

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2021.05.011

陈香, 梁林洲, 李建刚, 等. 基于专利数据的连作障碍防治技术发展趋势分析. 土壤, 2021, 53(5): 969–976.

## 基于专利数据的连作障碍防治技术发展趋势分析<sup>①</sup>

陈 香, 梁林洲\*, 李建刚, 李 汛, 李卫民, 沈仁芳

(土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

**摘 要:** 连作障碍严重影响着作物的产量和品质, 研发高效的连作障碍防治技术是实现集约化农业可持续生产的关键。基于 incoPat 科技创新情报平台, 检索并分析 2000—2019 年国内外连作障碍防治技术的专利产出, 对专利申请数量、技术构成、区域分布、主要申请人、法律状态等方面进行分析, 以揭示国内外本领域的研发状况、技术发展趋势和产学研情况。结果表明: 近年来, 专利数量急剧增加; 结合现代生物和材料等新兴技术发展, 新的研发充分考虑了技术产品化和应用的结合; 我国的专利申请机构多为企业和个人, 高校和科研院所申请的专利转化率低, 高校/科研院所与企业合作申请的专利数量少。技术的应用成为焦点, 生物和材料新技术成果正引入技术研发; 我国的产学研合作和专利技术质量亟需加强。

**关键词:** 连作障碍; 土传病害; 重茬; 专利分析; 发展趋势

**中图分类号:** S156; G255.53 **文献标志码:** A

### Analysis on Development Trend of Continuous Cropping Obstacle Control Based on Patent Information

CHEN Xiang, LIANG Linzhou\*, LI Jiangang, LI Xun, LI Weimin, SHEN Renfang

(State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

**Abstract:** Continuous cropping obstacle seriously affects crop yield and quality. Research and development of efficient prevention technology is the key to achieve sustainable intensive agricultural production. By using the incoPat technology innovation information platform, we searched and analyzed home and abroad patents of continuous cropping obstacle prevention technology from 2000 to 2019. From the number of patent applications, technical composition, regional distribution, main applicants, legal status and other aspects, we revealed the research and development status, technology development trend and production, education and research status. The results showed that in recent years, the number of patents had increased dramatically. Combined with the development of the modern biology and material technologies, new researches have fully considered the combination of the application of biological prevention and control technology. Patent applicants in China were mostly enterprises and individuals. The conversion rate of patents applied by universities and scientific research institutes was not very high, and the number of patent jointly applied by universities/scientific research institutes and enterprises was also small. Technology application has become the hotspot, and new biological and material technological achievements are introduced into the development of technology. The cooperation of industry-university-research and the quality of patented technology in China urgently need to be strengthened.

**Key words:** Continuous cropping obstacles; Soil-borne diseases; Continuous cropping; Patent analysis; Development trend

连作障碍,是指连续在同一块土壤上栽培同种作物或近缘作物引起的作物生长发育异常,例如作物生长状况变差、产量降低、品质变劣及病虫害发生加剧等现象的发生<sup>[1-2]</sup>。连作障碍是长期困扰农业生产的

复杂问题,各国学者也对作物连作障碍形成机理与防治进行了多方面研究。连作障碍现象普遍存在于粮食、蔬菜、果树、药材、花卉等作物,导致连作障碍的原因包括养分过度消耗、土壤理化性质恶化、病虫

①基金项目: 国家重点研发计划专项 (2016YFD0200302)和国家自然科学基金项目 (41977055)资助。

\* 通讯作者(lzliang@issas.ac.cn)

作者简介: 陈香 (1992—), 女, 江苏泰州人, 硕士, 主要从事作物土传病害的微生物防治研究。E-mail: xchen@issas.ac.cn

害增加和有毒物质(包括化感物质等)的累积等<sup>[2]</sup>。研发绿色、有效的连作障碍防治技术或产品是实现农业集约化可持续发展的有力保障,国内外许多科学家和企业投入大量的研究致力于寻求有效的解决方案。

专利文献是技术信息的有效载体和重要表现形式,专利信息不仅能快速反映科学技术发展的最新前沿,也可以反映市场关注的技术和相关企业的自主知识产权战略布局<sup>[3-6]</sup>。通过专利文献分析,可以获取某一领域内比较活跃的企业及其技术水平等信息,从而有助于预测技术研发和市场发展的趋势。作物连作障碍防治保持着较高的研究热度,国内外相关专利数量呈显著增加趋势,多种防治技术被研发和利用,但系统总结其专利申请情况,挖掘技术、产业、法律、市场等信息,采用定量和定性相结合的分析方法进行专利情报分析尚未见到相关报道。

本文基于 2000—2019 年国内外连作障碍防治技术的专利申请趋势、技术构成、法律及运营等要素分析,揭示该领域的专利现状和发展态势,提出未来研发建议与展望,以期为我国连作障碍防治技术领域相关科研人员开展研发和国家产业技术创新布局提供支撑。

