

文章编号:1001—7380(2024)03—0039—07

基于 CiteSpace 的植物对氮氧化物吸收净化研究进展

王心怡,李妍,张迪

(南京林业大学风景园林学院,江苏 南京 210037)

摘要:氮氧化物(主要是 NO_2)是常见大气污染物之一,其浓度的升高不仅会威胁人体健康,还会破坏生态环境。而植物不仅能对氮氧化物产生一定的抗性,还有吸收净化氮氧化物的能力。为全面、系统地了解植物对氮氧化物吸收净化研究进展与发展趋势,基于 CNKI 数据库,运用 CiteSpace 软件对 1980—2024 年有关植物对氮氧化物吸收净化的文献进行可视化分析。结果表明:植物对氮氧化物吸收净化的研究论文数量总体呈现增长的趋势,植物对氮氧化物吸收净化的研究主要围绕二氧化氮、园林植物、大气污染等方面展开,圣倩倩、祝遵凌、赵娜、李少宁等为该领域的主要研究人员,广东省生态环境与土壤研究所、北京市农林科学院林业果树研究所等是研究植物对氮氧化物吸收净化的主要机构,城市森林、大气污染、抗性是植物对氮氧化物吸收净化研究的核心内容。

关键词:植物;氮氧化物;吸收;净化;CiteSpace;可视化分析

中图分类号:X173;X511 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2024.03.007

Research progress of uptake and purification of nitrogen oxides by plants based on CiteSpace

Wang Xinyi, Li Yan, Zhang Di

(College of Landscape Architecture, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract:As common atmospheric pollutants, nitrogen oxides (mainly NO_2) concentration will not only threaten human health, but also destroy the ecological environment. Plants not only have a certain resistance to nitrogen oxides, but also have the ability to absorb and purify nitrogen oxides. In order to learn the research progress and development trend of nitrogen oxides uptake and purification by plants, based on CNKI database, CiteSpace software was used to visualize the literature on nitrogen oxides uptake and purification by plants from 1980 to 2024. The results showed that the number of research papers on nitrogen oxides uptake and purification by plants showed an increasing trend. Studies on nitrogen oxides uptake and purification by plants mainly focus on nitrogen dioxides, garden plants, air pollution, etc. Sheng Qianqian, Zhu Zunling, Zhao Na and Li Shaoning are the main researchers in this field. Guangdong Institute of Ecology, Environment and Soil, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Science, Forestry and Fruit Tree Research Institute are the main institutions to study the nitrogen oxides uptake and purification of plants. Urban forest, air pollution and resistance are the core contents of nitrogen oxides uptake and purification by plants. The above research results could provide reference for scholars in the field of plant nitrogen oxides uptake and purification.

Key words:Plant; Nitrogen oxides; Uptake; Purification; CiteSpace; Visualized analysis

氮氧化物(NO_x ,包括 NO 和 NO_2)是对流层中臭氧及气溶胶产生的重要化学物质^[1]。其中 NO_2 是大气中主要的氮氧化物,主要来源于机动车尾气、工业废气以及工厂的排放^[2-5]。这些污染气体的产生不仅

收稿日期:2024-03-24;修回日期:2024-04-06

基金项目:大学生创新实践项目“碳氮污染在植物各器官和组织结构中的分配比例与转化路径”(2023NFUSPITP0260)

作者简介:王心怡(2002-),女,江苏高邮人,本科在读。主要从事园林植物生理生态修复机理与应用研究。E-mail:2193540693@qq.com

给人们的生活带来了极大的不便^[6],也危及着人体及动植物的健康。研究发现,植物对大气污染物具有可观的吸收净化能力^[7],甚至一些植物可以将吸收到体内的氮氧化物转化成生长所需的营养物质^[8],因此被誉为自然的“空气净化器”^[9]。由于西方国家工业化进程起步较早,对植物吸收净化氮氧化物方面的研究时间也较长^[10],研究成果较多,相比较而言,我国对该领域研究重视较少,投入不足。但近年来,伴随着我国城市化、工业化进程的加快,对于氮氧化物的治理关注越来越多。

