

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2020.04.022

郑梅迎, 林伟, 徐茜, 等. 基于 CNKI 数据库的土壤酸化文献计量分析. 土壤, 2020, 52(4): 811–818.

## 基于 CNKI 数据库的土壤酸化文献计量分析<sup>①</sup>

郑梅迎<sup>1</sup>, 林伟<sup>2</sup>, 徐茜<sup>2</sup>, 彭玉龙<sup>3</sup>, 刘明宏<sup>3</sup>, 龚鹏飞<sup>4</sup>, 刘跃东<sup>1</sup>, 孔凡玉<sup>1</sup>, 张继光<sup>1\*</sup>

(1 中国农业科学院烟草研究所, 山东青岛 266101; 2 福建省烟草公司南平分公司, 福建南平 266109; 3 贵州省烟草公司遵义市公司, 贵州遵义 563000; 4 陕西省烟草公司延安市公司, 陕西延安 716000)

**摘要:** 为探索近年来国内土壤酸化研究的热点与发展趋势, 以 CNKI 数据库为基础, 采用统计与聚类分析方法, 借助 CiteSpace 信息可视化软件及文献计量学知识, 统计并绘制有关国内土壤酸化研究文献的机构、关键词、文献被引频次等信息图表, 挖掘土壤酸化研究的整体发展趋势、高产机构、高频关键词等信息。研究发现我国土壤酸化研究的主题从森林土壤逐渐转移至农田土壤, 酸沉降及土壤化学在土壤酸化研究中一直属于重点关注对象。研究机构主要集中在高校和科研院所, 同时高频关键词显示国内土壤酸化研究主要集中在酸沉降、施肥管理、土壤结构、作物生长、酸化成因及改良、连作障碍及土壤污染等方面。该研究有助于全面了解国内土壤酸化研究现状及进展, 为农田土壤酸化改良方面的研究及应用提供重要参考。

**关键词:** 土壤酸化; CNKI; 知识图谱; 文献计量

**中图分类号:** S126; G255 **文献标志码:** A

### Bibliometric Analysis of Soil Acidification Research Based on CNKI Database

ZHENG Meiyong<sup>1</sup>, LIN Wei<sup>2</sup>, XU Qian<sup>2</sup>, PENG Yulong<sup>3</sup>, LIU Minghong<sup>3</sup>, GONG Pengfei<sup>4</sup>, LIU Yuedong<sup>1</sup>, KONG Fanyu<sup>1</sup>, ZHANG Jiguang<sup>1\*</sup>

(1 Institute of Tobacco Research of CAAS, Qingdao, Shandong 266101, China; 2 Nanping Branch of Fujian Provincial Tobacco Company, Nanping, Fujian 266109, China; 3 Zunyi Branch of Guizhou Provincial Tobacco Company, Zunyi, Guizhou 563000, China; 4 Yan'an Branch of Shaanxi Provincial Tobacco Company, Yan'an, Shaanxi 716000, China)

**Abstract:** In order to explore the hotspots and development trends of domestic soil acidification research in recent years, the statistics and mapping of domestic soil acidification research literatures, including institutions, keywords, literature citations and other information charts were made, and the development trend of soil acidification research, high-yield institutions, high-frequency keywords and other information were explored based on the CNKI database by using the statistical analysis, clustering and CiteSpace information visualization software and bibliometric method. The results indicated that the theme of soil acidification research in China had gradually shifted from forest soil to farmland soil. Acid deposition and soil chemistry had been the focus of attention in soil acidification research. Research institutions were mainly concentrated in universities and research institutes. At the same time, high-frequency keywords showed that domestic soil acidification research mainly focused on acid deposition, fertilization management, soil structure, crop growth, acidification causes and improvement, continuous cropping obstacles and soil pollution. This study can not only help to fully understand the status and progress of domestic soil acidification research, but also provide an important reference for the research and application of farmland soil acidification improvement.

**Key words:** Soil acidification; CNKI; Knowledge map; Bibliometrics

土壤酸化即在自然和人为条件下土壤 pH 降低的现象, 是交换性盐基阳离子淋失的过程<sup>[1]</sup>, 这种过程是土壤退化的一种重要表现形式。土壤 pH 对土壤环

境及植物生长至关重要, 土壤酸化后对农业生产及生态环境具有严重的影响, 一方面土壤酸化会直接影响土壤养分的有效性进而影响土壤生产力<sup>[2]</sup>, 另一方面

①基金项目: 中国农业科学院科技创新工程项目(ASTIP-TRIC06)、福建省烟草公司南平市公司科技项目(MYK2017-01-04)、贵州省烟草公司遵义市公司科技项目(201707)和湖北省烟草公司科技项目(027Y2019-017)资助。

\* 通讯作者(zhangjiguang@caas.cn)