## 1 数据来源与分析方法

### 1.1 数据来源

本文以连作障碍防治技术为研究对象,利用连作障碍及相关概念与检测关键词相结合的检索策略构建检索式,采用北京合享智慧科技有限公司开发的 incoPat 科技创新情报平台作为数据源(<https://www.incopat.com/>)。为保证专利文献检索的全面性,先分解检索要素,后在检索平台中“申请日”项中设定检索截止日为 2020 年 2 月 29 日,检索式为“(连作障碍) or (重茬) or ((continuous cropping or replant) and (disorder or obstacle or injury or injuries or problem or bacteria or fungi))”,统计全球专利申请情况。通过逐次阅读分析初步的检索结果进行人工去噪并标引,最终获得有效专利数据 1 760 件,其中中国专利申请 1 572 件。

### 1.2 分析方法

借助于 incoPat 数据库的专利分析平台以及 Excel 2016 分析软件,对连作障碍防治技术领域相关专利数据进行计量统计和可视化分析。分别以专利申请量、申请人、专利技术特征等为指标进行分析,揭示土壤连作障碍防治领域的专利文献分布现状、竞争态势、主要的技术特征、研究热点和研究发展趋势。

## 2 结果与分析

### 2.1 专利申请趋势

分析作物连作障碍防治技术领域专利申请趋势,可反映该技术领域的创新和发展的变化趋势,为在该技术领域内的专利布局提供重要依据。图 1 表明,2000—2008 年,连作障碍防治技术领域专利数量处于较低水平,年均申请量为 16 件。2009 年专利申请量为 75 件,是 2008 年申请量的 2.7 倍。2009—2012 年,专利申请处于缓慢发展期,该时期以企业和个人作为申请人类型的数量增多。2013—2016 年,专利申请数量急剧上升,技术分布更为广泛,处于成长期,研发速度不断加快,专利申请人以企业为主。2017 年专利申请量稍有降低,但也保持在较高水平。由于专利从申请到公开有 18 个月的滞后期,2018 年、2019 年的部分专利处于未公开状态,因此,2018 年和 2019 年专利数据仅供参考。专利区域分布分析可以帮助了解各个国家或地区在作物连作障碍防治技术领域的研发实力、重点技术领域等信息。1999 年以前,日本是主要的专利申请国,占据全球一半以上的专利申请。2013 年之后,中国专利申请量占全球专利总量的 95% 以上,中国在作物连作障碍防治领域的专利申请量对全球专利申请量的变化起主导作用,其专利受理量高达 1 572 件,远远超过专利受理量位于第二的日本,表明中国在作物连作障碍防治技术领域的市场潜力较大。

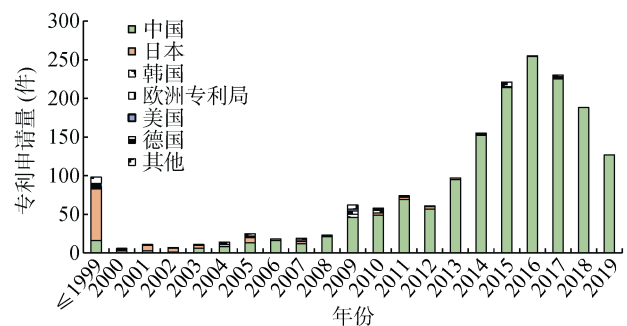


图 1 连作障碍领域专利申请数量的年度变化趋势  
Fig. 1 Annual variation trends of patent applications for continuous cropping obstacles

### 2.2 专利申请主体

通过统计分析作物连作障碍防治技术领域的专利申请人可以了解主要技术拥有者,帮助识别追踪竞争对手及其核心技术。表 1 显示,连作障碍防治技术领域国内外专利申请人类型均以企业为主。中国企业申请专利的数量占总申请量的 40.84%; 其次是个人申请,占 22.96%; 高校和科研院所分别占 17.24% 和

18.89%。国外专利申请数据显示,企业的申请数量占其总申请量的 57.98%;个人位于其次,占比为 34.04%。对于中国专利而言,企业/个人与高校/研究所联合申请的专利占 2.61%,高校与研究所联合申请的专利仅占 0.51%。在国外专利中,个人间的合作以及企业和大专院校的合作较多,合作专利总数占国外专利总量的 19.15%。

专利运营是实现专利资产资本化的重要途径,可以反映专利与市场接轨的程度,专利许可、质押、转让是专利运营的重要方式。据表 1 可知,在连作障碍

防治技术领域中国有 80 件专利发生转让,发生实质性专利转让的为 57 件。企业/个人和高校/研究机构专利的转让率分别为 3.75% 和 1.27%。许可的专利有 8 件,其中 2 件发生许可的专利是南京农业大学申请的。企业申请的专利有 7 件发生专利质押。国外专利有 11 件发生转让,转让率为 5.85%。专利被引证的数据显示,52.67% 的中国专利被引证,引证次数 $\leq 5$ 次、6~10次和 11~20次的占比分别为 35.37%、10.05%和 5.47%,被引证 $\geq 20$ 次的中国专利仅为 1.78%。国外专利被引证次数集中在 $\leq 5$ 次,达到 94 件。