本文所用的分析软件为美国 Drexel 大学陈超美教授基于 Java 语言开发的文献计量可视化工具 CiteSpace^[11],该软件可以快速处理数据并用图表的形式展现有关文献的数据信息。CiteSpace 软件主要是通过文献信息科学化分析,以不同节点的连线、图标的大小等表现方式,绘制相关领域的知识图谱,直观地呈现出相关领域的知识体系,从而获取该领域的热点动态、研究现状、研究进展以及方向^[12]。本文通过可视化的知识图谱分析,探索植物对氮氧化物吸收净化的研究现状、研究热点与发展趋势,为相关学者提供借鉴与参考。

1 研究方法

1.1 数据来源

为了对“植物对氮氧化物的吸收净化”进行较为系统客观的分析,本文基于 CNKI 数据库,通过多次筛选比较,以检索关键词为“(‘植物’)并且(‘氮氧化物’或‘二氧化氮’)”对文献期刊进行检索,收集 1980—2024 年间植物对氮氧化物吸收净化研究的相关文献,检索出相关期刊文献 350 篇。为了使检索的文献更加全面并且和研究主题相关性更强,经过对检索结果的逐条筛选比对,去除期刊寄语、

会议报告等非学术类文献,并进行去重等步骤,最终获得 216 篇与植物吸收净化氮氧化物有关的有效期刊文献,并以“RefWorks”格式导入到文献计量软件 CiteSpace 中进行可视化分析。

1.2 分析方法

科学知识图谱是显示科学知识发展进程与机构关系的图形^[13]。本文将 CNKI 数据库中检索筛选出的有效期刊文献通过运用 CiteSpace 软件导入相关数据进行分析处理,对关于植物吸收净化氮氧化物的发文量、关键词、发文作者、研究机构以及学科分类等数据进行统计分析,在研究 CiteSpace 软件所生成的图谱基础上进行可视化分析,并结合期刊文献所研究的主题和内容,探讨植物吸收净化氮氧化物研究的趋势。

2 结果与分析

2.1 年度发文量

通过对该领域相关文献发文量及时间分布情况分析,可以更直观地了解相关植物吸收净化氮氧化物领域的发展状况,如图 1 所示。有关植物对氮氧化物吸收净化研究文献的年度发文量总体呈现上升趋势,研究大致分为 3 个阶段:第 1 阶段(1980—1999 年),为研究植物吸收净化氮氧化物的起步阶段,相关文献量不高,年度发文量变化也不大。第 2 阶段(2000—2010 年),对植物吸收净化氮氧化物研究的发文量开始显著增长,尤其在 2009 年前后,发文量达到该阶段的最高值。第 3 阶段(2010—2024 年),相关研究的年度发文量出现下降再增长的趋势,但整体还是呈现增加的趋势,该阶段研究内容、技术以及研究水平都有所进步,研究范围也逐步扩大。

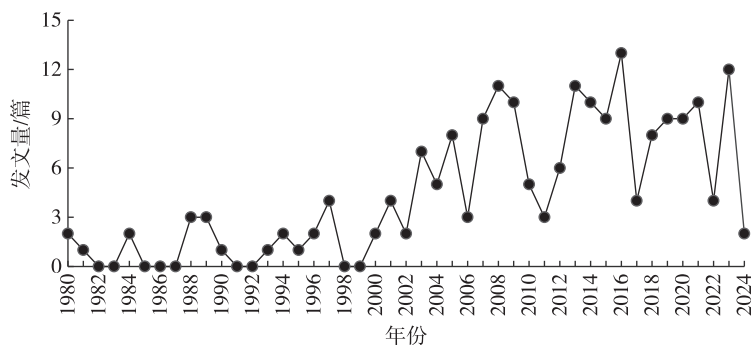


图 1 1980—2024 年度发文量

2.2 关键词

基于 CiteSpace 软件提取 1980—2024 年有关植物对氮氧化物吸收净化作用的论文中前 20 个出现频率较高的关键词,如表 1。其中大气污染、NO₂、抗