作者简介: 郑梅迎(1992—), 女, 河南偃师人, 硕士研究生, 主要研究方向为烟田土壤改良与调控。E-mail: 641634611@qq.com

土壤酸化会改变整个土壤微环境,导致土壤微生物微生态环境及群落结构失衡,极易造成农作物土传病害的发生<sup>[3]</sup>。土壤酸化还会影响土壤中的重金属活性,有数据显示,土壤 pH 每下降一个单位,重金属 Cd 的活性就会提升 100 倍<sup>[4]</sup>,这会对农产品质量安全产生重要影响,对人类健康构成严重的潜在威胁。因而土壤酸化已成为土壤、生态环境等学科领域广泛关注的重大问题。

我国土壤酸化现象形势严峻,据统计 1980—2000 年间,中国农田的酸化趋势明显,pH 平均下降了 0.13~0.8 个 pH 单位<sup>[5]</sup>,这可能与氮肥的大量不合理施用及酸沉降等因素有关<sup>[6-7]</sup>。酸沉降的形成是大气物理和大气化学现象相结合的产物,主要受工业、汽车尾气等人类活动的影响<sup>[8-10]</sup>。酸沉降包括干、湿沉降。干沉降是指通过气体扩散与固体物形成气溶胶降落的沉降,湿沉降是指 pH 低于 5.6 的降雨、酸雾、酸雪等,酸雨是其最常见的形式<sup>[11]</sup>。大量研究表明<sup>[12-15]</sup>,在酸雨条件下,土壤中的盐基离子易被  $H^+$  交换淋失,产生交换性酸导致土壤酸化。而长期氮肥过量施用被认为是导致农田土壤酸化的最主要原因<sup>[5]</sup>。据统计,由人为施用氮肥导致土壤酸化比酸雨引发的土壤酸化程度高<sup>[5]</sup>。施用氮肥导致土壤酸化的机制十分复杂,其中  $NH_4^+$  的硝化过程引起的酸化作用最大<sup>[16]</sup>。徐仁扣等<sup>[14]</sup>研究表明铵态氮肥用量达  $80\text{ kg/hm}^2$  时会加速土壤酸化。一般来讲,1 mol 的  $NH_4^+$  硝化后释放 2 mol  $[H^+]$ ,若  $NO_3^-$  被植物吸收,土壤中将会产生 1 mol  $[H^+]$ ,但若  $NO_3^-$  淋失,土壤中将会有 2 mol  $[H^+]$  产生<sup>[17]</sup>。而  $NO_3^-$  极易淋失,导致了土壤中产生了大量  $[H^+]$ ,从而导致土壤的酸化<sup>[18]</sup>。

近年来,伴随着我国农田酸化进程加快和面积不断扩大,土壤酸化问题已成为土壤环境领域的研究重点和热点,相关科研文献也越来越多。为全面了解国内土壤酸化的研究热点与发展趋势,本文采用文献计量学方法,运用 Excel 及数据可视化分析工具 CiteSpace,对国内土壤酸化研究文献进行计量及可视化分析,挖掘土壤酸化的研究热点及发展趋势,以期为我国土壤酸化基础研究及改良技术方面提供重要的科学依据与参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

文献检索的数据来源在很大程度上直接决定了文献计量分析时的有效性和准确性。CNKI 是国内最大的文献数据平台之一,收录的文献在质量和数量上

最为全面。本文以 CNKI 数据库作为主要数据来源,高级检索中输入主题词“土壤酸化”,文献类型选择期刊论文、学位论文和会议论文,时间跨度从 1958 年截止到 2017 年 12 月 31 日,共检索到 1 324 条文献记录,剔除 2017 年发表、2018 年见刊的 4 篇文章,共检索到 1 320 条文献记录。分批次以“XXX\_download.txt”为文件名下载并储存为“Refworks”格式。

### 1.2 分析方法

通过 CiteSpace 数据可视化分析工具对 1 320 篇文献研究机构的科学合作网络、关键词的共现网络及突发性进行检测分析。同时运用 Excel 对年度发文量、研究机构、高被引文献等进行计量分析。通过对图谱及计量结果分析得出土壤酸化领域的高产机构、研究现状与前沿热点。

## 2 结果与分析

### 2.1 年度发文量分析

**2.1.1 发文量趋势分析** 某一学术领域的年度发文量在一定程度上可以代表该领域近年来的被关注趋势。图 1 为土壤酸化研究各年度发文数量的变化趋势。从图中可以看出,土壤酸化研究的论文数量在整体呈上升态势,并且大致可以划分为 3 个阶段。1958—1986 年为第一阶段,这一阶段的发文量较少,1958 年出现第一篇与土壤酸化研究有关的论文,29 a 间仅有 10 篇关于土壤酸化的论文见刊。我国学者开始关注土壤酸化问题,相关研究方面尚处于萌发阶段。1990—2003 年称之为第二阶段,这一阶段的发文量处于缓慢增长阶段,人们开始意识到土壤酸化的问题,学术研究处于初级的探索研究阶段。2004—2017 年为第三阶段,此阶段的发文量呈指数型递增,其中 2015 年达到最高为 183 篇。新世纪以来对土壤酸化的研究报道大量出现<sup>[19-21]</sup>,土壤酸化问题成为广大农业科技工作者的研究热点,发文量的递增反映出该研究主题的热度,但从侧面也反映出土壤酸化现象的日益严重。