表 1 连作障碍领域国内外专利申请主体情况统计(件)  
Table 1 Statistics of home and abroad patent applicants in field of continuous cropping obstacles

申请人类型	总申请量	合作专利申请量				不同被引证次数的专利申请量				不同运营手段的专利申请量		
		企业	个人	科研机构	大专院校	$\leq 5$ 次	6~10次	11~19次	$\geq 20$ 次	专利许可	专利质押	专利转让
企业	642(109)	0(8)	6(2)	18	20(12)	190(46)	66(13)	32(6)	6(1)	2	7	33(2)
个人	361(64)	6(2)	0(14)	2	1	149(32)	34(7)	23(3)	11(2)	0	0	26(6)
科研机构	297	18	2	0	8	103	23	9	5	3	0	6
大专院校	271(21)	20(12)	1	8	0	93(7)	31	16	4	3	1	14(3)
团队	49	2	0	2	1	20	3	3	0	0	0	1
其他	10(17)	1	0	0	0	1(9)	1	3(1)	2	0	1	0

注:表中括号内数字为国外专利申请量。

全球排名前 10 位的专利申请人均来自中国(图 2),其中 5 家企业,4 家高校,1 家科研单位。国内外申请的企业占比均较大,表明作物连作障碍防治技术已经进入产业化阶段。专利申请量居于首位的南京农业大学以 48 项远远领先于其他机构,表明南京农业大学在连作障碍防治技术领域具有重要的研发实力。江苏新天地生物肥料工程中心有限公司的专利申请量为 24 件,均为与南京农业大学合作申请。图 2 还统计了全球排名前 10 位的国外专利申请人,排名第一的是的美国公司 Adjuvants Unlimited LLC,专利申请量仅为 7 件。申请人 Ebara Corporation、Seiwa Co Ltd、Tanaka tomoji、Yamane motohiro、Ajinomoto KK、Asaoka hisatoshi、Fumakilla Ltd、Chissoasahi Fertilizer Co., Ltd 的国别均为日本。

### 2.3 专利技术领域

图 3 展示了国内外作物连作障碍防治技术的发展趋势。2000 年之前,国外专利申请数量较多,主要防治技术为化学防治、改善种植制度。2001—2008 年,各个防治技术均有专利申请且数量较低。2009 年南京农业大学集中申请生物技术防治领域专利,生物防治技术呈现一个突出增长点,申请量为 19 件;国外专利数量为 14 件。2015—2016 年生物防治技术专利申请量超过 40 件,申请总量为 315 件,占中国

专利总申请量的 20.03%。2013 年以后,改善种植制度技术领域的专利呈显著增加趋势,2017 年专利申请量达 95 件,申请总量为 586 件,占中国专利总申请量的 37.28%。国外专利在改善种植制度防治技术方面也保持较高的申请量,占国外专利总申请量的 34.57%。改善种植制度是连作障碍防治的热点技术。本文统计的新型肥料包括专用配方肥、水溶性肥料、微量元素肥料、缓控释肥料,区别于技术中的生物防治和有机肥料。采用合理施肥(新型肥料和有机肥料)是重要的作物连作障碍防治手段,专利申请总量为 420 件,是重要的防治技术。2012—2017 年合理施肥(新型肥料和有机肥料)防治作物连作障碍的专利申请量呈显著增加,年均增长率为 34.79%,其中新型肥料防治技术在 2014—2017 年的专利申请均量超过 40 件。土壤管理防治技术主要涉及土壤改良、养分管理以及土地耕作方法,通过使用土壤改良剂或者改善作物施肥方法等达到防病增产的效果。土壤灭菌消毒,多数化学消毒剂虽然高效、安全、廉价,但是会带来农药残留,污染环境。高温消毒,在杀死土壤中大量有害病菌的同时也杀死了有益微生物,生产上并不推行。2011 年之后,化学防治、土壤管理和土壤消毒防治技术的专利申请缓慢增长,申请总量相对较低。防治技术有涉及选育抗性品种,但专利申请总量