性、氧化亚氮、氮氧化物等关键词出现频率很高,表明研究者对植物吸收净化氮氧化物作用的研究多以这些关键词为中心展开。关键词诸如园林植物、城市森林、城市绿地等,明确指出了研究主要对象。

表 1 高频次的前 20 个关键词

序号	出现频次/次	年份	关键词	序号	出现频次/次	年份	关键词
1	18	1988	NO ₂	11	5	2019	人工熏气
2	15	2001	大气污染	12	5	1994	植物
3	12	2006	园林植物	13	5	2007	吸收
4	10	2005	城市森林	14	5	2007	植物修复
5	8	2007	SO ₂	15	5	2012	价值评估
6	8	1988	抗性	16	5	2007	抗氧化系统
7	7	2005	氧化亚氮	17	4	2011	城市绿地
8	6	2013	氮氧化物	18	4	2013	PM2.5
9	6	2005	大气污染物	19	4	2007	水稻
10	6	1997	甲烷	20	4	2008	光合作用

结合图 2,3,归纳出植物对氮氧化物吸收净化研究的大致发展特点。20 世纪 90 年代的关键词主要是 NO₂、抗性、植物、甲烷、通量等,此时的研究主要关注氮氧化物的来源、氮氧化物对植物的伤害以及抗性植物的培养。21 世纪主要以大气污染、城市森林、园林植物、大气污染物、城市绿地等词为研究热点,说明这一时期开始关注植物对氮氧化物吸收净化能力的研究。2002 年之后出现了植物修复、吸

收、抗氧化系统等关键词,反映出该时期深入研究植物对氮氧化物的吸收净化作用,探索如何利用植物对空气进行净化,减少空气中氮氧化物的含量,修复生态系统。此外,广州市、华北平原等词的出现表明氮氧化物污染已对该区域发展造成不良影响,揭示出广州市、华北平原等地区是解决氮氧化物污染问题的重点区域。

