Acad of Sci: 斯洛伐克科学院; Sun Yat Sen Univ: 中山大学; Tech Univ Zvolen: 兹沃伦技术大学; Univ Chinese Academy Sci: 中国科学院大学; Univ Tartu: 塔尔图大学

表 2 2016—2020 年中国森林生态系统研究发文量前 10 机构

Table 2 Top 10 institutions of China in the volume of publications in the field of forest ecosystem research during 2016—2020

	中国机构 Chinese research institutes	发文量 Number of publications	占比% Proportion
中国科学院	Chinese Academy of Sciences	2713	33.1
中国科学院大学	University Chinese Academy of Sciences	1312	16
北京林业大学	Beijing Forestry University	579	7.1
中国林业科学研究院	Chinese Academy of Forestry	443	5.4
西北农林科技大学	Northwest A&F University	418	5.1
北京师范大学	Beijing Normal University	333	4.1
东北林业大学	Northeast Forestry University	308	3.8
南京林业大学	Nanjing Forestry University	288	3.5
北京大学	Peking University	218	2.7
中山大学	Sun Yat Sen University	192	2.3

2.2.2 主要作者分析

统计中东欧国家具有代表性的专家,明确其所在研究机构和主要研究方向,为中国-中东欧林业研究合作提供精确合作目标。2016—2020 年中东欧国家在森林生态系统研究领域发表论文数量前 10 的专家中有 5 位来自捷克,其中 3 位来自捷克科学院,其余两位分别来自马萨里克大学和捷克生命科学大学。3 位来自波兰,分别来自波兰科学院、华沙大学、波兰格但斯克大学。发文量前 10 的作者中,排名前三的分别是:拉脱维亚国家森林研究所学者 Aris Jansons,发表论文 46 篇,主要研究方向为森林生态学、植物学;捷克科学院学者 Petr Baldrian,发表论文 44 篇,主要研究方向为土壤微生物学;波兰科学院学者 Andrzej M Jagodzinski,发表论文 43 篇,主要研究方向为森林生态学、土壤学(表 4)。

表 3 2016—2020 年中东欧国家森林生态系统研究发文量前 10 机构

Table 3 Top 10 institutions of Central and Eastern European Countries in volume of publications in the field of forest ecosystem research during 2016—2020

中东欧 17 国研究机构 Research institutes of Central and Eastern European countries		发文量 Number of publications	占比% Proportion
波兰科学院(波兰)	Polish Academy of Sciences	521	7.129
捷克科学院(捷克)	Czech Academy of Sciences	415	5.679
捷克生命科学大学(捷克)	Czech University Life Sciences Prague	388	5.309
查尔斯大学(捷克)	Charles University Prague	334	4.57
塔尔图大学(爱沙尼亚)	University Tartu	280	3.831
布尔诺孟德尔大学(捷克)	Mendel University Brno	279	3.818
兹沃伦技术大学(斯洛伐克)	Tech University Zvolen	229	3.134
南波西米亚大学(捷克)	University South Bohemia	226	3.093
马萨里克大学(捷克)	Masaryk University	224	3.065
斯洛伐克科学院(斯洛伐克)	Slovak Academy of Sciences	222	3.038

表 4 2016—2020 年中东欧国家森林生态系统研究发文量前 10 作者

Table 4 Top10 high yield authors of Central and Eastern European Countries in the field of forest ecosystem research during 2016—2020

作者 Author	发文量 Number of publication	所在机构 Institution	主要研究方向 Research direction
Aris Jansons	46	拉脱维亚国家森林研究所(拉脱维亚)	森林生态学、植物学
Petr Baldrian	44	捷克科学院(捷克)	土壤微生物学
Andrzej M Jagodzinski	43	波兰科学院(波兰)	森林生态学、土壤学
Miroslav Svoboda	42	捷克生命科学大学(捷克)	森林生态学、生物多样性与保护
Bogdan Jaroszewicz	34	华沙大学(波兰)	森林生态学、生物多样性与保护
Milan Chytrý	33	马萨里克大学(捷克)	森林生态学、生物入侵
Leho Tedersoo	29	塔尔图大学(爱沙尼亚)	土壤微生物学
Ulf Buntgen	28	捷克科学院(捷克)	森林生态学
Jerzy Falandysz	28	波兰格但斯克大学(波兰)	土壤微生物学、重金属
Vojtech Novotný	27	捷克科学院(捷克)	森林生态学、植物保护

