

林湘岷, 沈宗专, 李 荣, 等. 基于 Web of Science 的抑病型土壤文献计量分析[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(3): 821-829.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2022.03.030

基于 Web of Science 的抑病型土壤文献计量分析

林湘岷, 沈宗专, 李 荣, 欧燕楠, 陶成圆, 沈其荣
(南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095)

摘要: 抑病型土壤是植物-土壤-微生物三者相互作用最终形成的可抑制作物土传病害发生的一种特殊状态的土壤, 是分离、筛选可防治作物土传病害发生的高效生物防治菌株以及揭示土壤微生物抑制土传病害发生作用机理的最佳研究材料。因此, 有关抑病型土壤的研究经久不衰。本研究利用知识图谱分析、引文图谱分析及可视化分析等软件对 Web of Science 核心合集数据库中抑病型土壤相关研究领域的论文发表数量、期刊、所属学科、作者、作者所在国家和机构、主要研究内容、发展方向等进行文献计量分析。结果表明, 近年来, 抑病型土壤的相关研究越来越受关注, 土壤学科在此领域的发文数量仅次于植物学科。中国、美国、荷兰、德国在抑病型土壤研究方面发表论文数量较多, 并且国家之间合作密切。美国农业部农业研究局、瓦格宁根大学、法国科学研究中心、南京农业大学、中国科学院等是论文发表数量较多的研究机构。在抑病型土壤领域研究论文的发表期刊中, 《Phytopathology》是本地引用次数最多的, 《Soil Biology and Biochemistry》是 5 年(2016–2020 年)影响因子最高的。抑病型土壤领域发表论文较多的学者有 Weller D M、沈其荣和 Thomashow L S 等。生物防治仍是抑病型土壤研究领域一个重要方向。抑病型土壤领域的未来研究趋势可能将集中于根际微生物组的特征解析、调控技术、机制等方面。综上所述, 抑病型土壤领域过去的研究多聚焦于解析土壤微生物群落组成特征, 分离、筛选关键抑病微生物, 以及阐明关键抑病微生物的生防作用机制。根-土-微生物之间的互作机制、多营养级微食物网相互作用关系与调控策略、抑病型土壤功能维持等可能是抑病型土壤领域未来的研究焦点。

关键词: 抑病型土壤; 生物防治; 知识图谱分析; 可视化分析; 引文图谱分析

中图分类号: S154.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2022)03-0821-09

Bibliometric study of the papers in the field of disease-suppressive soil based on the Web of Science database

LIN Xiang-min, SHEN Zong-zhuan, LI Rong, OU Yan-nan, TAO Cheng-yuan, SHEN Qi-rong
(College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

收稿日期: 2021-10-19

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项项目(XDA28070302); 国家自然科学基金项目(31972509、42090065); 江苏省政策引导类计划(国际科技合作/港澳台科技合作)项目(BZ2020026); 中央本级重大增减支项目(2060302); 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(19)2026]

作者简介: 林湘岷(1998-), 男, 湖南株洲人, 硕士研究生, 主要从事土壤微生物与生物肥料研究。(E-mail) 2020803200@stu.njau.edu.cn

通讯作者: 沈宗专, (E-mail) shenzongz@njau.edu.cn

Abstract: Disease-suppressive soil is a kind of soil that formed through the interactions among plant-soil-microorganisms. It is an excellent research material to isolate and screen the high-efficiency biocontrol strains involved in controlling of crop soil-borne diseases and decipher the mechanisms of soil microbes in inhibiting soil-borne diseases. Therefore, lots of studies related to disease-suppressive soils have been conducted by experts at home and abroad. The bibliometric research was studied to analyze the number of papers, the main published journals, distribu-

tions in disciplines, scholars, countries and institutions, scientific hotspots and trends in the field of disease-suppressive soil based on the knowledge map analysis, citation map analysis and visual analysis using the core collection database of the Web of Science in present study. The results showed that the importance of researches on disease-suppressive soils had been increased in recent years. And the number of publications in this field of soil science ranked second only after plant science. The United States, China, the Netherlands, Germany were the top countries that published many articles in the field of disease-suppressive soils. At the same time, the cooperations among these countries were also very close. Further the United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service (USDA ARS), Wageningen University, Institut National de la Recherche Agronomique, Nanjing Agricultural University, Chinese Academy of Sciences, and other institutions were the top organizations which published plenty of papers at domestic and foreign. *Phytopathology* was the top journal that published most papers in the field of disease-suppressive soil based on local citation frequency. Moreover, *Soil Biology and Biochemistry* was the main journal with the highest impact factor in the terms of past five years in the field of disease-suppressive soil. Weller D M, Shen Q, and Thomashow L S were the most productive scholars in this field. Biological control was one of the research hotspot in the field of disease-suppressive soil. The future research trends of disease-suppressive soils may focus on the characterization of rhizosphere microbiota, regulation techniques and mechanisms. In conclusion, the most of researches in the field of disease-suppressive soils focus on deciphering the characteristics of soil microbial community composition, isolating and screening key disease-suppressing microorganisms, and elucidating the biological control mechanism of key disease-suppressing microorganisms. The interaction mechanisms among root, soil and microbes, the multi-nutrient micro-food web interactions and regulation strategies, and maintenance of disease-suppressive soil functions may be the forefront of future researches in the field of disease-suppressive soils.