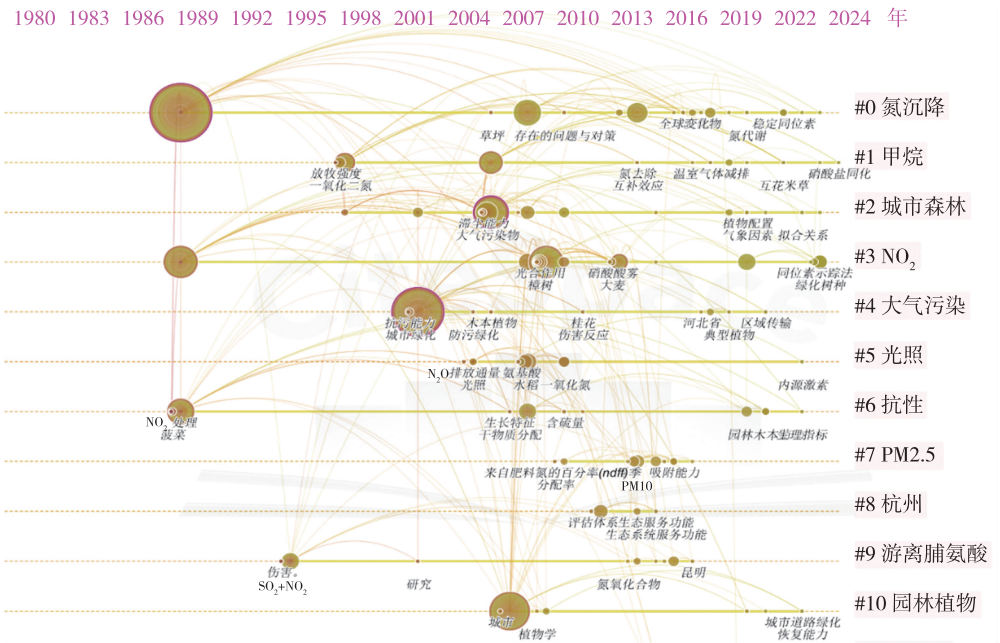


图 2 关键词时间线视图

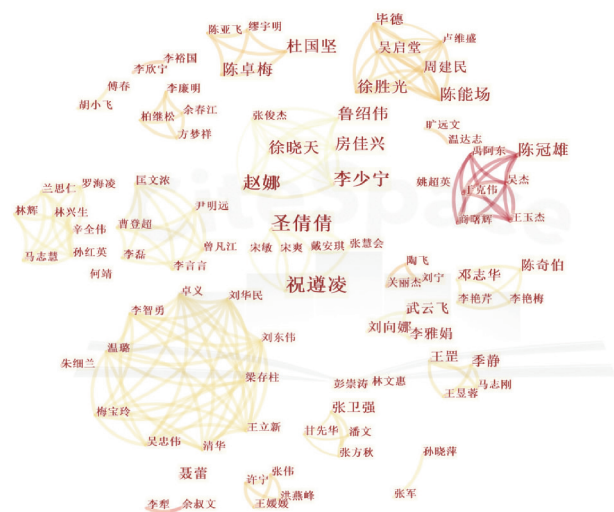


图5 发文作者合作网络

保科技有限公司等构成了植物对氮氧化物吸收净化研究的主要力量,这表明有更多的科研机构关注氮氧化物污染的防治。

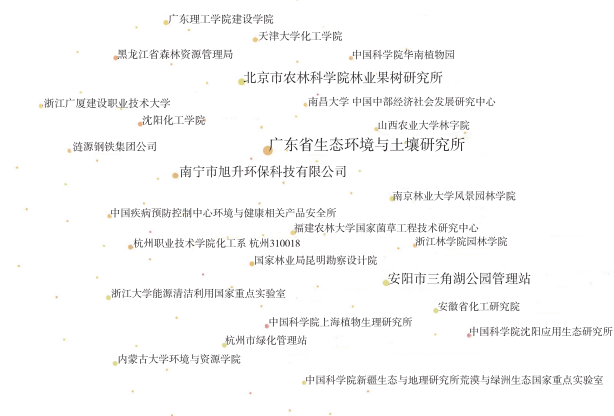


图6 研究机构共现

2.4 科研领域

关键词聚类图如图7所示,将图7聚类细分,可归纳为4个主题。第1个主题是以植物为导向的研究,包含#0城市森林和#6抗性。城市森林是城市中植物大面积存在的一种形式,而植物的抗性也是植物吸收净化污染物的能力。第2个主题是以大气污染为导向的研究,包含#1氮沉降、#2 NO₂、#3 甲烷、#4 大气污染以及#7 PM_{2.5}。第2主题内的聚类标签均为大气污染的形式。第3个主题是以光照条件为导向的研究,主要涉及农作物对氮肥、氮素的吸收、利用与损失。