2.3 中国-中东欧国家森林生态系统研究热点与趋势分析

2.3.1 森林生态系统研究关键词共现分析

关键词反映了论文的主题,通过分析关键词能够在一定程度了解学科的发展动态。本研究采用 VOSviewer 软件,对中国和中东欧国家森林生态系统研究关键词进行关键词聚类分析,将中国和中东欧国家森林生态系统研究分为四个类别。其中,气候变化、生物多样性、森林土壤是中国与中东欧国家森林生态系统研究的共同关注的研究热点。

在中国森林生态系统研究关键词共现图谱中,节点大小表示该关键词的出现频次,不同颜色表示不同聚类(图 5)。黄色部分为聚类 1,主要为气候变化对森林生态系统造成的影响方面的研究,高频关键词包括:温度(频次为 346)、降水(频次为 211)、干旱(频次为 202)等。红色部分为聚类 2,主要为以森林土壤方面为主的研究,高频关键词包括:碳(频次为 547)、氮(频次为 524)、生物量(频次为 420)、分解(频次为 225)等;绿色部分为聚类 3,主要为以生物多样性为主的研究,高频关键词包括:保护(频次为 260)、区域(频次为 241)、生态系统服务(频次为 207)等;蓝色部分为聚类 4,主要为以人工林方面为主的研究,高频关键词包括:黄土高原(频次为 349)、造林(频次为 185)等。

在中东欧国家森林生态系统研究关键词共现图谱中,节点大小表示该关键词的出现频次,不同颜色表示不同聚类(图 6)。红色部分为聚类 1,主要为以生物多样性为主的研究,高频关键词包括:保护(频次为

373)、群落(频次为 301)、种群(频次为 234)等;绿色部分为聚类 2,主要为以气候变化为主的研究,高频关键词包括:生长(频次为 451)、山毛榉(频次为 324)、干旱(频次为 179)等;蓝色部分为聚类 3,主要以森林土壤方面为主的研究,高频关键词包括:碳(频次为 217)、生物量(频次为 181)、真菌(频次为 127)等;黄色部分为聚类 4,主要为以森林动态方面为主的研究,高频关键词包括:干扰(频次为 206)、动态(频次为 401)等。

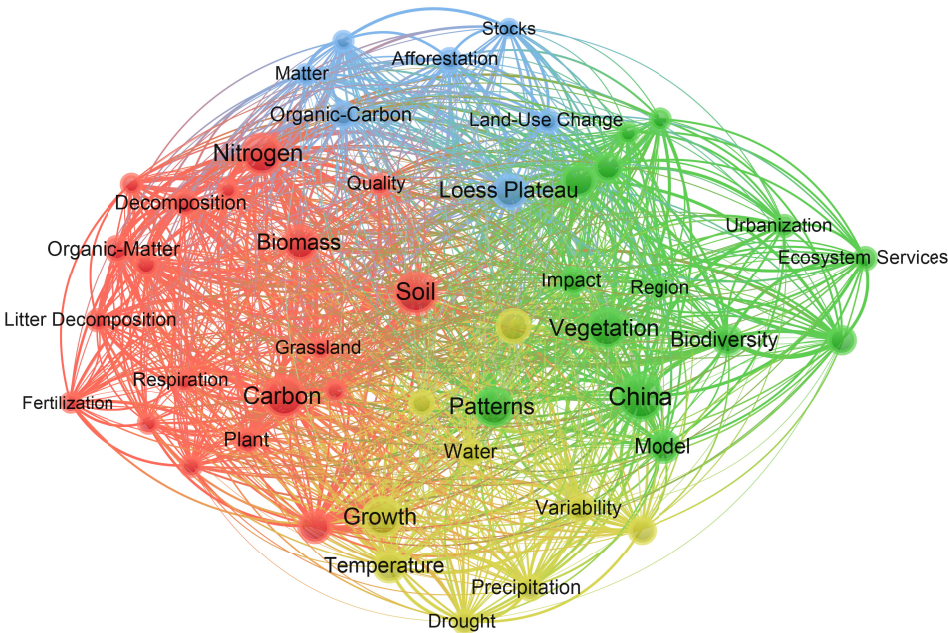


图 5 2016—2020 年中国森林生态系统研究热点分布

Fig.5 Distribution of hot spots in the field of forest ecosystem research during the period from 2016 to 2020 in China