Key words: disease-suppressive soil; biological control; knowledge map analysis; visual analysis; citation map analysis

土传病害是一种由土壤中的病原生物在特定条件下侵染植物根部或茎部而导致植物出现生长障碍甚至死亡的植物病害^[1]。在集约化种植、单一连作等生产模式下,尤其是在全球气候变暖的背景下,可加快土壤中病原生物的生长和增殖,进一步加剧作物土传病害的发生^[2-3]。目前,土传病害严重阻碍了世界范围内农业的可持续发展,影响作物产量、品质的进一步提升^[4]。

抑病型土壤指的是一类病原物不能定殖,或能定殖但危害很小或无危害,或能定殖并一时造成危害但随后即使在病原物存在的情况下发病也较轻的土壤,其由作物、土壤、微生物三者的相互作用而形成^[5-6]。抑病型土壤是揭示微生物抑制作物土传病害发生作用机理的最佳研究对象,也是分离、筛选潜在有效生物防治菌株的极佳材料^[7-8]。解析抑病型土壤微生物组成、功能特征及其抵御病原菌侵染的微生态机制,可为土传病害的生物防治提供极其重要的生物防治菌种资源和理论指导,已成为过去几十年土传病害和生物防治的一个重要研究方向。

文献计量学是对信息载体用统计学和数学方法进行定量分析的一门交叉学科,可系统地分

析某一研究领域的整体发展状况,探明该领域主要的研究方向和未来发展态势,为该领域的科学研究提供一定的方向指引^[9]。尽管目前国内外在抑病型土壤的理化性状及微生物组成特征等方面开展了大量研究,但是对该领域过去所发表论文的数量、期刊、所属学科、作者、作者所在国家和机构、主要研究内容、发展方向的分析却鲜有报道。本研究使用 Web of Science (WOS) 自带的的分析系统和常规文献计量分析软件,如知识图谱分析 (CiteSpace)、可视化分析 (VOSviewer) 及引文图谱分析 (HistCite) 等软件对抑病型土壤的相关研究进行文献计量分析。其中, CiteSpace 软件和 VOSviewer 软件现已被广泛应用到农学、经济学、医学等多个学科领域的研究中^[10-13]。

本研究拟基于 Web of Science 核心合集数据库,收集 1990-2020 年抑病型土壤的相关文章,利用 WOS 自带的的分析系统及 VOSviewer、CiteSpace、HistCite 等软件对所搜集的相关文献进行计量分析,了解抑病型土壤相关研究的发展历程,明确研究现状及未来发展态势,以期对抑病型土壤的研究指引未来方向。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本研究所采用的文献检索数据库为 Web of Science (WOS) 核心合集数据库^[13]。检索时间设置为 1990–2020 年,文章类型设置为 Article 或 Review,以“抑病型土壤”为主题,以 TS(主题) = ("disease-suppressive" OR diseasesuppressive OR diseasesuppression OR suppressive) AND (soil) 为检索条件进行高级检索,共获取文献 1 863 篇。

1.2 研究方法

将上述 1 863 篇文献利用 CiteSpace (v. 5.7.R3)、VOSviewer (v.1.6.16) 及 HistCite (v. Pro 2.1) 等软件工具进行论文发表数量、期刊、所属学科、作者、作者所在国家和机构、主要研究内容、发展方向的计量分析。

基于 VOSviewer 软件对主要发文国家、机构、研究学者之间的合作关系进行共现分析,网络中圆圈大小代表文章发表数量多少,圆圈越大表示论文发表数量越多;线条粗细代表关联总强度的强弱,线条越粗表示关联性越强。通过 VOSviewer 软件对关键词进行共现分析,得出该领域的研究热点,阈值设置为 16。此外,通过在 CiteSpace 软件中选择学科类别,分析不同学科的中介中心性;分别选择每 10 年的关键词突现指标进行各阶段的研究热点和发展趋势分析;选择被引文献进行共被引分析。若某个期刊在 WOS 数据库中属于多个学科门类,则其所在学科分别计数 1 次。采用 HistCite 软件中本地引用次数 (TLCS)、总引用次数 (TGCS) 参数表征抑病型土

壤研究领域的主要发表期刊^[14]。值得注意的是,TLCS 计算的是某一篇文章被导入 HistCite 软件进行分析的所有文献所引用的次数,由于导入 HistCite 软件的文章均是检索词有关的该领域文章,所以若某一文献的 TLCS 值越高,可表明该文献在领域内的影响越大;而 TGCS 则表示某一篇文章被整个 WOS 数据库中的文献所引用的次数^[15]。