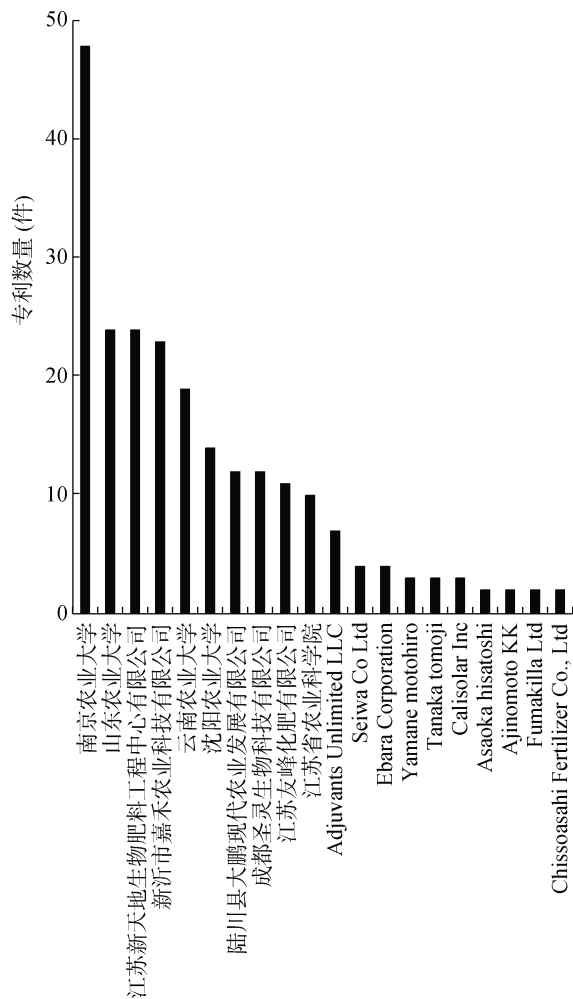
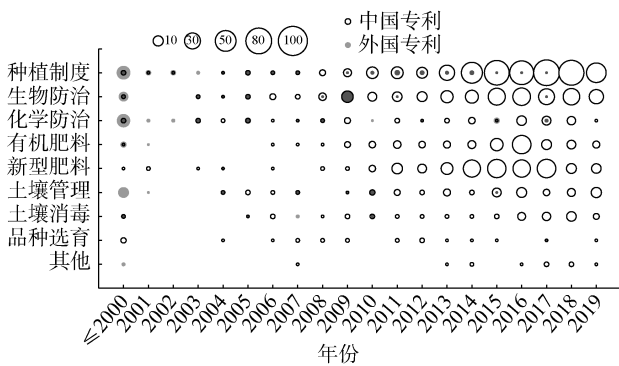


图 2 连作障碍防治领域主要专利申请人排名  
Fig. 2 Ranking of major patent applicants in field of continuous cropping obstacle prevention



(图中气泡大小表示不同技术的年度专利申请量大小)

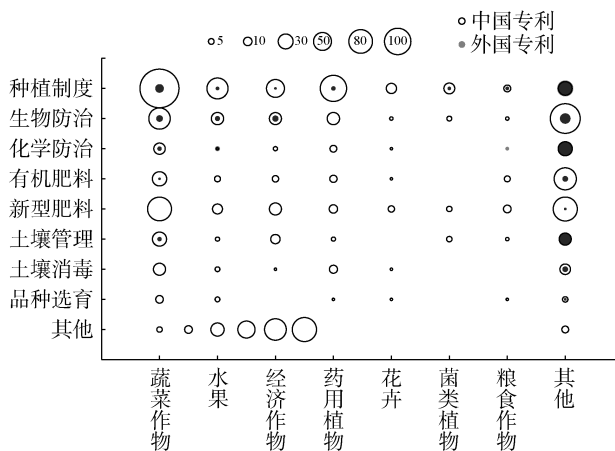
图 3 不同连作障碍防治技术的年度发展趋势

Fig. 3 Annual development trend of prevention and control technologies for different continuous cropping obstacles

低，可能受连作障碍在分子生物学研究水平上的限制，其工作难度大、耗时长、制种成本高，具有稳定抗性的优良品种少。

图 4 对连作障碍防治技术领域国内外申请专利的主要技术手段及其技术效果进行了分析，意在掌握

连作障碍防治技术的整体分布规律，了解关键技术和热点。从中国专利来看，连作障碍防治手段以改善种植制度、生物防治、合理施肥为主，对于品种选育涉及较少。蔬菜、水果、药用植物、经济作物的连作障碍的防治技术手段以种植制度为主，其中蔬菜最为突出。生物防治手段主要防治对象是其他综合性的作物，防治对象不单一。合理施肥(有机肥料和新型肥料)等的连作障碍防治对象也不单一，范围较为广泛。从国外专利来看，改善种植制度、生物防治、化学防治是主要防治技术，品种选育、土壤消毒、合理施肥技术手段涉及较少。蔬菜、水果、经济作物的连作障碍防治手段以种植制度、生物防治为主。花卉的连作障碍防治研究没有涉及，菌类和药用植物的连作障碍防治涉及较少。



(图中气泡大小表示采用某一技术手段防治某一作物连作障碍的专利申请量大小)

图 4 连作障碍防治领域技术功效矩阵

Fig. 4 Technical efficiency matrix of continuous cropping obstacle prevention technology

### 3 讨论

#### 3.1 作物连作障碍防治技术的发展现状与趋势

作物连作障碍防治领域的技术分类主要包括种植制度、生物防治、化学防治、有机肥料、新型肥料、土壤管理、土壤消毒和品种选育(图 3~ 图 4)。改善种植制度和生物防治一直是作物连作障碍防治技术的主要研发方向。种植制度包括作物复种或休闲，作物的结构与布局，轮作、连作，间作、单作、套作等种植方式，选择合适的种植制度可以降低作物连作障碍带来的危害，提高土地利用效率。研究表明，许多作物连作会导致土壤理化性状变差、养分失衡等问题，而采用嫁接、施用微生物菌剂，以及合理的轮作、间作、填闲等栽培模式能够提高土壤微生物种群