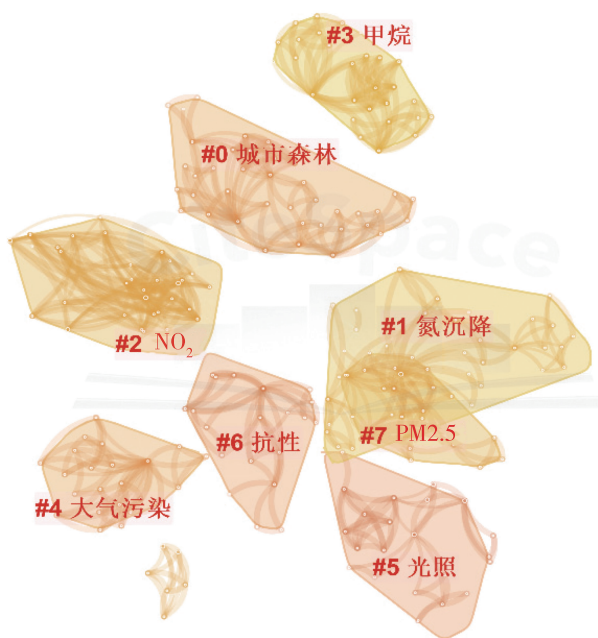


图7 关键词聚类图谱

3 讨论

3.1 发文量时间分析

仅从发文量的趋势分析原因来看,国内对植物吸收净化氮氧化物的研究很大程度取决于国际背景以及政策背景等影响。自工业革命以来,越来越多的学者开始关注植物对氮氧化物吸收净化的研究,尤其是20世纪90年代,相关领域的学者对其关注度日益增加,因而1999年之后发文量明显增加。而自2009年起,“低碳”一词成为研究关注的热点,与之相关的大气污染物——氮氧化物等也一同引发了学者的研究,因此达到了第2阶段的发文量高峰,随后研究热度相对降低。2011年之后,随着我国对生态文明建设的重视程度提高,相关研究也越来越多,研究成果也愈发增多。

3.2 关键词分析

关键词是论文的核心概况,概括了文献的中心要点^[16],是对论文研究热点的高度提炼和概括,其出现频率可以反映某领域的研究前沿和发展趋势^[17-18]。通过对论文关键词的分析,可以对文章主题进行窥探。论文中的多个关键词存在着某种联系,这种联系用共现频次来表示^[19]。一般认为词汇在同一文献中出现的次数越多就代表这2个主题在文献中联系越紧密。因此,控(共)词分析法就是利用文献词汇或者名词短语共同出现的情况来确定

文献所代表的学科当中各主题之间的关系^[20-21]。通过关键词共现分析,能够厘清某领域发展趋势,把握该领域的研究现状^[22]。

CNKI 中关键词“NO₂”“园林植物”“城市森林”等词出现较多,结合关键词聚类分析,可得主要研究热点为园林植物以及城市森林对 NO₂ 的吸收净化作用。

NO₂ 是氮氧化物的主要形式,也是常见的大气污染物之一。植物不仅对 NO₂ 有一定的抗性,还有可观的吸收净化能力^[23]。植物对 NO₂ 吸收净化的研究已有多年的历史。早期研究大多以森林为尺度,通过野外检测取样,对比分析城市、郊区森林净化 NO₂ 的时空变化^[24]。如胡正华、沈毅等对南京市 NO₂ 浓度季节变化特征进行研究发现,在秋、冬季,南京郊区 NO₂ 浓度相比于春、夏季浓度值更高^[25-26]。但此方法难以进行定量分析,且环境因素变化复杂^[27]。为避免以森林为主的宏观尺度环境因子变化较为复杂的弊端,学者们开展了微观尺度下的人工熏气实验^[27]。通过采用静式熏气箱^[28]、动式熏气箱^[29]、开顶式熏气箱^[30-31] 等方法,直接测定植物个体的吸收量,控制环境变量,从而更加精确地研究植物对 NO₂ 吸收净化能力^[32]。

4 结 语

4.1 结 论

通过 CiteSpace 软件对 CNKI 数据库相关文献进行数据分析,主要得出以下结论:

(1)植物对氮氧化物吸收净化的研究论文数量总体呈现增长的趋势。

(2)植物对氮氧化物吸收净化的研究主要围绕二氧化氮、园林植物、大气污染等方面展开。

(3)圣倩倩、祝遵凌、赵娜、李少宁等为该领域的主要研究人员,广东省生态环境与土壤研究所在植物对氮氧化物吸收净化研究方面的贡献最为突出。

(4)植物对氮氧化物吸收净化研究的主要领域包括城市森林、氮沉降、NO₂、甲烷、大气污染、光照、抗性和 PM2.5 等。

4.2 展 望

未来,植物对氮氧化物的吸收净化领域的研究依旧会是大气污染治理的研究热点。随着科技的不断进步和交叉学科的发展,结合各学科领域,采用各类模型以及分析软件定量研究植物对氮氧化