2 结果与分析

2.1 抑病型土壤研究的学科分布特征和发文情况

通过 WOS 检索文章,并用其自带的数据分析系统进行分析,发现关于抑病型土壤研究的发文数量逐年增加(图 1),说明抑病型土壤的相关研究越来越受科学家的重视。中国科研人员自 2006 年开始在该领域持续有研究成果发表,并且发文数量在近年来大幅度提升,其增长曲线符合世界总发文量的增长曲线,表明近年来中国科研人员为该领域的研究进步做出了很大贡献。抑病型土壤研究领域发文被引量前 5 位国家的被引趋势结果(图 1)表明,美国科研人员在该领域共计发表论文 485 篇,论文的总被引频次为 22 419 次,篇均被引频次为 46.22 次,年度总被引频次和篇均被引频次均远超世界其他国家。中国科研人员在该领域共计发表论文 168 篇,仅次于美国,居第二位,总被引频次仅为 2 892 次,篇均被引频次为 17.21 次,虽然近年来被引频次增幅明显,但仍是发文被引量前 5 位国家中总被引频次和篇均被引频次最低的,说明论文的影响力有待提高。

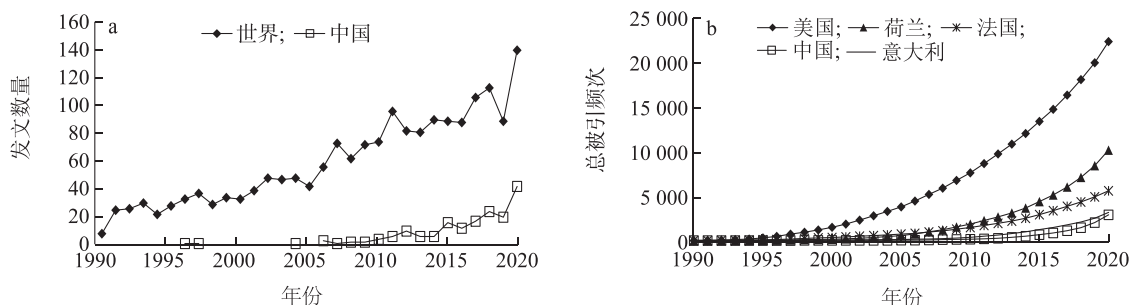


图 1 中国与世界论文发表情况对比(a)以及主要发文国家发文被引频次的变化情况(b)

Fig.1 The comparisons of the number of papers between China and world (a) and the change of the citation frequency in the main issuing countries (b)

通过 WOS 自带的数据分析系统进行分析,抑

病型土壤的研究涵盖多个学科,在 WOS 数据库上

发表文章数量排名前 5 的学科为植物学科、土壤学科、农艺学科、微生物学科、生物技术应用微生物学科,土壤学科的发文章数量占发文章数量排名前

10 学科总发文章数量的 15.41%,排名第二,仅次于植物学科(图 2)。

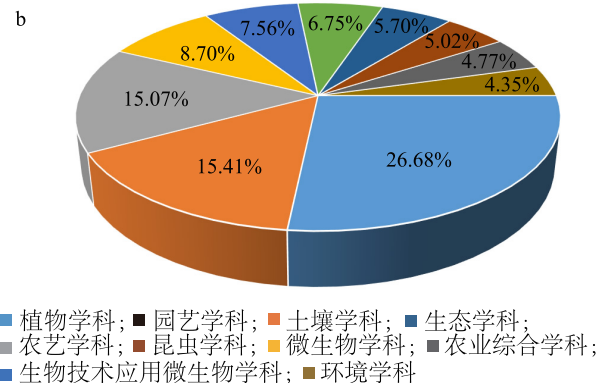
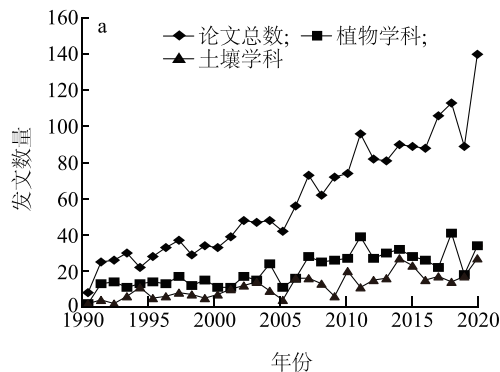


图 2 1990–2020 年抑病型土壤类论文的发文章数量(a)及发文章数量排名前 10 的学科(b)

Fig.2 Document output (a) and proportions of the top ten disciplines (b) during 1990–2020

学科的中介中心性可以反映该学科与其他学科的交叉情况。基于 CiteSpace 软件的学科共现分析结果(表 1),对学科中介中心性进行排序,在抑病型土壤类论文发文章数量排名前 10 的学科中,中介中心性最高的是生物技术应用微生物学科,最低的则是园艺学科,与其他学科几乎没有交叉。土壤学科虽然发文章数量排名位居第二,但其中介中心性较低(仅为 0.04),说明土壤学科与其他学科的交叉较少。土壤学科在揭示抑病型土壤的环境因子特征以及驱动形成因素上具有优势,但仍需加强与其他学科的交叉、融合,如此可进一步延伸土壤学科的研究内涵和研究方向。