多样性和稳定性,缓解连作障碍,促进作物生长、增加产量。轮间作处理可能通过提高土壤酶活性、改善辣椒土壤微生物区系进而使得连作辣椒根际土壤得到一定程度的改良<sup>[7]</sup>。利用砧木嫁接是设施蔬菜提高抗性和防治连作障碍的重要措施<sup>[8]</sup>。

生物防治随着分子生物学技术的运用逐渐成为防治作物连作障碍的重要技术。健康土壤微生物组含有更多的根瘤菌科、芽孢杆菌科、链霉菌科等对植物病原菌有拮抗作用的微生物<sup>[9]</sup>,筛选分离对作物病原菌具有显著拮抗效果的生防菌,直接接种生防菌,可能会受到生长环境的制约,在土壤中无法长期存活,但制成微生物菌剂或者微生物有机肥能够有效防治作物土传病害。生防菌可以通过在土壤中定殖,竞争营养和空间、促进作物生长等方式发挥生防作用。合理施肥(新型肥料和有机肥料)也是重要的防治技术,新型肥料相比于传统肥料,提高了肥料利用率,环保无污染。加施有机肥可以调节土壤养分、改善土壤理化性质、减轻土传病虫害、促进作物生长。根据 incoPat 的合享价值度进行排序,连作障碍防治技术领域受关注度较高的 10 件重点专利,均涉及生物防治技术。作物连作障碍是生态系统内多个因素相互作用所致,任何一项单独措施或几项措施的简单叠加都难以达到彻底克服连作障碍的理想效果,因此市场需要使用方便、环保、能够全面且有效防治连作障碍的方法。同时,伴随现代生物技术在农业科学研究等领域的迅猛发展,运用生物技术消减作物连作障碍必将是重要的发展趋势。

### 3.2 作物连作障碍防治的植物健康管理技术

近年来,如何减缓和防治连作障碍已成为了生产上亟待解决的热点问题之一。有些作物的连作障碍,通过特殊的栽培调控措施可以得到解决,但绝大多数作物的连作障碍至今还没有切实可行的消减技术<sup>[2,10]</sup>。目前,作物抵御连作障碍的策略有两大类:一是通过提升作物自身免疫系统,二是改变作物生长的环境要素。化学刺激物添加、选育抗性品种和生物技术等方式均可以提升作物健康水平,以减缓连作障碍的发生。

通过外源化学物质添加提高作物抗性进而缓解连作障碍的技术是一类易于标准化和产品化的方法,一直受到高校、科研院所和产业界的关注。云南农业大学发现外源添加抗坏血酸和龙胆二糖均可增强三七的抗性,缓解三七连作障碍的发生(CN201611114645.3<sup>[11]</sup>、CN201611113956.8<sup>[12]</sup>)。近年来,出现了一些通过提取天然生物源的有机化合物作为

植物生长调节剂提高作物抗性以防治连作障碍的技术,这些物质包括芹菜根系分泌物浓缩、黄芪水提物、苦参水提物和洋葱馏分等(CN201610794031.8<sup>[13]</sup>、CN201810470342.8<sup>[14]</sup>)。

在果蔬类栽培中,选用抗病品种或砧木可以有效缓解作物连作障碍问题,通常采用嫁接将接穗品种的优良性状和砧木的有利特性进行结合,从而达到品种改良的目的<sup>[2,10]</sup>。河北农业大学公开了以枯萎病菌毒素和自毒物质对羟基苯甲酸混合液作为选择压力诱导草莓抗连作障碍突变体的筛选方法,该方法可筛选到分化率高、遗传稳定性强且能结实的 3 株抗性突变体(CN201210021686.3<sup>[15]</sup>)。利用苹果重茬园未经改造的土地对多种苹果砧木实生苗进行原位抗性育种方法,可以提高抗重茬育种的专一性和育种效率,大大缩短抗重茬砧木选育的时间周期(CN201510012827.9<sup>[16]</sup>)。沈阳农业大学发现以番茄或野生茄子作为砧木接穗为茄子品种的方法,克服连作障碍效果显著,且生产成本较低(CN201010279823.4<sup>[17]</sup>)。双穗一砧的嫁接方法,可以有效地防止瓜菜枯萎病的发生,嫁接苗成活率高,产量高(CN201710749614.3<sup>[18]</sup>)。同时,脱毒苗繁育的方法也可以解决半夏不能连作的难题(CN201710101446.7<sup>[19]</sup>)。编码水稻耐盐蛋白 OsSRM 的基因转化蔬菜、花卉等植物可克服设施条件下因土壤返盐或高温引起的连作障碍(CN200810163815.6<sup>[20]</sup>)。