**2.1.2 不同发文阶段主题词统计分析** 通过对第二、三阶段的主题词进行统计,列出了每个阶段的高频主题词(表 1)。第二阶段关于土壤酸化的研究主题主要集中在酸性降水、土壤化学、森林土壤等方面,酸性降水及土壤化学等方面研究一直处于不断探索发展中,有关模拟酸雨及盐基离子等的研究方法也不断改进和完善。第三阶段的研究主题主要集中在土壤酸碱度、农业用地、酸性降水、改良措施等方面。特

别是近些年来，酸化研究主题逐步从森林土壤过渡到农田土壤，研究人员通过对比土壤普查数据、开展长期施肥及淋溶试验等，进一步阐明农田土壤酸化的演变规律、土壤酸化机理及危害，充分认识到当前我国农田酸化的严峻性和改良研究的紧迫性。

## 2.2 高产发文机构及专利申请分析

**2.2.1 高产发文机构计量分析** 表 2 总结了土壤酸化研究发文量大于 20 篇的前 10 所机构。通过对这些机构进行统计分析发现，发文量第一的为中国科学院南京土壤研究所共 62 篇，其次是南京农业大学 46 篇和湖南农业大学 41 篇，3 家研究结构的发文量占前 10 所研究结构发文总量的 46.56%，在土壤酸化研究领域占据主导地位。同时从各研究机构分布来看，除中科院系统的南京土壤研究所外，其余 9 个机构均为各大涉农高校，9 所高校的发文量占总量前 10 所机

构 80.63%，表明涉农高校成为开展土壤酸化研究的主要力量。此外在研究机构的地域分布中，属我国北方的涉农高校(吉林农业大学和山东农业大学)发文量占比仅为 17.19%，其余 8 家单位均分布在我国南方地区，这与我国南方地区土壤酸化较为严重的现实相吻合。

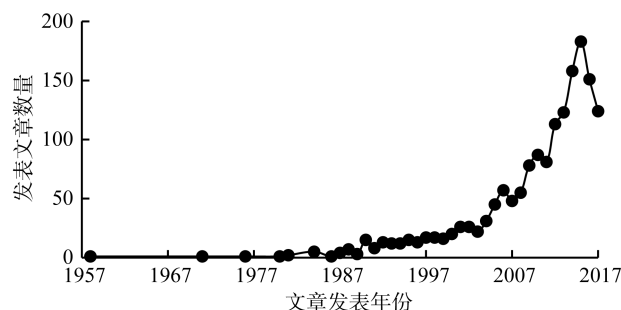


图 1 1958—2017 年国内土壤酸化研究文献数量变化趋势图  
Fig. 1 Changes in domestic literature number of soil acidification research from 1958 to 2017

表 1 不同发文阶段高频主题词统计

Table 1 Statistics of high-frequency keywords in different post periods

第二阶段			第三阶段		
排名	主题词	频次	排名	主题词	频次
1	土壤酸化	143	1	土壤酸化	580
2	酸性降水	86	2	酸性土壤	176
3	土壤化学	56	3	土壤酸碱度	165
4	森林土壤	23	4	农业用地	152
5	茶园土壤	23	5	酸性降水	131
6	园艺作物	11	6	土壤化学	105
7	热带土壤	9	7	改良措施	68
8	岩成土	7	8	茶园土壤	60
9	紫色土	7	9	土壤调(普)查	56
10	土壤肥力	6	10	热带土壤	33

表 2 1958—2017 年土壤酸化研究发文量前 10 所机构  
Table 2 Top 10 research institutions in soil acidification literatures published in 1958-2017

排名	机构	发文量(篇)
1	中国科学院南京土壤研究所	62
2	南京农业大学	46
3	湖南农业大学	41
4	浙江大学	30
5	吉林农业大学	28
6	山东农业大学	27
7	华中农业大学	24
8	西南大学	22
9	华南农业大学	20
10	西南农业大学	20

### 2.2.2 国内机构申请专利计量分析 为进一步了

解相关研究机构对土壤酸化研究及改良方面的应用热点，利用 CNKI 数据库结合国家知识产权局网站对国内近年有关土壤酸化的发明专利进行了检索，并对各专利申请机构进行整理分类。以专利申请日统计，截至 2017 年 12 月 31 日有关土壤酸化的发明专利共有 337 项。其中专利申请排名前 10 的机构中有 7 家为涉农高校或科研院所，3 家为企事业单位(表 3)，凸显出全社会对土壤酸化及其改良问题的高度关注。农业部 2015 年下发了《耕地质量保护与提升行动方案》，其中土壤酸化改良是一项重要技术内容，随后各省市区别制定印发了当地的耕地质量保护与提升实施方案，2015 年湖北恩施州还专门针对土壤酸化下发《恩施州耕地土壤酸化治理推进方案》等文件。可见，土壤酸化问题的研究及治理已成为促