利用 HistCite 软件对 1990–2020 年抑病型土壤领域相关研究主要发文章期刊进行统计,结果(表 2)表明,抑病型土壤类论文发文章数量排名前 3 的期刊为《Phytopathology》(131 篇)、《Soil Biology and Biochemistry》(87 篇)和《Applied Soil Ecology》(70 篇)。本地引用次数、总引用次数较高的期刊有《Phytopathology》、《Applied and Environmental Microbiology》等,尽管这些期刊主要属于植物学、微生物学领域,但《Soil Biology and Biochemistry》和《Applied Soil Ecology》等则是属于土壤学的经典期刊。其中,影响因子最高的期刊是《Soil Biology and Biochemistry》,5 年(2016–2020 年)影响因子达到 8.312。《Applied and Environmental Microbiology》期刊具有发文章数量不高,篇均被引频次较高的特点。

表 1 论文发表数量排名前 10 学科的中介中心性

Table 1 The intermediary centrality of the top ten disciplines in the number of published papers

学科	中介中心性
植物学科	0.10
土壤学科	0.04
农艺学科	0.11
微生物学科	0.03
生物技术应用微生物学科	0.16
园艺学科	0
生态学科	0.11
昆虫学科	0.02
农业综合学科	0.13
环境学科	0.09

2.2 抑病型土壤研究的合作空间特征

基于 VOSviewer 软件进行网络图谱分析,结果(图 3)表明,从发文章数量上看,美国、中国位列前 2,分别发表文章 485 篇、168 篇;荷兰、德国、澳大利亚、西班牙、意大利、巴西、日本、加拿大等紧随其后,也在抑病型土壤研究领域发表了大量研究论文。国家间的合作是提高科研能力,实现创新性研究的重要手段。根据总联系强度(TLS),美国、中国、荷兰、德国等是影响力较大且与其他国家合作较多的国家,其 TLS 值分别为 215、131、129、74。其中,中国与美国、澳大利亚、日本的合作较为频繁。

表 2 1990–2020 年抑病型土壤领域论文发表数量排名前 10 的期刊
Table 2 Top ten journals in terms of the number of published papers in the field of disease-suppressive soil from 1990 to 2020

期刊名称	发文数量	影响因子 (2016–2020 年)	本地引用次数	总引用次数	篇均被引频次
《Phytopathology》	131	4.394	1 077	5 248	40.06
《Soil Biology and Biochemistry》	87	8.312	993	3 856	44.32
《Applied Soil Ecology》	70	4.884	204	1 969	28.13
《Plant and Soil》	55	4.712	162	1 546	28.11
《Journal of Nematology》	54	2.012	186	949	17.57
《Biological Control》	48	3.962	214	1 290	26.88
《Crop Protection》	45	3.110	123	1 299	28.87
《Plant Disease》	38	4.700	281	1 515	39.87
《Applied and Environmental Microbiology》	32	5.260	520	2 781	86.91
《European Journal of Plant Pathology》	30	2.022	165	726	24.20