通过在土壤中添加有益细菌和真菌的生物技术已成为改善土壤质量而又不影响农业生态系统造成不利影响的一种首选且可持续的方法<sup>[21-22]</sup>。丛枝菌根真菌(AMF, arbuscular mycorrhizal fungi)是最常见的共生微生物,可以在 80% 以上的植物物种中找到<sup>[23]</sup>。AMF 的定殖改善了植物的生长,提高了农作物对病原菌的抗性和对生物和非生物胁迫耐受性<sup>[24]</sup>。前人研究表明,接种 AMF 能减少由病原体引起的根系损伤,并明显增加根系次生代谢物含量,从而抑制病原体的繁殖;同时,AMF 还可以诱导植物产生防御性酶,有助于减少病原体引起的损伤<sup>[25-26]</sup>。Liu 等<sup>[22]</sup>报道,AMF 生物肥料通过提高 AMF 接种率、改善根际有益细菌和促进植物吸收氮磷养分,克服连作障碍从而改善西洋参的生长。为此,一些专利申请人利用菌根真菌与作物共生,侵占位点,提高作物抗逆性,从而减缓作物连作障碍。菌根真菌和发酵好的拮抗菌的菌液直接添加到无土栽培基质醋糟中的方法,抑制了醋糟基质中病原菌的生长,降低了作物枯萎病的发生,能在一定程度上克服无土栽培基质连作障碍的发生,延长醋糟的使用寿命(CN201210144414.2<sup>[27]</sup>)。辣

椒(CN201710086068.X<sup>[28]</sup>)、花生(CN201910124328.7<sup>[29]</sup>)和牡丹(CN201010541757.3<sup>[30]</sup>)通过 AMF 育苗栽培,可有效改善根际的微生态环境,克服连作障碍问题,提高产量和品质。

### 3.3 作物连作障碍防治的环境健康管理技术

维持作物生长的土壤环境健康是解决连作障碍的有效方法<sup>[31]</sup>,作物连作障碍防治的环境健康管理技术主要包括土壤消毒(降解自毒物质作用)和培育健康作物生长环境两部分。

土壤消毒有物理、化学和生物的方法。在土壤物理消毒方面,通过蒸汽锅炉高温蒸汽输入,合理布置蒸汽管道,采用可移动蒸汽金属管架,对土壤进行高温消毒,杀灭土壤中的大量有害病菌,分解有害自毒物质,从而解决三七连作障碍问题(CN201410174938.5<sup>[32]</sup>)。农业部南京农业机械化研究所公开了一种遥控自走式土壤射频处理机(CN201721402425.0<sup>[33]</sup>),该实用新型专利采用履带式底盘,能适应各种复杂地形和土壤,适应性广,操作简单、方便,可广泛用于处理大田、果园、温室大棚内的土壤,能有效杀灭土壤中的各种虫、菌,预防土壤连作障碍。在土壤化学消毒方面,山东省花生研究所通过在播种前施用石灰氮和氯化铵、石灰氮和棉隆,提高了土壤消毒效果,补充了有益微生物,并能实现按需灌溉,有效缓解连作障碍,促进了花生生长发育(CN201310467952.X<sup>[34]</sup>、CN201711188283.7<sup>[35]</sup>)。一种可消除作物连作障碍的微型栽培设施(CN201720824163.0<sup>[36]</sup>)的实用新型发明将化学药剂消毒灭菌、高温闷棚、蒸气熏蒸物理方法相结合,从而达到对土壤基质的消毒灭菌作用,有效地消除了作物连作障碍;高温加热的同时,转动摇把,设置在破碎辊轴外圆周上的击打杆对基质杀菌消毒皿内的土壤进行击碎并均匀搅拌,以保证杀菌消毒彻底,消除连作障碍效果更佳。

土壤高温灭菌是一种经济、有效且广泛使用的物理方法,但在长期连续种植的重度连作障碍土壤中,高温灭菌的效果较差<sup>[37]</sup>。化学方法是利用一些化学杀菌剂,抑制土壤中病虫害的传染及发生,效果显著,但存在极大的安全隐患,例如溴化甲基、溴化乙基等化学合成杀菌剂,对人体有害,且对臭氧层有破坏性影响,已经被禁止使用<sup>[37-38]</sup>。接种有益微生物或拮抗菌的生物方法是通过与病原菌竞争养分和生存空间而达到抑制病原菌的效果,但无法改良恶化的土壤环境<sup>[39]</sup>。这些传统防治方法的作用通常较为单一,往往不能解决由多种因素引起的连作障碍问题。因此急需一种方便、环保、能够全面且有效防治连作障碍的

方法<sup>[40]</sup>。为此,一些研究者开始探索可持续的土壤消毒方法,Li 等<sup>[37]</sup>发现碳酸氢铵/甲酸钠熏蒸加热可减轻西瓜种植中的镰刀菌枯萎病危害。同时,一种有效控制土壤中土传病虫害的强还原土壤灭菌法(reductive soil disinfestation, RSD)被提出,该方法能够有效地改善土壤的理化性质,并且能够通过厌氧还原环境杀灭病原菌,同时对人类和环境没有毒害作用,也不会对农产品造成安全隐患<sup>[40,41-43]</sup>。南京师范大学在发生连作障碍或者香蕉枯萎病发病率较高的连作土壤中添加有机碳源并维持土壤厌氧状态创造强还原环境,快速促进土壤中厌氧微生物的生长代谢,产生大量代谢产物,可有效降低病土中尖孢镰刀菌的数量,不仅改善土壤微生物区系,还减少作物土传病害的发生(CN201510026930.9<sup>[44]</sup>)。