Afforestation: 造林; Biodiversity: 生物多样性; Biomass: 生物量; Carbon: 碳; Conservation: 保护; Decomposition: 分解; Drought: 干旱; Ecosystem Service: 生态系统服务; Fertilization: 施肥; Grassland: 草原; Growth: 生长; Impact: 影响; Land-Use Change: 土地利用变化; Litter Decomposition: 凋落物分解; Loess Plateau: 黄土高原; Nitrogen: 氮; Matter: 物质; Model: 模型; Organic-Matter: 有机质; Plant: 植物; Precipitation: 降水; Quality: 质量; Region: 范围; Respiration: 呼吸; Soil: 土壤; Stocks: 储量; Temperature: 温度; Urbanization: 城市化; Variability: 变异性; Vegetation: 植被; Water: 水

表 5 2016—2020 年中国森林生态系统研究高频关键词

Table 5 High-frequency keywords in China forest ecosystem research during 2016—2020

关键词 Keywords	频次 Frequencies	关键词 Keywords	频次 Frequencies
气候变化 Climate change	1120	分解 Decomposition	225
生物多样性 Biodiversity	883	微生物群落 Microbial community	224
土地利用变化 Land use change	767	水 Water	220
动态 Dynamics	652	储量 Storage	213
土壤 Soil	610	降水 Precipitation	211
影响 Impact	581	分类 Classification	210
碳 Carbon	547	人工林 Plantation	208
氮 Nitrogen	524	生态系统服务 Ecosystem service	207
模式 Pattern	516	封存 Sequestration	204
植被 Vegetation	505	干旱 Drought	202
生长 Growth	496	草原 Grassland	202
模型 Model	432	范围 Region	193

续表

关键词 Keywords	频次 Frequencies	关键词 Keywords	频次 Frequencies
生物量 Biomass	420	造林 Afforestation	185
有机质 Organic matter	419	微生物生物量 Microbial biomass	182
响应 Response	356	景观 Landscape	174
生态系统 Ecosystem	352	恢复 Restoration	169
黄土高原 Loess plateau	349	系统 System	167
温度 Temperature	346	城市化 Urbanization	163
植物 Plant	340	沉积物 Deposition	162
森林经理 Forests management	273	呼吸 Respiration	161
树 Tree	260	质量 Quality	160
保护 Conservation	260	酶活性 Enzyme activity	158
变异性 Variability	256	雨林 Rain forest	150
面积 Area	241	凋落物分解 Litter decomposition	147
群落 Community	228	磷 Phosphorus	145

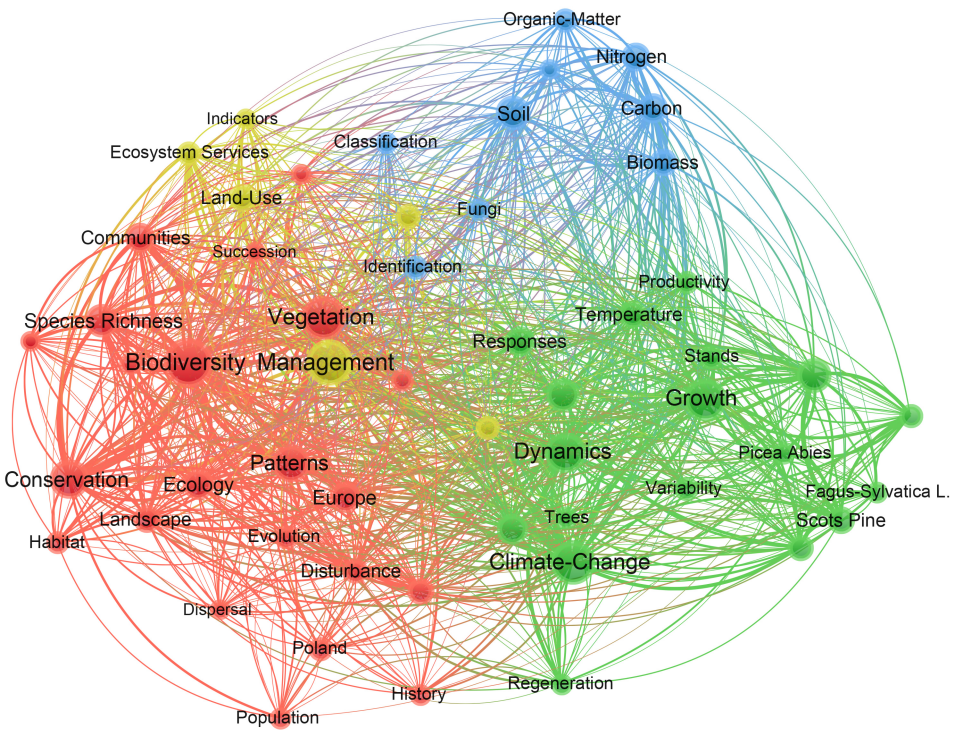


图 6 2016—2020 年中东欧国家森林生态系统研究热点分布

Fig.6 Distribution of hot spots in the field of forest ecosystem research during the period from 2016 to 2020 in Central and Eastern European Countries