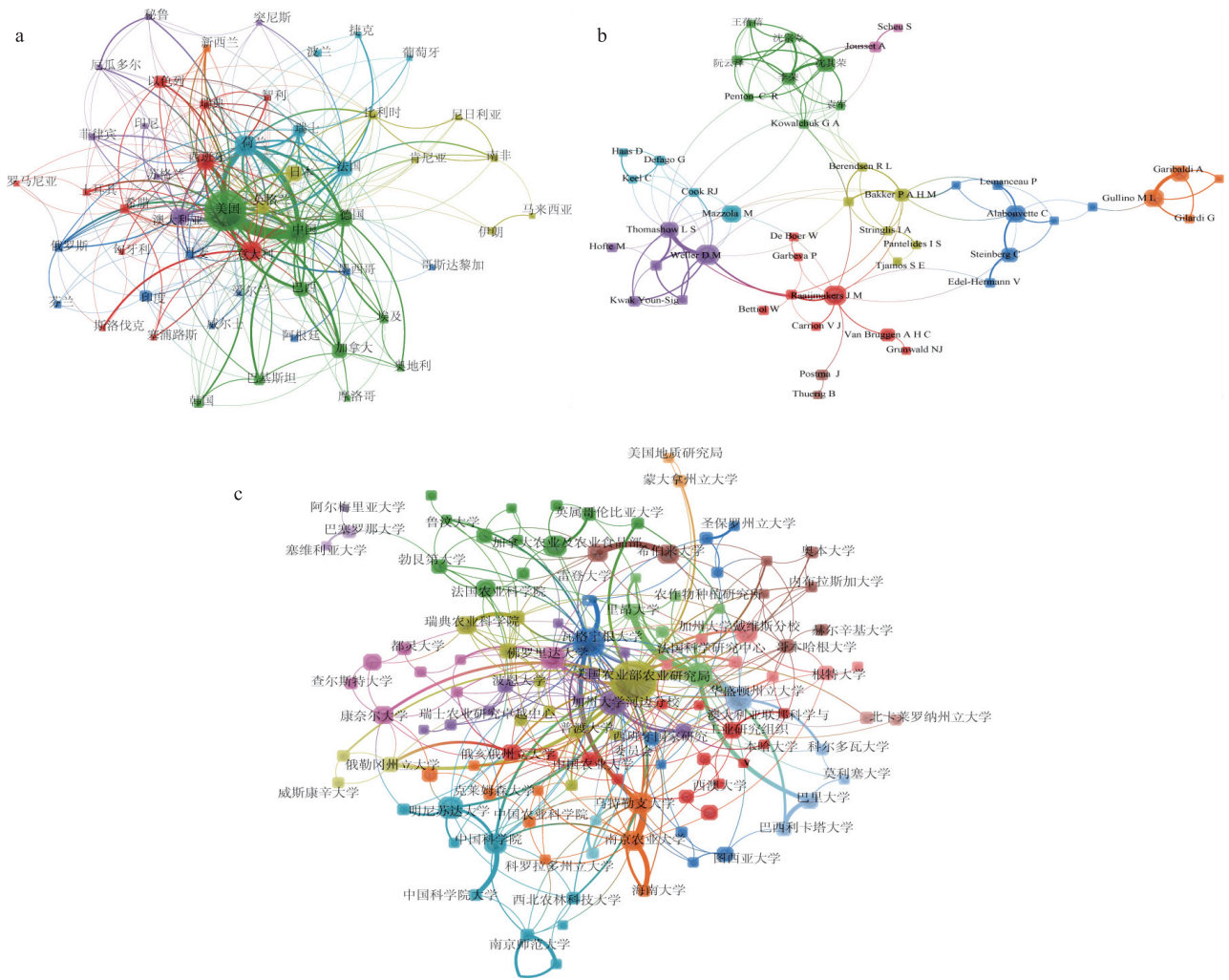


图 3 主要发文国家 (a)、作者 (b) 及机构 (c) 间的合作关系
Fig.3 Cooperation among main paper contributor countries (a) , institutions (b) and authors (c)

从发文机构上看,美国农业部农业研究局与论文产出各主要机构的合作关系密切(图3)。*TLS* 值排名前5的机构分别为美国农业部农业研究局、瓦格宁根大学、法国科学研究中心、乌特勒支大学及华盛顿州立大学,*TLS* 值分别为112、69、47、45及41。来自中国的2个机构,即南京农业大学和中国科学院,分别位列第六位和第七位,其*TLS* 值分别为38、32。中国发表抑病型土壤类论文数量排名前5的机构为南京农业大学、中国科学院、中国农业大学、南京师范大学及海南大学,发文数量分别为30篇、30篇、14篇、10篇及9篇,其中南京农业大学与瓦格宁根大学、乌特勒支大学、美国农业部农业研究局、海南大学等均有较为密切的合作。美国农业部农业研究局、瓦格宁根大学、法国科学研究中心、南京农业大学、中国科学院等是论文发表数量较多的研究机构。

从发文作者来看,来自美国农业部农业研究局的 Weller D M、Thomashow L S、Mazzola M,荷兰瓦格宁根大学的 Raaijmakers J M,德国都灵大学的 Gullino M L、Garibaldi A,法国科学研究中心的 Alabouvette C 以及中国南京农业大学的沈其荣等是抑病型土壤研究领域内论文高产研究学者,发文量均在20篇以上。Weller D M 的*TLS* 值为54,沈其荣的*TLS* 值为52,Thomashow L S 的*TLS* 值为49,李荣的*TLS* 值为45,沈宗专的*TLS* 值为34,Raaijmakers J M 的*TLS* 值为33,Gullino M L 的*TLS* 值为30,这些作者与该领域其他作者合作密切。值得注意的是,沈其荣、李荣、沈宗专都来自南京农业大学沈其荣教授团队,说明沈其荣教授团队目前在抑病型土壤方面的研究水平处于国内外领先地位。

2.3 抑病型土壤研究的热点和发展趋势

关键词出现的频次与研究主题的受关注程度紧密相关。在本研究中,生物防控是出现次数最多的关键词,频次为633次,表明在抑病型土壤的相关研究中生物防控是焦点(图4)。在关键词共现网络中,与生物防控关系密切的关键词有抑病型土壤、根际、微生物种群、荧光假单胞菌、多样性、生长、鉴别、管理、土壤、立枯病、立枯丝核菌、枯萎病、根腐病、病原体、堆肥等。VOSviewer 软件将抑病型土壤研究领域的关键词划分成5个不同聚类(图4)。聚类一(红色)主要涉