表 3 国内土壤酸化研究的申请专利机构信息表  
Table 3 Patent numbers of soil acidification and applicants

序号	机构	申请专利数量(项)
1	山东省招远市农业技术推广站	12
2	成都点石创想科技有限公司	12
3	中国科学院南京土壤研究所	6
4	江苏省农业科学院	6
5	浙江省农业科学院	6
6	福建省农业科学院土壤肥料研究所	6
7	中国科学院沈阳应用生态研究所	5
8	山东聊城鲁西化工第五化肥有限公司	5
9	华南农业大学	5
10	浙江大学	5

进耕地质量提升、保障农业可持续发展的重要基础。

**2.2.3 发文机构图谱分析** 土壤酸化研究发文机构图谱如图 2 所示, 图谱呈现出明显的离散型分布, 连线数量较少, 表明各研究机构之间的合作并不紧密, 中科院南京土壤研究所、中科院华南植物园、中科院大学及沈阳农业大学等各自开展的研究均相对独立。由图谱也可看出, 高校和科研院所土壤酸化研究中发挥着重要作用。当前处于信息化时代, 不同学科知识交互渗透和融合发展往往是解决一个问题的关键。因此, 土壤酸化研究的各科研单位间应加强交流合作, 寻求全方位多角度的知识融合途径和资源优势互补, 在土壤酸化的研究及治理过程中不断发展并寻求新的突破。

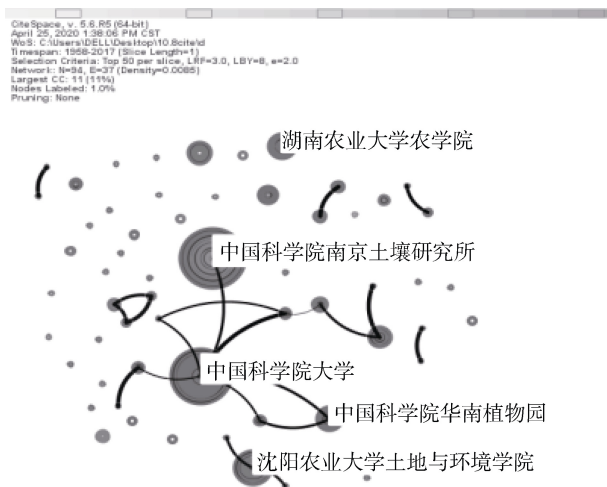


图 2 土壤酸化研究高产机构可视化图谱  
Fig. 2 Visualization of high-yield institutions in soil acidification research

## 2.3 关键词分析

**2.3.1 关键词共现聚类分析** 关键词是一篇论文的核心观点, 对某一领域的关键词进行共现聚类分析有助于挖掘某一研究领域的研究热点<sup>[22]</sup>。聚类共词

图谱共形成了 15 个主要聚类, 代表 1958—2017 年国内土壤酸化的主要研究领域, 表 4 总结了 15 个聚类主要的研究热点。其中最大的聚类有 7 个, 代表了土壤酸化研究的热点。

其中聚类 0 土壤环境、聚类 4 耕地和聚类 5 土壤结构, 这三类聚类涉及的对象主要有保护地、耕地及设施蔬菜等。保护地土壤是一种集约程度高的农业类型, 环境封闭, 不会受到酸沉降等造成的酸化影响, 氮肥的大量施用是其土壤酸化的最大因素。有研究表明保护地中土壤与普通农田相比有明显酸化和盐渍化现象<sup>[23]</sup>。农田养分过度投入及高强度利用易使土壤酸化, 并且造成耕作层变浅、有机质降低、重金属活化、有害微生物如寄生真菌增加等一系列问题。有机质作为土壤环境和结构的重要组成部分, 土壤有机质及结合态胡敏酸对土壤酸度及外来酸根离子具有很好的缓冲作用<sup>[24-26]</sup>, 并且可以明显克制铝毒, 但土壤腐殖质组成和数量对土壤酸化的缓冲机制还有待进一步研究。

聚类 1 生长、聚类 2 交换性酸和聚类 3 危害, 这三类涉及到酸化的评价及作物危害等。土壤交换性酸是评价土壤酸度的一个重要指标。越来越多的研究用交换性酸来评价土壤的酸化状况。对于聚类标签生长, 当前研究较多的是土壤酸化背景下, 氮磷元素利用对作物生长的影响。如土壤酸化影响核桃幼苗对磷元素的吸收利用, 易导致体内缺磷<sup>[27]</sup>, 苹果植株对氮素利用率随土壤 pH 的降低而降低<sup>[28]</sup>。对酸化危害研究较为关注的有铝毒、重金属活化等。土壤酸化显著活化土壤中可溶性铝、锰等, 对植物造成铝毒和锰毒害, 影响作物根系生长<sup>[29]</sup>。酸化同时也会活化土壤中重金属元素, 增强植物有效性。土壤酸化还会加剧土壤养分的损失, 降低养分有效性等, 这些危害最终都表现为影响作物的生长。