物的吸收净化是趋势。

未来研究要注重加强以下方面的工作:

(1)加强该领域的研究力度,持续增加相关学术论文的发文量。

(2)加强该领域研究学者之间的合作,且不限于科研团队内部的合作,增加团队与团队之间联系,开展学术交流。

(3)加强与社会、政府等联系,将理论与实践相结合,达到有效治理环境污染的目的,提高人们的生活水平 and 质量。

参考文献:

- [1] 圣倩倩,徐晶圆,宋 敏,等.NO₂胁迫下 38 种园林植物的形态伤害指数分析[J].中南林业科技大学学报,2020,40(12):151-158.
- [2] 宋 爽,蔡宇轩,梁宇翔,等.NO₂胁迫对三角梅幼苗生理特性的影响[J].中南林业科技大学学报,2023,43(11):73-83.
- [3] 郭宇宏,王自发,康 宏,等.机动车尾气排放对城市空气质量的影响研究——以乌鲁木齐市春节前后对比分析[J].环境科学学报,2014,34(5):1109-1117.
- [4] 吴晓兰,姜世中,郑月蓉,等.成都平原经济区城市空气质量时空变化特征[J].四川师范大学学报(自然科学版),2024,47(1):90-97.
- [5] 卢凯凯,李 净,刘德仁,等.基于自动机器学习集成模型的日 NO₂模拟[J/OL].环境科学:1-14[2024-03-14].<https://doi.org/10.13227/j.hjks.202311087>.
- [6] 张 梦.NO₂胁迫下园林植物叶片含 N 量及光谱特征研究[D].武汉:华中农业大学,2014.
- [7] 圣倩倩,戴安琪,宋 敏,等.NO₂胁迫下两种鹅耳枥的光合生理特性变化[J].南京林业大学学报(自然科学版),2021,45(2):10-16.
- [8] ZHAI S, MCGARVEY S T. Temporal changes and rural-urban differences in cardiovascular disease risk factors and mortality in China[J]. Human Biology, 1992, 64(6):807-825.
- [9] 张 帅,苏应辉,譙四红,等.大气污染的植物修复研究进展[J].湖北林业科技,2010(6):32-35,43.
- [10] 陈菁菁,周志凌.基于 CiteSpace 的大气污染研究[J].科技广场,2020(6):48-58.
- [11] CHEN C M. CiteSpaceII: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2006, 57(3):359-377.
- [12] 陈 悦,陈超美,刘则渊,等.CiteSpace 知识图谱的方法论功能[J].科学学研究,2015,33(2):242-253.
- [13] 陈 悦,刘则渊.悄然兴起的科学知识图谱[J].科学学研究,2005(2):149-154.
- [14] 马龙龙,杜灵通,丹 杨,等.基于 CiteSpace 的陆地生态系统碳水耦合研究现状及趋势[J].生态学报,2020,40(15):5441-5449.