及田间管理措施和防治手段,包括的关键词有植化相克、添加物、生物熏蒸、轮作、管理、发芽、绿肥、耕作等。聚类二(绿色)主要包括作物及其土传病害的生物防控,如生物防控、枯草芽孢杆菌、荧光假单胞菌、拟南芥、黄瓜、香蕉、微生物种群、根际、根际细菌、系统抗性、定殖、基因、生防因子、水杨酸、抗生素、拮抗作用等,其中水杨酸作为植物应对胁迫的信号分子,对植物自身免疫机制有着极其重要的作用。聚类三(蓝色)主要包括典型土传病害的致病微生物及其导致的病症,如植物病害、立枯病、立枯丝核菌、根腐病等。聚类四(黄色)主要涉及线虫抑制土传病害的作用以及对土壤中微生物的影响,关键词主要包括抑病型土壤、抗性、种群数量、生态学、线虫、穿透巴氏杆菌、真菌、致病性等。聚类五(紫色)则仅有6个节点,主要聚焦于病原菌的存活能力和致病能力。

为分析抑病型土壤领域研究热点的演变过程,将1990–2020年发表的论文划分为3个时间段:1990–2000年、2001–2010年、2011–2020年,并利用CiteSpace 软件查看不同时间段关键词的引用突现情况,由此得出每个时间段的研究方向和研究重点。图5显示,1990–2000年发表论文数量较少,关键词突现强度也相应较低。突现关键词主要围绕植物病害和有关微生物,其中菌株、根腐病、微生物活性的突现强度相对较强,阻力、荧光假单胞菌等的突现时间相对较久。2001–2010年关于抑病型土壤的研究有了一些转变,突现关键词中出现了16S核糖体核糖核酸、梯度凝胶电泳、根际等词汇,说明在该时间段分子生物学技术被引入到该研究领域,同时根际环境开始引起研究学者的兴趣;突现词中小麦和全蚀病的突现强度都相对较大,说明小麦的全蚀病是当时的热点。2011–2020年关于抑病型土壤领域的论文数量有大幅的增长,所以关键词突现强度也有较大提升,其中微生物活性、梯度凝胶电泳、全蚀病都是之前出现过的关键词,说明这几个关键词在这个时间段内依然是研究的重要对象。诱导、侵染、生物熏蒸等突现关键词都是生物防控措施的典型性词语,说明生物防控是2011–2020年抑病型土壤研究的热点,再次证明了图4的结果。根际微生物的突现时间最新,说明最新的研究热点开始聚焦于根际微生物。

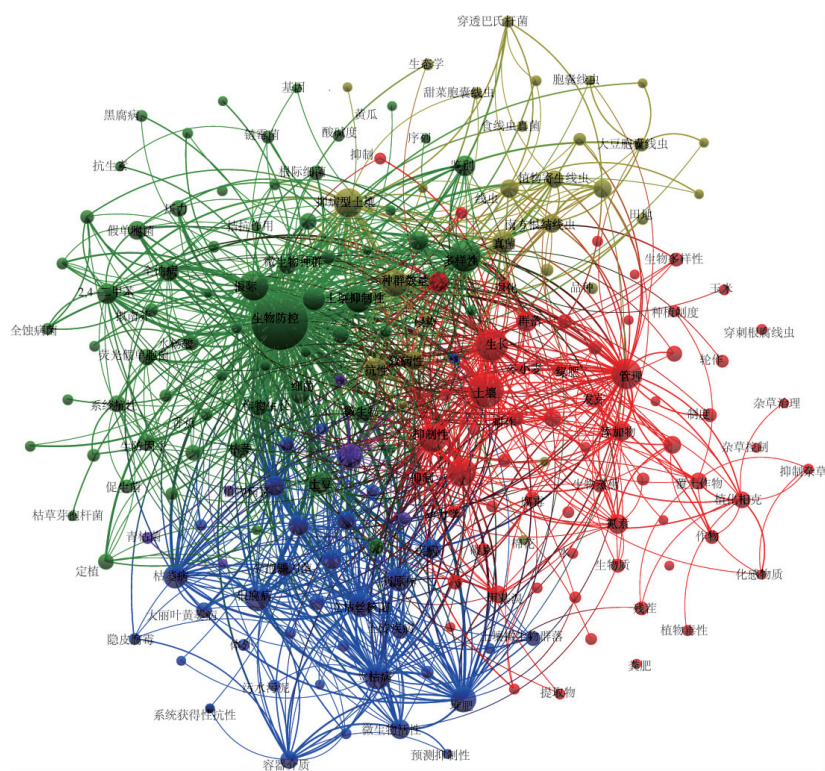


图4 关键词共现网络

Fig.4 Keyword co-occurrence network

3 结 论

随着全球范围内对抑病型土壤微生物特征及调控的持续关注,抑病型土壤的相关研究也越来越受重视^[16-18]。目前已在世界范围内,发现多种可抑制细菌性、真菌性、线虫等土传病害发生的抑病型土壤,并解析了其微生物的特征和潜在作用机制^[19-21]。抑病型土壤的研究可以进一步促进关于作物土传病害生物防治方面的研究。此外,抑病型土壤的形成与植物、土壤、微生物的相互作用密切相关,这已经引起多个学科的共同关注,对土壤学科与多个学科的交叉融合起到一定的推动作用^[22]。