在土壤生物防治方面,南京农业大学分离得到一株促生菌株 NJAUYL-25,并将其接种到腐熟的猪粪堆肥和菜粕的微生物分解混合物中进行固体发酵制成微生物有机肥料,该产品施入连作土壤后可有效促进香蕉生长(CN201310360515.8<sup>[45]</sup>)。中国科学院南京土壤研究所发现了一种产几丁质酶(降解病原菌菌丝细胞壁)活性较高的假单胞菌(CN201610475283.4<sup>[46]</sup>),该菌种对镰刀菌、丝核菌、轮枝菌等多种土传真菌性病原菌菌丝体均有显著降解能力,能有效缓解土传病害对连作地花生的影响。木霉菌(CN201910024769.X<sup>[47]</sup>、CN201910897806.8<sup>[48]</sup>)、枯草芽孢杆菌(CN201010608565.X<sup>[49]</sup>)、解酚菌(CN201210021687.8<sup>[50]</sup>)、小杆属线虫(CN201010102744.6<sup>[51]</sup>)等也被应用于作物连作障碍防治。

在培育作物生长健康环境方面,技术人员通过研发改善土壤养分状况、物理结构和有益微生物比例等参数以达到防治作物连作障碍的目标。传统的方法是改善土壤养分状况和物理结构,近年来,一些技术人员开始关注以提高作物栽培土壤有益微生物比例减缓连作障碍的技术。南开大学于 2003 年发现调节植物根际的碳氮平衡能改善植物生长的微生态环境,增强植物抵抗病原物,有效解决植物的连作障碍问题(CN03144289.7<sup>[52]</sup>)。小麦根系分泌物、小麦残茬腐解液、三十烷醇和磷酸二氢钾组合,能够有效克服连作障碍,减轻土传病害,提高黄瓜等蔬菜作物的产量和品质(CN200810209579.7<sup>[53]</sup>)。在苹果植株不同生长阶段土施不同剂量的麦芽糖,优化土壤生态,增加土壤中细菌数量,降低真菌数量,同时增加放线菌的数量,可改善重茬条件下苹果果树长势(CN201610293857.6<sup>[54]</sup>)。Liao 等<sup>[31]</sup>报道,立体栽培技术能够

有效解决三七种植过程中的连作障碍问题。调整土壤微生态环境是通过食物网的观点,通过添加食物,调节有益微生物的比例进而抑制连作障碍的发生,例如有报道指出,添加 L-精氨酸可以显著提高土壤中有益微生物的数量<sup>[55]</sup>。

### 3.4 我国作物连作障碍防治技术的产业化现状

专利申请数量是技术产出的直接反映,作物连作障碍防治技术领域专利的全球地域分布显示,2009—2018年处于专利申请快速增长期,说明目前全球正处于连作障碍防治技术的发展期。中国是该领域专利的主要申请国家,与全球专利增长趋势保持一致,充分表明该领域相关企业或战略投资者加大研发投入并在中国进行战略布局。全球排名前10位的作物连作障碍防治技术领域专利申请机构均为中国的高校、研究所或企业,中国有5家企业进入前10位(图2)。专利运营数据可以反映技术产业化的状态,我国作物连作障碍领域的专利转让数量较低,发生专利许可和专利质押的专利数量更是屈指可数。专利技术产业化低的原因通常有两个方面,一是市场不活跃,二是专利价值低。专利被引证的信息可以部分说明技术的价值。被引证20次以上的专利很少,主要集中于引证次数少于5次的区段内。高质量的专利相对较少,其中被引证最多的专利是镇江市京口区瑞京农业科技示范园公开的一种樱桃番茄的栽培方法(CN201010521349.1<sup>[56]</sup>),被引证了51次,说明此件专利所保护的技术方案为该技术领域核心专利。根据引证分析和专利申请的结果,可以初步判断缺乏高质量的专利是影响连作障碍防治技术产业化的关键。

## 4 结论

近年来,我国作物连作障碍防治技术发展呈突破态势,表明该技术处于生命周期的发展期。作物连作障碍防治技术研发正朝着操作简便、综合、环保的方向发展,结合分子生物和材料等新兴技术发展,新的研发充分考虑了连作障碍防治技术产品化和应用的结合。该技术领域专利申请全球排名前10位均为中国的机构,其中企业占申请量的40.84%,表明该技术市场化前景广阔。企业/个人与高校/研究所联合申请的专利少,亟需加强产学研联合攻关及合作研发。专利转让和许可的比例低,因此提升专利质量是连作障碍防治技术产业化的关键。