Biodiversity: 生物多样性; Biomass: 生物量; Carbon: 碳; Classification: 分类; Climate Change: 气候变化; Communities: 群落; Conservation: 保护; Dynamics: 动态; Dispersal: 传播; Disturbance: 干扰; Ecology: 生态学; Ecosystem Service: 生态系统服务; Europe: 欧洲; Evolution: 演变; *Fagus Sylvatica L.*: 欧洲山毛榉; Fungi: 真菌; Growth: 生长; Habitat: 栖息地; Identification: 识别; Indicator: 指标; Landscape: 景观; Land-Use: 土地利用; Management: 管理; Model: 模型; Organic Matter: 有机质; Patterns: 模式; *Picea Aby*: 挪威云杉; Poland: 波兰; Population: 种群; Productivity: 生产力; Response: 响应; Scots Pine: 欧洲赤松; Soil: 土壤; Species Richness: 物种丰富度; Stand: 生境; Succession: 演替; Temperature: 温度; Trees: 树木; Vegetation: 植被; Variability: 变异性

表 6 2016—2020 年中东欧国家森林生态系统研究高频关键词

Table 6 High-frequency keywords in China forest ecosystem research during 2016—2020

关键词 Keywords	频次 Frequencies	关键词 Keywords	频次 Frequencies
生物多样性 Biodiversity	1317	生物量 Bioma	181
管理 Management	679	欧洲赤松 Scots pine	180
气候变化 Climate change	613	干旱 Drought	179
挪威云杉 <i>Picea aby</i>	500	生境 Stand	178
土壤 Soil	495	栖息地 Habitat	172
植被 Vegetation	458	有机质 Organic matter	159
生长 Growth	451	中欧 Central europe	159
动态 Dynamics	401	演变 Evolution	156
保护 Conservation	373	生态系统 Ecosystem	155
物种丰富度 Species richness	347	北方针叶林 Boreal forest	150
欧洲山毛榉 <i>Fagus sylvatica</i>	324	变异性 Variability	149
群落 Community	301	生态系统服务 Ecosystem Service	145
土地利用 Land use	248	面积 Area	143
欧洲 Europe	234	生产力 Productivity	140
种群 Population	234	波兰 Poland	140
景观 Landscape	232	重金属 Heavy metal	139
模型 Model	228	丰富度 Abundance	137
生态学 Ecology	227	真菌 Fungi	127
碳 Carbon	217	指标 Indicator	125
氮 Nitrogen	214	分类 Classification	114
响应 Response	207	欧洲赤松 <i>Pinus sylvestri</i>	112
温度 Temperature	207	历史 History	107
干扰 Disturbance	206	演替 Succession	106
密度 Density	199	系统发生 Phylogeny	106
鞘翅目 Coleoptera	186	分解 Decomposition	105

2.3.2 森林生态系统研究关键词突现分析

突现 Burst 是指短时间内出现频次明显增加的关键词,突现强度越大,说明关键词增长越快。通过对突现关键词的分析,了解在一定时间内,哪些关键词受到的关注度明显增加。本文分析了 2016—2020 年,中国和中东欧国家森林生态系统研究中出现的突现关键词(表 7),以了解中国和中东欧国家森林生态系统研究的前沿动态^[14]。利用 Citespace 软件中突变检测分析方法得到中国和中东欧 17 国森林生态系统研究突现关键词。

中国森林生态系统研究突现关键词,人工林方面有橡胶人工林(突现强度 7.17),主要围绕造林对森林生态系统影响和人工林改良开展。中国人工林面积大、增长快,面积位居世界第一^[15],而人工林的快速增长也伴随着一系列问题。长期以来关于人工林的研究是中国森林生态系统研究的重要方向之一,这是与中东欧国家的不同之处。人工林扩张伴随着生物多样性减少、地力衰退,生态效益低下等问题,如何改善人工林质量,提高生态系统可持续性 是人工林研究的重点问题^[16—19]。