聚类 6 酸雨。酸雨被认为是引起土壤酸化的重要自然因素, 但形成酸雨的来源有自然和人为两部分。当土壤中可溶性物质随酸雨沿土壤剖面向下迁移, 盐基离子很容易被淋溶出土体, 造成土壤酸化<sup>[30]</sup>。目前对酸雨的研究手段一般为模拟酸雨及淋溶试验, 该方法因可控性强被广泛利用, 但实际操作过程中因填土不均匀, 土壤原有结构被破坏等原因, 使模拟效果与田间实际淋溶效果差别较大<sup>[31]</sup>。基于原状土的大尺寸土柱被引入模拟试验中<sup>[32]</sup>, 但该方法无法连续取样, 应用效率低, 后续要在原位、动态及智能化的方法上加强研发。

表 4 可视化图谱中前 15 个聚类标签的部分信息表  
Table 4 Partial information of top 15 cluster labels in visual map

标签	聚类名称	关键词
0	土壤环境	保护地土壤；农业土壤；黄瓜；有机质；黑土；机理；活性铝；设施；土壤盐渍化；耕地；耕种用地；农业用地；广昌县；硝酸盐；地理环境；面源污染；武进市；挪威云杉；预警；长期定位试验；工业“三废”；不合理使用；人为因素
1	生长	酸化土壤；磷素营养；水力学特性；盐基离子；马尾松；连作障碍；氮肥；病土；禽畜粪便；生物炭；红壤；光合特性；硝化作用；吸收速率；设施蔬菜；干旱胁迫
2	交换性酸	设施栽培；甜樱桃；改良试验；茶园；施肥；团聚体；竹园；酸碱缓冲能力；CEC；菜园土；交换性能；尿素；硝态氮；稳定性；修复效应；活性酸
3	危害	原因；酸雨；治理；雨；影响；土壤退化；高山蔬菜；防治；酸化(碱化)；土壤改良剂；模拟试验；玉米；调查报告；治理措施
4	耕地	耕种用地；农业用地；农业部；土壤调查；土壤普查；酸性土；高标准农田；化肥用量；棚室蔬菜；利川市；棚室；酸性土壤；土壤类型；测土配方施肥项目
5	土壤结构	蔬菜；土壤重金属；氮、磷、钾；无机污染物；缓冲能力；园艺作物；佛山地区；“宜施壮”旱田土壤调理剂；石灰改良；施用量；pH 值；重金属污染
6	酸雨	酸性降水；酸雨；森林；土壤酸度；土壤胶体；离子；设施土壤；淋溶；土壤化学；阴电荷；负电荷；毫克当量；土壤溶液
7	农作物	活性酸度；氢离子；都江堰市；有效酸度；作物；土壤成分；土壤养分；土壤肥力；土壤 pH；有机肥；连山区；土壤障碍因素；大棚土壤；产量；耕种用地；农业用地
8	果园	果树；褐土；施肥指导；镁肥；褐色土；森林土；产量水平；招远市；硅钙镁肥；钙镁磷肥；作物科学；烤烟；石灰性土壤
9	产量	水稻；耐酸性；第二次土壤普查；空间变化；旱地；晚稻；氮利用；膜下滴灌，缺铁黄化；有效养分含量；净硝化速率；调理剂；酸性土壤改良
10	养分	长期施肥；变化；酸碱缓冲容量；连作；辣椒；模拟酸沉降；秸秆还田；水稻土；重金属；生理代谢；辽宁；变化趋势；改良剂；酸碱度
11	土壤有机质含量	保水保肥；稻田土壤；永久基本农田；藏粮于地；影响因素；技术路径；等高种植；生物防蚀；国家粮食安全；地力等级；质量；基础地力；茶叶；次生盐碱化
12	酸化土壤	肥料；土地利用；植烟土壤；氮素利用效率；根系生理特性；耕地质量；改良技术；土类；分布特征；酸化趋势；临安市；农地土壤；生物有效性
13	土壤污染	土地污染；镉米；镉污染米；排毒；重金属；粮食安全；辽宁；土壤修复；污灌；污水灌溉；污染源；柴河铅锌矿
14	盐渍化	设施土壤；次生盐渍化；寿光；酸化；设施菜地；形成机理；调研；山东莱芜；酸化评估；盐分积累；氮肥利用；测定；矫正技术

**2.3.2 高频关键词突发性检测** 表 5 显示了 1958—2017 年出现最强突发性的前 20 个高频关键词。自 1988 年以来关键词发生变化，当年关于酸雨、酸性降水的研究开始大量出现，突发性强度指数达到 41.44，是至今为止突发性最强的关键词，表明人们将土壤酸化的研究重点转向酸雨方面。结合年度发文量的阶段划分，第一阶段高频关键词主要是酸雨，从第二阶段开始高频关键词出现多样化，包括园艺作物、盐基离子、红壤等。第三阶段高频关键词主要有防治措施、交换性酸、耕地、产量等，开始倾向于酸