在抑病型土壤的相关研究中,美国、中国、荷兰、德国是该领域发表论文数量较多的国家,且合作紧密。Weller D M、沈其荣和 Thomashow L S 是该领域的论文高产学者,该研究领域主要发表的学术期刊有《Phytopathology》、《Soil Biology and Biochemistry》和《Applied Soil Ecology》,本地引用次数较高的期刊有《Phytopathology》、《Applied and Environmen-

tal Microbiology》等。根据关键词共现网络分析结果,抑病型土壤的相关研究主要可以分为田间管理措施和防治手段、作物及其土传病害的生物防控、典型土传病害的致病微生物及其导致的病症、线虫抑制土传病害的作用以及对土壤中微生物的影响、病原菌的存活能力和致病能力 5 大类。随着科技的进步,变性梯度凝胶电泳、高通量测序技术的发展和运用,极大地扩展了对土壤微生物群落结构的理解,近年来对抑病型土壤微生物组的研究已逐渐成为研究前沿^[23-25]。

综上所述,抑病型土壤领域过去的研究热点多集中于解析土壤微生物群落组成特征,分离、筛选关键抑病微生物,阐明关键抑病微生物的生物防治作用机制。抑病型土壤主要是由作物根系与土壤、微生物之间复杂的相互作用共同形成的,抑病型土壤领域研究未来可能会聚焦于根-土-微生物之间的互作机制、多营养级微食物网相互作用关系和调控策略、抑病型土壤抑病功能的维持等方面的研究,以期进一步提升土传病害生物防控的精准性与稳定性。

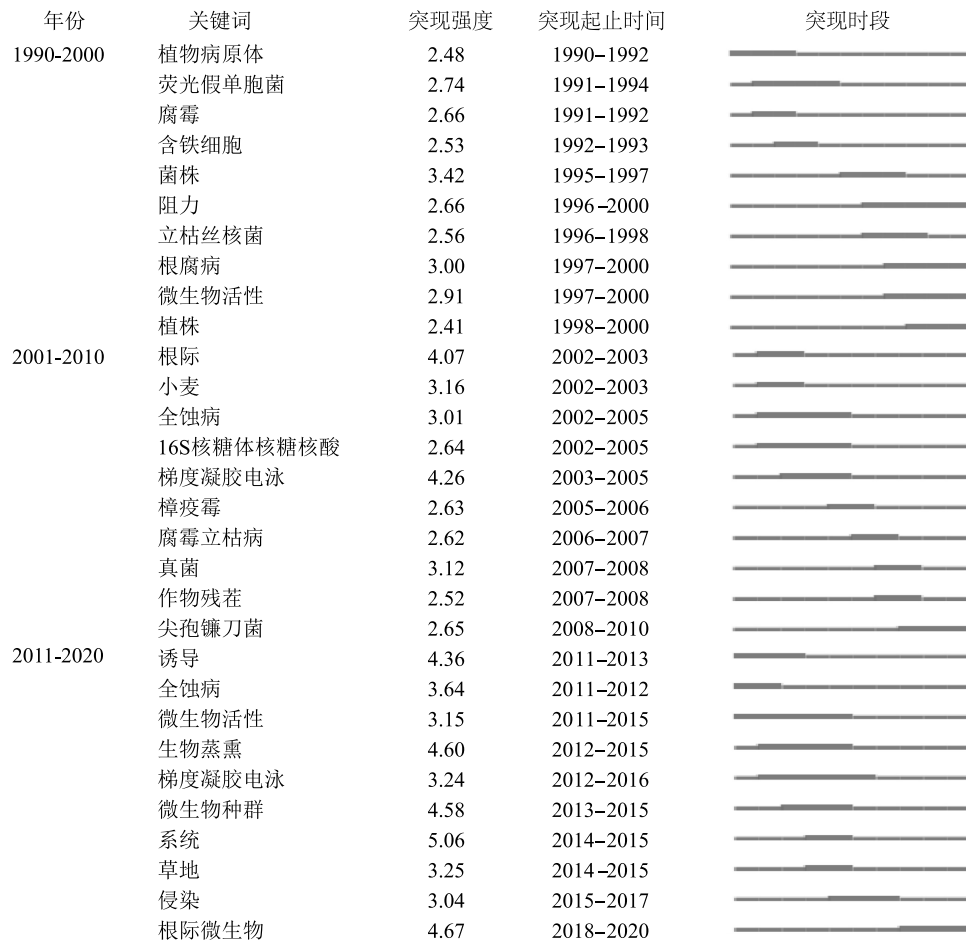


图 5 近 30 年来每十年引用突现最强的前 10 关键词

Fig.5 Top ten keywords with the strongest citation bursts in each decade over the past 30 years