物质循环是森林土壤研究的重点,突现关键词有根呼吸(突现强度 7.59),有机质分解(突现强度 6.35)等。土壤呼吸是森林碳循环的重要环节,研究气候变化和氮沉降背景下土壤呼吸的变化是了解陆地生态系统碳循环的关键。因此,土壤呼吸对气候变化和氮沉降响应成为近年来的研究热点,大量研究围绕植物根呼吸、微生物呼吸开展^[20—23]。

中东欧国家森林生态系统研究热点,汞(突现强度 5.58)、铅(突现强度 3.36)等重金属污染及受污染的土壤和植被修复等。波兰等中东欧国家,因工业生产等人为因素造成当地汞、铅等重金属污染,相关研究围绕重金属污染评估以及修复开展^[24—26]。森林动态的研究主要围绕气候变化、人为活动因素对森林生态系统的影响。在中东欧国家中,防止生物灾害对生物多样性破坏是当地的研究热点之一。如欧洲针叶林区,云杉八齿小蠹 (*Ips typographus*) 等鞘翅目昆虫暴发对当地森林的威胁。因此,中东欧国家开展了大量的森林干扰方面

的研究。捷克生命科学大学开展了鞘翅目昆虫相关研究。研究包括昆虫生理生态特征,通过森林经营措施结合林业遥感技术,对森林病虫害暴发进行预测、监控、防治^[27—29]。

表 7 2016—2020 年中国森林生态系统研究关键词突现表

Table 7 Burst keywords in forest ecosystem research during 2016—2020 in China

关键词 Keyword	突现强度 Strength	起始年份 Begin	结束年份 End
根呼吸 Root respiration	7.59	2016	2017
橡胶人工林 Rubber plantation	7.17	2016	2017
木本植物 Woody plant	7.05	2017	2018
热带雨林 Tropical rain forest	6.8	2016	2018
脱氧核糖核苷酸 Deoxyribonucleic acid	6.75	2016	2017
有机质分解 Organic matter decomposition	6.35	2017	2018
异速生长方程 Allometric equation	6.33	2016	2017
海拔梯度 Altitudinal gradient	5.89	2016	2018
蒸气压差 Vapor pressure deficit	5.64	2017	2018
寿命 Life span	5.48	2016	2017
微生物群落组成 Microbial community composition	5.29	2017	2018
水分胁迫 Water stress	5.29	2017	2018
捕食 Predation	5.27	2016	2017
物种组成 Species composition	5.15	2016	2017
气孔导度 Stomatal conductance	5.14	2016	2017
毒性 Toxicity	5.06	2016	2017
淡水 Fresh water	5.06	2016	2017
流量 Flux	5.03	2017	2018
食物网 Food web	4.64	2016	2017
微生物群落 Microbial community	4.58	2017	2018

中国和中东欧国家共同研究热点有,异速生长模型在林业方面的应用。评估气候变化对森林生态系统碳、生物多样性、碳汇能力的影响^[30—32],预测气候变化对生态系统稳定的潜在威胁,以及如何合理开展森林可持续经营是森林生态系统研究的热点。构建异速生长模型的重要目的在于对生物量进行准确评估^[33—34]。

表 8 中东欧国家森林生态系统研究关键词突现表

Table 8 Burst keywords in forest ecosystem research during 2016—2020 in Central and Eastern European Countries

关键词 Keyword	突现强度 Strength	起始年份 Begin	结束年份 End
汞 Mercury	5.58	2016	2017
土地覆盖变化 Land cover change	4.99	2018	2020
湿地 Wetland	4.99	2018	2020
森林动态 Forest dynamics	4.96	2017	2018
生物学指标 Bioindicator	4.68	2017	2018
异速生长方程 Allometric equation	4.41	2018	2020
产量 Crop	4.34	2016	2017
陆地生态系统 Terrestrial ecosystem	4.13	2017	2018
开垦 Reclamation	4.11	2018	2020
微卫星标记 Microsatellite marker	4.03	2016	2017
欧洲冷杉 <i>Abies alba</i>	3.83	2017	2018
山地森林 Mountain forest	3.82	2016	2017
哺乳动物 Mammal	3.82	2018	2020
植被变化 Vegetation change	3.82	2018	2020
种群动态 Population dynamics	3.75	2016	2017
螨 Mite	3.72	2016	2017
铅 Lead	3.36	2016	2017
碳储量 Carbon storage	3.23	2018	2020
伞菌 Mushroom	3.2	2016	2017
苔藓 Bryophyte	2.74	2016	2017