化对农田作物影响及其酸化改良措施方面。

## 2.4 高被引文献分析

文献被引用次数常被用来作为文献学术水平和影响力的评价指标，被引用次数越多，说明该论文的科学知识生产质量越高，原始创新的成分越多<sup>[33-34]</sup>，研究结果被同行在文献中直接引用是文献影响力最重要的表现形式之一。当然，也存在一些综述性文章或者反映热点问题的文章被引频次较高的情况。表 6 为 1958—2017 年土壤酸化研究文献被引频次最高的前 10 篇文献的信息。被引频次最高的为易杰祥发表

在《华南热带农业大学学报》上的“土壤酸化和酸性土壤改良研究”综述文章,被引 318 次;徐仁扣发表在《农业环境保护》上的“某些农业措施对土壤酸化的影响”研究文章,被引 317 次,其次是赵其国发表在《土壤》上的“我国红壤的退化问题”的文章,被引用 263 次。同时被引频次较高的研究文献中在 CNKI 数据库中的下载量也较高,说明受到研究人员的关注程度较高。

### 3 讨论

就发文时间而言,我国对土壤酸化研究的关注时间相对较早,1958 年发表第一篇相关文献,但早期受关注度低,这与我国当时特定的历史阶段及电力、化肥等的工业发展状况有一定关系。现阶段的研究表明土壤酸化的成因主要有两个:肥料特别是氮肥的过度使用及酸沉降。关于酸沉降的认识有一个历史过程,直到 20 世纪 70 年代末 80 年代初,酸沉降才被确定为一个潜在环境问题<sup>[35-36]</sup>。2005 年,我国开始控制工业污染源排放问题,特别是二氧化硫的排放<sup>[37]</sup>。而我国的化肥工业发展始于 20 世纪 30 年代,到 20 世纪 70、80 年代才发展到技术国产化,才开始大量施用氮肥<sup>[38]</sup>。此后伴随集约化农业的发展及化肥大量施用,土壤酸化问题及其相关研究越来越

受到关注。

表 5 1958—2017 年突发性最强的前 20 个关键词  
Table 5 Top 20 keywords with strongest citation bursts from 1958 to 2017

关键词	突发强度	突发开始年份	突发结束年份
降雨	5.28	1988	1991
酸性降水	5.33	1988	1991
酸雨	30.83	1988	2008
土壤酸化	23.98	1989	2003
园艺作物	3.55	1998	2007
盐基离子	4.01	2001	2008
红壤	3.71	2002	2006
土壤	3.83	2003	2010
防治措施	3.73	2006	2009
果园	2.71	2009	2011
土壤盐渍化	3.41	2009	2012
黑土	2.63	2010	2013
茶园土壤	3.34	2011	2012
作物	2.47	2012	2014
交换性酸	3.83	2012	2013
生长	2.55	2013	2014
土壤 pH	3.00	2013	2017
耕地	3.05	2014	2017
产量	4.58	2014	2017
水稻	4.38	2015	2017

表 6 1958—2017 年土壤酸化研究文献被引频次前 10 位排序  
Table 6 Top cited literatures of soil acidification from 1958 to 2017

排名	第一作者	题名	来源	被引	下载量
1	易杰祥	土壤酸化和酸性土壤改良研究	《华南热带农业大学学报》	318	4 341
2	徐仁扣	某些农业措施对土壤酸化的影响	《农业环境保护》	317	1 245
3	赵其国	我国红壤的退化问题	《土壤》	263	997
4	杨昂	中国酸雨的分布、成因及其对土壤环境的影响	《土壤》	249	1 782
5	肖辉林	大气氮沉降对森林土壤酸化的影响	《林业科学》	208	1 136
6	张永春	长期不同施肥对太湖地区典型土壤酸化的影响	《土壤学报》	167	1 451
7	张桃林	高度集约农业利用导致的土壤退化及其生态环境效应	《土壤学报》	163	1 361
8	田仁生	酸化土壤中铝及其植物毒性	《环境科学》	151	489
9	马祥庆	人工林地力衰退研究综述	《南京林业大学学报》	150	594
10	曾希柏	山东寿光不同种植年限设施土壤的酸化与盐渍化	《生态学报》	149	1 172

国内土壤酸化文献近年来呈不断增长趋势,土壤酸化的研究方向也在不断转换,研究对象呈现出多样性,研究内容的广度和深度不断得到拓展和加深,不同土壤的酸化机理、机制、危害及改良技术等方面研究内容不断深化<sup>[39-41]</sup>,一些诸如纳米 X 射线 CT 系统、同位素质谱仪、核磁共振、定位联网监测等相关研究手段和方法也在不断发展和更新。早期对土壤酸化的研究集中在酸雨方面,目前土壤酸化及其机理的研究