- [15] 严陶韬,薛建辉.中国生物多样性研究文献计量分析[J].生态学报,2021,41(19):7879-789.
- [16] 于美佳,叶彦辉,段少荣,等.基于文献计量学的氮沉降对土壤微生物影响的可视化分析[J].安徽农业科学,2021,49(9):230-236.
- [17] 杨霞.基于 CiteSpace 的深度学习文献分析[J].山西青年,2023(12):42-45.
- [18] 张增可,王齐,吴雅华,等.基于 CiteSpace 植物功能性状的研究进展[J].生态学报,2020,40(3):1101-1112.
- [19] LIU S, SUN Y, GAO X, et al. Knowledge domain and emerging trends in Alzheimer's disease: a scientometric review based on CiteSpace analysis [J]. Neural Regeneration Research, 2019, 14(9):1643-1650.
- [20] 陈强,李兴宝,王贵娟.国内图书情报学领域语义网研究的可视化分析[J].山东图书馆学刊,2011(5):82-85.
- [21] 姜云龙,徐宽.基于共词分析的国内科学计量学研究热点分析[J].情报探索,2016(3):28-32.
- [22] 刘月霞,张博一.乡村治理研究的知识图谱——基于 CiteSpace 的可视化分析[J].河北经贸大学学报(综合版),2023,23(4):23-30.
- [23] MISA T, HIROMICHI M. Air-pollutant-philic plants for air remediation [J]. Journal of Environmental Protection, 2012(3):1346-1352.
- [24] 王迪,李少宁,鲁绍伟,等.城市森林对氮氧化物(NO_x)净化作用研究进展[J].环境科学与技术,2018,41(8):114-125.
- [25] 胡正华,孙银银,李琪,等.南京北郊春季地面臭氧与氮氧化物浓度特征[J].环境工程学报,2012,6(6):1995-2000.
- [26] 沈毅,王体健,韩永,等.南京近郊主要大气污染物的观测分析研究[J].南京大学学报(自然科学版),2009,45(6):746-756.
- [27] 鲁绍伟,房佳兴,赵娜,等.植物对大气中二氧化氮的吸收净化研究:方法、抗性特征及机理探索[J].世界林业研究,2023,36(06):1-7.
- [28] 鲁敏,宁静,李东和.绿化树种对大气污染的净化修复能力研究[J].山东建筑大学学报,2010,25(5):469-471,476.
- [29] 鲁敏,李英杰.部分园林植物对大气污染物吸收净化能力的研究[J].山东建筑工程学院学报,2002(2):45-49.
- [30] 缪宇明,陈卓梅,陈亚飞,等.浙江省38种园林绿化植物苗木对二氧化氮气体的抗性及其吸收能力[J].浙江林学院学报,2008(6):765-771.
- [31] CALATAYUD A, IGLESIAS J D, TALÓN M, et al. Effects of long-term ozone exposure on citrus: chlorophyll a fluorescence and gas exchange. [J]. Photosynthetica: International Journal for Photosynthesis Research, 2006, 44(4):548-554.
- [32] 李佳赢,房佳兴,李少宁,等.北京典型绿化树种对氮氧化物的抗性[J].东北林业大学学报,2024,52(2):84-90.

(上接第4页)

- [9] 刘云鹏,王爱忠,解春霞,等.松褐天牛高效诱捕器的筛选比较试验[J].江苏林业科技,2018,45(1):14-18.
- [10] 嵇保中,易双军,刘曙雯,等.松墨天牛卵巢发育特点和灭幼脉对其不育效应的影响[J].植物保护,1999(5):7-11.
- [11] 牟建军.松墨天牛辐射不育的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2005.
- [12] 杨洪,王进军,赵志模,等.松褐天牛的交配行为[J].昆虫学报,2007(8):807-812.
- [13] 陈若虎,丁锦华,谈涵秋,等.迁飞昆虫学[M].北京:农业出版社,1989.
- [14] 丁岩钦.昆虫数学生态学[M].北京:科学出版社,1994.
- [15] 马维超,周艳涛,刘英胜,等.4种引诱剂对光肩星天牛的诱捕效果及种群数量评估[J].东北林业大学学报,2021,49(5):120-123,130.
- [16] 余汉鏊.不同引诱剂对光肩星天牛和星天牛诱捕效果研究[D].北京:北京林业大学,2016.
- [17] 王洋,陈军,陈凤毛,等.松墨天牛取食期间传播松材线虫的特性(英文)[J].南京林业大学学报(自然科学版),2019,43(6):1-10.
- [18] 郑丽平.APF-I型松墨天牛化学诱剂的评价和应用[D].福州:福建农林大学,2013.
- [19] 王四宝,刘云鹏,樊美珍,等.不同诱捕技术对松褐天牛的诱捕效果[J].应用生态学报,2005(3):505-508.
- [20] 李祥康,黄焕华,范军祥,等.林分因子对松褐天牛引诱剂诱捕效果的影响[J].中国森林病虫,2013,32(6):21-23,26.