3 结论与建议

本研究结果显示,捷克与波兰两国在森林生态系统研究方面发表高水平论文数量多,研究领域广,是与中国开展林业研究合作的重要对象。爱沙尼亚森林生态系统研究特色突出,研究的重点方向为土壤微生物,在该领域发表大量高质量论文,篇均被引用频次高,是开展土壤微生物研究合作的潜在对象。保加利亚、北马其顿、波黑较少主导研究,主要参与他国主导的高质量研究,同时由于该国发文量少,所以篇均引用频次高。从研究方向上看,气候变化、生物多样性和土壤是中国与中东欧国家共同关注的研究方向,同时也是中国与中东欧国家潜在的林业合作方向。

本研究通过对中东欧国家森林生态系统研究领域发表的论文分析,为中国与中东欧国家林业合作提供以下建议:

(1) 气候变化是全球生态学研究共同议题,开展跨区域合作研究具有必要性。气候变化,尤其是干旱对植物生理生态学特征,以及对生态系统碳循环影响的研究,受到中国与中东欧国家学者的共同关注^[35]。因此,中国与中东欧可以开展跨区域研究,从大尺度上探究气候变化对森林生态系统的影响。同时,中东欧主要研究对象有云杉属 *Picea*、冷杉属 *Abies*、水青冈属 *Fagus*,这些属的树种在我国均有分布,研究气候变化对这些树种生理生态学特征的影响,开展引种试验,是中国与中东欧国家潜在的合作方向。中国与中东欧国家开展林业研究合作,在气候变化方面的潜在合作对象有,波兰科学院(代表性专家: Babst Flurin 和 Jagodzinski Andrzej)、华沙大学(代表性专家: Bogdan Jaroszewicz)、捷克生命科学大学(代表性专家: Miroslav Svoboda)。

(2) 中东欧国家关于生物多样性的研究重点是气候变化、氮沉降和生物入侵等对生物多样性的影响,以及森林生态系统生物多样性保护。在我国,小蠹虫、紫茎泽兰、松材线虫等入侵生物爆发,严重威胁森林生态系统健康。如何在全球气候变化,生物入侵事件频发的背景下保护当地生物多样性,维持生态系统可持续性是中国与中东欧国家林业研究的共同目标^[36-37]。对中国与中东欧国家共有物种保护的研究是中国与中东欧国家的合作方向。同时,对中国与中东欧已爆发或潜在威胁的入侵生物研究,建立入侵生物识别、监控与防治、风险评估数据库,有利于预防入侵生物爆发,减小入侵生物对森林生态系统造成的破坏,是双方合作的方向。生物多样性研究的潜在合作对象有捷克生命科学大学(代表性专家: Miroslav Svoboda)、捷克科学院(代表性专家: Hedl Radim)、波兰科学院(代表性专家: Jagodzinski Andrzej 和 Dyderski Marcin),病虫害防治的合作对象有捷克生命科学大学(代表性专家: Holusa Jaroslav)。

(3) 微生物作为森林生态系统物质循环的参与者,影响着森林生态系统养分分解与碳循环^[38]。研究不同生境条件下的土壤微生物对森林生态系统养分分解与碳循环的影响,是理解生态系统物质循环与能量流动的必要环节。因此,中国与中东欧国家可从微生物生物多样性、生境条件对森林生态系统养分分解和碳循环机制的影响等方面展开合作研究。在土壤微生物方面的潜在合作对象有塔尔图大学(代表性专家: Tedersoo Leho)、波兰科学院(代表性专家: Petr Baldrian)。

(4) 工业排放与采矿产生的重金属等有害物质对森林土壤的污染,在中东欧国家与中国的研究中均有报道,评估和缓解重金属污染对生态系统的影响是双方合作研究的方向。研究潜在合作对象有克拉科夫农业大学(代表性专家: Blonska Ewa)、波兰科学院(代表性专家: Magiera Tadeusz)、波兰格但斯克大学(代表性专家: Falandysz Jerzy)。

参考文献(References):

- [1] 江泽平,雷静品.中东欧国家林业概况.北京:中国林业出版社,2019: 1-227.
- [2] 张建龙.“16+1”为林业投资贸易合作提供新机遇——在中国-中东欧国家林业产业工商与投资研讨会上的致辞.中国林业产业,2016,(6): 8-9.
- [3] 焦玉海.中国与中东欧国家林业合作协调机制正式启动.中国绿色时报,2015-11-06(01).
- [4] 邓楠,雷静品,肖琼,熊敏,常二梅,江泽平.中东欧十六国林业投资环境比较分析.北京林业大学学报:社会科学版,2017,16(02):

76-81.