涉及长期施肥、连作、缓冲性能、设施栽培等方面,并延伸出长期土壤酸化模型(LTSAM)<sup>[42]</sup>、区域尺度土壤酸化定量研究模型<sup>[39]</sup>、土壤酸化空间信息模型<sup>[43]</sup>等基于土壤养分运移、电荷及物质平衡等原理的模型来预测土壤酸化趋势。研究对象也涉及作物、耕地、土壤结构、微生物、连作障碍、土壤污染等诸多方面。与国外同类研究相比,国内土壤酸化研究起步较晚,与欧美国家仍存在一定差距<sup>[17,44]</sup>。鉴于我国农田一直

处于高强度利用阶段,关于现代农田土壤酸化研究理论与方法体系还需要进一步发展完善。

土壤酸化是一个基础与应用相兼顾的学科领域,特别是在酸化改良技术研发方面,还需要针对不同作物或农田、不同产业体系开展科技攻关,目前在农田、茶园、烟田等的改良领域已经开展了许多研究与应用,但主要是关于生石灰、白云石粉、土壤调理剂及秸秆还田等方面的应用,效果不一<sup>[45]</sup>,如施用生石灰改良酸性土,短期的效果较好,但长期大量施用会破坏土壤结构,造成土壤板结。开发无副作用且能较好调理土壤的改良剂是当前研究工作的一个重点。目前秸秆生物炭、碱性肥料及复合综合调理是人们关注的热点,对其的研究还处于试用阶段<sup>[46]</sup>,后续的研究工作应集中在改良剂选择、操作技术、改良标准与评价、集成应用等方面。

#### 4 结论

1)1958—2017 年间,我国关于土壤酸化研究的发文量呈现出逐年上升的趋势,尤其在 2004 年之后,年度发文量呈现指数递增趋势。

2)高校和科研院所所在土壤酸化研究中发挥着重要作用,但各机构之间交流合作不紧密。

3)国内土壤酸化研究主要集中在酸沉降、施肥管理、土壤结构、作物生长、酸化成因及改良、连作障碍及土壤污染等方面,土壤酸化研究的主题从森林土壤逐渐转移至农田土壤,酸沉降及土壤化学在土壤酸化研究中一直属于重点关注对象。

#### 参考文献:

- [1] 于天仁. 我国农业持续发展和生态环境中重大土壤问题的化学机理研究建议[J]. 土壤, 2001, 33(3): 119-122.
- [2] 王金满, 杨睿璇, 白中科. 草原区露天煤矿排土场复垦土壤质量演替规律与模型[J]. 农业工程学报, 2012, 28(14): 229-235.
- [3] 谷端银, 高俊杰, 焦娟, 等. 设施土壤酸化研究现状、产生机理及防治措施[J]. 化工管理, 2016(34): 84-86.
- [4] El-Falaky A A, Abouloos S A, Lindsay W L. Measurement of cadmium activities in slightly acidic to alkaline soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1991, 55(4): 974-979.
- [5] Guo J, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 327(5968): 1008-1010.
- [6] Schroder J L, Zhang H L, Girma K, et al. Soil acidification from long-term use of nitrogen fertilizers on winter wheat[J]. Soil Science Society of America Journal, 2011, 75(3): 957-964.
- [7] 刘颖. 浅析黑龙江省农田黑土酸化的原因及对策[J]. 黑龙江农业科学, 2010(5): 49-52.
- [8] 杨昂, 孙波, 赵其国. 中国酸雨的分布、成因及其对土壤环境的影响[J]. 土壤, 1999: 14-19.
- [9] 徐义刚, 周光益, 吴仲民, 等. 广州市典型森林区酸雨的化学组成、季节变化及其成因探讨[J]. 生态学报, 2001, 21(11): 1775-1781.
- [10] 段浩, 苏智先, 李成柱, 等. 南充市酸雨的时空分布及其形成机制的初步探讨[J]. 中国环境监测, 2008, 24(3): 79-83.
- [11] Adriano D C, Johnson A H. Acidic precipitation[M]. Springer Science & Business Media, 1989.
- [12] 刘俐, 周友亚, 宋存义, 等. 模拟酸雨淋溶下红壤中盐基离子释放及缓冲机制研究[J]. 环境科学研究, 2008, 21(2): 49-55.
- [13] 李佳, 李巍, 侯锦湘, 等. 贵州地区酸雨作用下典型森林植被冠层淋溶规律研究[J]. 中国环境科学, 2010, 30(10): 1297-1302.
- [14] 徐仁扣. 土壤酸化及其调控研究进展[J]. 土壤, 2015, 47(2): 238-244.
- [15] Delhaize E, Ryan P R. Aluminum toxicity and tolerance in plants[J]. Plant Physiology, 1995, 107(2): 315-321.
- [16] 许中坚, 刘广深, 俞佳栋. 氮循环的人为干扰与土壤酸化[J]. 地质地球化学, 2002, 30(2): 74-78.
- [17] de Vries W, Breeuwsma A. The relation between soil acidification and element cycling[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 1987, 35(3): 293-310.
- [18] Tong D L, Xu R K. Effects of urea and  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  on nitrification and acidification of Ultisols from Southern China[J]. Journal of Environmental Sciences-China, 2012, 24(4): 682-689.
- [19] 王伟妮, 鲁剑巍, 鲁明星, 等. 水田土壤肥力现状及变化规律分析——以湖北省为例[J]. 土壤学报, 2012, 49(2): 319-330.
- [20] 文星, 李明德, 涂先德, 等. 湖南省耕地土壤的酸化问题及其改良对策[J]. 湖南农业科学, 2013(1): 56-60.
- [21] 李伟峰, 叶英聪, 朱安繁, 等. 近 30a 江西省农田土壤 pH 时空变化及其与酸雨和施肥量间关系[J]. 自然资源学报, 2017, 32(11): 1942-1953.
- [22] 黄英君, 刘敏. 海外农业保险研究的新发展——基于 CiteSpace III 的文献计量分析[J]. 保险研究, 2016(11): 116-127.
- [23] 王辉, 董元华, 安琼, 等. 高度集约化利用下蔬菜地土壤酸化及次生盐渍化研究——以南京市南郊为例[J]. 土壤, 2005, 37(5): 530-533.
- [24] 夏卿. 吉林玉米带黑土酸度性质研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2007.
- [25] 陈兰, 唐晓红, 魏朝富. 土壤腐殖质结构的光谱学研究进展[J]. 中国农学通报, 2007, 23(8): 233-239.
- [26] 李阳, 王继红. 长期施肥土壤腐殖质变化及其与土壤酸度变化的关系[J]. 南京农业大学学报, 2016, 39(1): 114-119.
- [27] 张翠萍, 孟平, 李建中, 等. 磷元素和土壤酸化交互作用对核桃幼苗光合特性的影响[J]. 植物生态学报, 2014, 38(12): 1345-1355.