参考文献:

- [1] 杨 珍,戴传超,王兴祥,等. 作物土传真菌病害发生的根际微生物机制研究进展[J]. 土壤学报, 2019, 56(1): 12-22.
- [2] DELGADO-BAQUERIZO M, GUERRA C A, CANO-DÍAZ C, et al. The proportion of soil-borne pathogens increases with warming at the global scale[J]. Nature Climate Change, 2020, 10: 550 - 554.
- [3] 严 康,汪海珍,楼 骏,等. 基于 Web of Science 对土传病害研究现状和趋势的计量分析[J]. 土壤学报, 2020, 57(3): 680-690.
- [4] BUTLER D. Fungus threatens top banana[J]. Nature, 2013, 504 (7479): 195-196.
- [5] BAKER K, COOK R J. Biological control of plant pathogens[M]. San Francisco: W H Freeman, 1974: 433.
- [6] COOK R J, BAKER K F. The nature and practice of biological control of plant pathogens[M]. St Paul, MN: American Phytopathology Society, 1983: 539.
- [7] SCHLATTER D, KINKEL L, THOMASHOW L, et al. Disease suppressive soils: new insights from the soil microbiome[J]. Phytopathology, 2017, 107(11): 1284-1297.
- [8] 韦 中,沈宗专,杨天杰,等. 从抑病土壤到根际免疫:概念提出与发展思考[J]. 土壤学报, 2021, 58(4): 814-824.
- [9] 陈 香,李卫民,刘 勤. 基于文献计量的近 30 年国内外土壤微生物研究分析[J]. 土壤学报, 2020, 57(6): 1458-1470.
- [10] CHEN C M. CiteSpace II: 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.
- [11] ECK N J V, WALTMAN L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping[J]. Scientometrics, 2010, 84: 523-538.
- [12] 张 超,文 涛,张 媛,等. 基于文献计量分析的镰刀菌枯萎病研究进展解析[J]. 土壤学报, 2020, 57(5): 1280-1291.
- [13] 邢素芝,李孝良,肖 新,等. 基于 CiteSpace 可视化分析有机肥料研究进展[J]. 土壤, 2020, 52(4): 659-667.
- [14] 刘杏梅,赵 健,徐建明. 污染农田土壤的重金属钝化技术研究——基于 Web of Science 数据库的计量分析[J]. 土壤学报,

- 2021, 58(2):445-455.
- [15] GARFIELD E. From the science of science to scientometrics visualizing the history of science with HistCite software[J]. Journal of Informetrics, 2009, 3(3):173-179.
- [16] CARRIÓN V J, PEREZ-JARAMILLO J, CORDOVEZ V, et al. Pathogen-induced activation of disease-suppressive functions in the endophytic root microbiome [J]. Science, 2019, 366(6465):606-612.
- [17] 张俊伶, 张江周, 申建波, 等. 土壤健康与农业绿色发展: 机遇与对策[J]. 土壤学报, 2020, 57(4):783-796.
- [18] 张桃林. 守护耕地土壤健康 支撑农业高质量发展[J]. 土壤, 2021, 53(1):1-4.
- [19] SHIOMI Y, NISHIYAMA M, ONIZUKAE T, et al. Comparison of bacterial community structures in the rhizosphere of tomato plants grown in soils suppressive and conducive towards bacterial wilt[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1999, 65(9):3996-4001.
- [20] POSTMA J, SCHEPER R W A, SCHILDER M T. Effect of successive cauliflower plantings and *Rhizoctonia solani* AG 2-1 inoculations on disease suppressiveness of asuppressive and a conducive soil[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2010, 42(5):804-812.
- [21] OLATINWO R, YIN B, BECKER J O, et al. Suppression of the plant-parasitic nematode *Heterodera schachtii* by the fungus *Dactylella oviparasitica*[J]. Phytopathology, 2016, 96:111-114.
- [22] 褚海燕, 马玉颖, 杨 腾, 等. “十四五”土壤生物学分支学科发展战略[J]. 土壤学报, 2020, 57(5):1105-1116.
- [23] 申建波, 白 洋, 韦 中, 等. 根际生命共同体: 协调资源、环境和粮食安全的学术思路与交叉创新[J]. 土壤学报, 2021, 58(4):805-813.
- [24] LEE S M, KONG H G, SONG G C, et al. Disruption of firmicutes and actinobacteria abundance in tomato rhizosphere causes the incidence of bacterial wilt disease[J]. The ISME Journal, 2021, 15(1):330-347.
- [25] MENDES R, KRUIJT M, BRUIJN I D, et al. Deciphering the rhizosphere microbiome for disease-suppressive bacteria[J]. Science, 2011, 332(6033):1097-1100.

(责任编辑:王 妮)