- [5] 李正红, 吴红梅. 中国与海上丝绸之路国家木质林产品进口贸易效率研究. 北京林业大学学报: 社会科学版, 2018, 17(01): 59-65.
- [6] 王燕琴, 陈洁, 顾亚丽. 中东欧地区林业发展现状及“16+1”合作前景分析. 林业资源管理, 2017, (1): 153-159.
- [7] 熊敏, 廖小平, 雷静品. 基于 WEF 的中国与中东欧旅游动态竞争力分析. 中南林业科技大学学报: 社会科学版, 2017, 11(02): 61-66.
- [8] Walna B, Kurzyca I. Evaluation of bulk deposition in protected woodland area in western poland. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2007, 131: 13-26.
- [9] Čermák P, Mikita M, Trnka P, Štěpánek F, Jurečka A, Kusbach J, Šebesta J. Changes of climate characteristics of forest altitudinal zones within the Czech Republic and their possible consequences for forest species composition. *Baltic Forestry*, 2018, 24(2): 234-248.
- [10] 杨玉盛. 全球环境变化对典型生态系统的影响研究: 现状、挑战与发展趋势. 生态学报, 2017, 37(01): 1-11.
- [11] FAO. Global Forest Resources Assessment. Rome: FAO, 2020.
- [12] Weingart P. Impact of bibliometrics upon the science system: Inadvertent consequences?. *Scientometrics*, 2005, 62 (1): 117-131.
- [13] Hou Q, Mao G Z, Zhao L, Du H B, Zuo J. Mapping the scientific research on life cycle assessment: a bibliometric analysis. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 2015, 20(4): 541-555.
- [14] Chen C M. CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 2006, 57(3): 359-377.
- [15] Chen C, Park T, Wang X H, Piao S L, Xu B D, Chaturvedi R K, Fuchs R, Brovkin V, Ciais P, Fensholt R, Tømmervik H, Bala G, Zhu Z C, Nemani R R, Myneni R B. China and India lead in greening of the world through land-use management. *Nature Sustainability*, 2019, 2(2): 122-129.
- [16] Chen C F, Liu W J, Jiang X J, Wu J E. Effects of rubber-based agroforestry systems on soil aggregation and associated soil organic carbon: Implications for land use. *Geoderma*, 2017, 299: 13-24.
- [17] 普慧梅, 王良梅. 不同经营模式下杨树人工林土壤溶解性有机碳的吸附行为. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2019, 43(02): 55-63.
- [18] 李萌, 陈永康, 徐浩成, 尤业明, 温远光, 朱宏光, 蔡道雄, 黄雪蔓. 不同间伐强度对南亚热带杉木人工林林下植物功能群的影响. 生态学报, 2020, 40(14): 4985-4993.
- [19] 刘先, 索沛蓿, 杜大俊, 刘雨晖, 胡亚林, 王玉哲. 连栽杉木人工林参与土壤碳氮转化过程酶活性及其与土壤理化因子的相关性. 生态学报, 2020, 40(01): 247-256.
- [20] Liu Y C, Liu S R, Wan S Q, Wang J X, Luan J W, Wang H. Differential responses of soil respiration to soil warming and experimental throughfall reduction in a transitional oak forest in central China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2016, 226-227: 186-198.
- [21] Peng Y F, Guo D L, Yang Y H. Global patterns of root dynamics under nitrogen enrichment. *Global Ecology & Biogeography*, 2017, 26(1): 102-114.
- [22] Zang H D, Wang J Y, Kuzyakov Y. N fertilization decreases soil organic matter decomposition in the rhizosphere. *Applied Soil Ecology*, 2016, 108: 47-53.
- [23] 王小平, 杨雪, 杨楠, 辛晓静, 曲耀冰, 赵念席, 高玉葆. 凋落物多样性及组成对凋落物分解及土壤微生物群落的影响——二氧化碳倍增条件下. 生态学报, 2020, 40(17): 6171-6178.
- [24] Árvay J, Demková L, Hauptvogel M, Michalko M, Bajčan D, Stanovič R, Tomáša J, Hrstková M, Trebichalský P. Assessment of environmental and health risks in former polymetallic ore mining and smelting area, Slovakia; Spatial distribution and accumulation of mercury in four different ecosystems. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2017, 144: 236-244.
- [25] Gworek B, Dmuchowski W, Koda E, Marecka M, Baczeńska A H, Brańgoszewska P, Sieczk A, Osiński P. Impact of the municipal solid waste Łubna landfill on environmental pollution by heavy metals. *Water*, 2016, 8(10): 470.
- [26] Siudek P, Kurzyca I, Siepak J. Atmospheric deposition of mercury in central Poland: Sources and seasonal trends. *Atmospheric Research*, 2016, 170: 14-22.
- [27] Fabryová A, Kostovík M, Díez-Méndez A, Jiménez-Gómez A, Celador-Lera L, Saati-Santamaría Z, Sechovcová H, Menéndez E, Kolařík M, García-Fraile P. On the bright side of a forest pest-the metabolic potential of bark beetles' bacterial associates. *Science of the Total Environment*, 2017, 619-620: 9-17.
- [28] Dobor L, Hlásny T, Rammer W, Zimová S, Barka I, Seidl R. Is salvage logging effectively dampening bark beetle outbreaks and preserving forest carbon stocks?. *Journal of Applied Ecology*, 2020, 57(1): 67-76.
- [29] Klouček T, Komárek J, Surový P, Hrach K, Janata P, Vašíček B. The use of UAV mounted sensors for precise detection of bark beetle infestation. *Remote Sensing*, 2019, 11(13): 1561.
- [30] Quan C, Qian Z, Jing L, Jian S G, Hai R. Mangrove succession enriches the sediment microbial community in South China. *Scientific Reports*, 2016, 6(1): 27468.