- [28] 葛顺峰, 季萌萌, 许海港, 等. 土壤 pH 对富士苹果生长及碳氮利用特性的影响[J]. 园艺学报, 2013, 40(10): 1969-1975.
- [29] 周海燕. 胶东集约化农田土壤酸化效应及改良调控途径[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
- [30] 朱齐超. 区域尺度中国土壤酸化定量研究及模型分析[D]. 北京: 中国农业大学, 2017.
- [31] 刘莉, 杨丽军, 白颖艳, 等. 土壤酸化的研究进展[J]. 贵州农业科学, 2017, 45(10): 83-87.
- [32] 吴漩, 郑子成, 李廷轩, 等. 设施栽培下原状土与扰动土水分特性的试验研究[J]. 水土保持通报, 2013, 33(6): 99-102.
- [33] 刘则渊, 陈悦, 侯海燕. 科学知识图谱: 方法与应用[M]. 北京: 人民出版社, 2008.
- [34] 周辉, 张光红, 蔡晖, 等. 原创性研究成果的 SCI 引用分析[J]. 中国科学基金, 2002, 16(2): 85-87.
- [35] Zhao D, Xiong J. Acidification in South western China// Rodhe H, Herra R. Acidification in tropical countries[C]. SCOPE, John Wiley & Sons, 1988: 317-346.
- [36] Ding G A, Xu X B, Fang X M, et al. Current status and future of acid rain in China[J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(24): 2076-2081.
- [37] 李青青. 如何减缓中国的土壤酸化问题[J]. 中国环境科学, 2010, 30(3): 295.
- [38] 王明明, 王虎. 我国化肥产业发展趋势[J]. 化工技术经济, 2004, 22(11): 17-20.
- [39] 徐福祥. 基于 GIS 技术的福建省耕地土壤酸化研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2015.
- [40] 杨金玲, 张甘霖, 黄来明. 典型亚热带花岗岩地区森林流域岩石风化和土壤形成速率研究[J]. 土壤学报, 2013, 50(2): 253-259.
- [41] 段艳玲. 一种营养缓释型酸性土壤改良剂及其制备方法: CN108218582A[P]. 2018-06-29.
- [42] 安俊岭, 黄美元, 陶树旺, 等. 长期土壤酸化模型 (LTSAM)[J]. 环境科学学报, 1999, 19(3): 284-291.
- [43] 杨胜天, 盛浩然, 宋文龙, 等. 土壤酸化空间信息模型构建及其在贵州龙里实验区的应用[J]. 环境科学学报, 2010, 30(1): 24-33.
- [44] 易杰祥, 吕亮雪, 刘国道. 土壤酸化和酸性土壤改良研究[J]. 华南热带农业大学学报, 2006(1): 23-28.
- [45] 徐仁扣. 秸秆生物质炭对红壤酸度的改良作用: 回顾与展望[J]. 农业资源与环境学报, 2016, 33(4): 303-309.
- [46] 樊小林, 李进. 碱性肥料调节香蕉园土壤酸度及防控香蕉枯萎病的效果[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4): 938-946.