- [31] Kirichenko-Babko M, Danko Y, Musz-Pomorksa A, Widomski M K, Babko R. The impact of climate variations on the structure of ground beetle (Coleoptera: Carabidae) assemblage in forests and wetlands. *Forests*, 2020, 11(10): 1074.
- [32] Chen G C, Chen B, Yu D, Tam N F Y, Ye Y, Chen S Y. Soil greenhouse gas emissions reduce the contribution of mangrove plants to the atmospheric cooling effect. *Environmental Research Letters*, 2016, 11(12): 124019.
- [33] Dumitraşcu M, Kucsicsa G, Dumitrică C, Popovici E A, Vrînceanu A, Mitrică B, Mocanu I, Urban P R. Estimation of future changes in aboveground forest carbon stock in Romania. A prediction based on forest-cover pattern scenario. *Forests*, 2020, 11(9): 914.
- [34] Dutcă I, Mather R, Ioraş F. Sampling trees to develop allometric biomass models: How does tree selection affect model prediction accuracy and precision?. *Ecological Indicators*, 2020, 117: 106553.
- [35] Adams H D, Zeppel M J B, Anderegg W R L, Hartmann H, Landhäusser S M, Tissue D T, Huxman T E, Hudson P J, Franz T E, Allen C D, Anderegg L D L, Barron-Gafford G A, Beerling D J, Breshears D D, Brodrick T J, Bugmann H, Cobb R C, Collins A D, Dickman L T, Duan H L, Ewers B E, Galiano L, Galvez D A, Garcia-Forner N, Gaylord M L, Germino M J, Gessler A, Hacke U G, Hakamada R, Hector A, Jenkins M W, Kane J M, Kolb T E, Law D J, Lewis J D, Limousin J M, Love D M, Macalady A K, Martínez-Vilalta J, Mencuccini M, Mitchell P J, Muss J D, O'Brien M J, O'Grady A P, Pangle R E, Pinkard E A, Piper F I, Plaut J A, Pockman W T, Quirk J, Reinhardt K, Ripullone F, Ryan M G, Sala A, Sevanto S, Sperry J S, Vargas R, Vennetier M, Way D A, Xu C, Yeepez E A, McDowell N G. A multi-species synthesis of physiological mechanisms in drought-induced tree mortality. *Nature Ecology & Evolution*, 2017, 1(9): 1285-1291.
- [36] 周启武, 杨国琴, 王朝雯, 董欣丽, 范琼, 赵永根. 紫茎泽兰入侵与防控现状及生物活性物质研究进展. *安徽农业科学*, 2021, 49(06): 26-29.
- [37] 王旻嘉, 叶建仁, 涂煜昇, 杜方平. 处理松材线虫病疫木的木腐真菌筛选. *林业科学*, 2021, 57(06): 93-102.
- [38] 李姗姗, 王正文, 杨俊杰. 凋落物分解过程中土壤微生物群落的变化. *生物多样性*, 2016, 24(2): 195-204.