## 参考文献:

- [1] 周健民,沈仁芳. 土壤学大辞典[Z]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [2] 耿贵,杨瑞瑞,於丽华,等. 作物连作障碍研究进展[J]. 中国农学通报, 2019, 35(10): 36-42.
- [3] Sekar S, Paulraj P. Strategic mining of cyanobacterial patents from the USPTO patent database and analysis of their scope and implications[J]. Journal of Applied Phycology, 2007, 19(3): 277-292.
- [4] Liu C Y, Yang J C. Decoding patent information using patent maps[J]. Data Science Journal, 2008, 7: 14-22.
- [5] 魏珣,贾敬敦,孙康泰,等. 基于文献计量的世界家畜种业科技创新研究态势分析[J]. 中国农业科学, 2015, 48(13): 2622-2634.
- [6] 吴嘉茵,方战强,薛成杰,等. 我国有机物污染场地土壤修复技术的专利计量分析[J]. 环境工程学报, 2019, 13(8): 2015-2024.
- [7] 董宇飞,吕相漳,张自坤,等. 不同栽培模式对辣椒根际连作土壤微生物区系和酶活性的影响[J]. 浙江农业学报, 2019, 31(9): 1485-1492.
- [8] 喻景权,周杰. “十二五”我国设施蔬菜生产和科技进展及其展望[J]. 中国蔬菜, 2016(9): 18-30.
- [9] Yuan J, Wen T, Zhang H, et al. Predicting disease occurrence with high accuracy based on soil macroecological patterns of *Fusarium* wilt[J]. The ISME Journal, 2020, 14(12): 2936-2950.
- [10] 李天来,杨丽娟. 作物连作障碍的克服——难解的问题[J]. 中国农业科学, 2016, 49(5): 916-918.
- [11] 云南农业大学. 一种利用外源添加抗坏血酸缓解三七自毒物质损伤的方法: 201611114645.3[P]. 2017-04-26.
- [12] 云南农业大学. 一种外源添加龙胆二糖缓解三七自毒伤害的方法: 201611113956.8[P]. 2019-09-10.
- [13] 浙江省农业科学院. 芹菜根系分泌物浓缩液对番茄青枯病菌的抑制及其提取方法: 201610794031.8[P]. 2019-02-01.
- [14] 海南大学. 一种植物源生长调节剂: 201810470342.8[P]. 2019-12-10.
- [15] 河北农业大学. 一种草莓抗连作障碍突变体的筛选方法: 201210021686.3[P]. 2014-01-15.
- [16] 山东农业大学. 一种三阶段选育苹果耐重茬砧木的原位育种方法: 201510012827.9[P]. 2017-01-04.
- [17] 沈阳农业大学. 一种克服茄子连作障碍的栽培方法: 201010279823.4[P]. 2012-05-30.
- [18] 江苏省农业科学院. 一种瓜果的嫁接方法: 201710749614.3[P]. 2017-11-24.
- [19] 天水农业学校(天水市农业科技人才培训中心). 一种半夏异地脱毒繁殖和种植栽培方法: 201710101446.7[P]. 2017-05-31.
- [20] 杭州市农业科学研究院. 水稻蛋白 OsSRM 及其编码基因与应用: 200810163815.6[P]. 2011-05-04.
- [21] Mbarki S, Cerdà A, Brestic M, et al. Vineyard compost supplemented with *Trichoderma harzianum* T78 improve saline soil quality[J]. Land Degradation & Development, 2017, 28(3): 1028-1037.

- [22] Liu N, Shao C, Sun H, et al. Arbuscular mycorrhizal fungi biofertilizer improves American ginseng (*Panax quinquefolius* L.) growth under the continuous cropping regime[J]. *Geoderma*, 2020, 363: 114155.
- [23] Jeffries P, Gianinazzi S, Perotto S, et al. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2003, 37(1): 1–16.
- [24] Gill S S, Gill R, Trivedi D K, et al. Piriformospora indica: Potential and significance in plant stress tolerance[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2016, 7: 332.
- [25] Garmendia I, Aguirreolea J, Goicoechea N. Defence-related enzymes in pepper roots during interactions with arbuscular mycorrhizal fungi and/or *Verticillium dahliae*[J]. *BioControl*, 2006, 51(3): 293–310.
- [26] 李亮, 蔡柏岩. 丛枝菌根真菌缓解连作障碍的研究进展[J]. *生态学杂志*, 2016, 35(5): 1372–1377.
- [27] 江苏大学. 醋糟基质栽培中菌根真菌与拮抗菌联用抗枯萎病的方法: 201210144414.2[P]. 2012-09-05.
- [28] 新疆生产建设兵团第六师农业科学研究所. 一种克服连作障碍的日光温室辣椒育苗方法: 201710086068.X[P]. 2017-06-27.
- [29] 山东省农业科学院生物技术研究中心. 一种提高连作花生产量和品质的方法: 201910124328.7[P]. 2019-05-17.
- [30] 北京同仁堂安徽中药材有限公司. AM 菌根菌在牡丹栽培中的应用方法: 201010541757.3[P]. 2011-05-18.
- [31] Liao P R, Liu P F, Wang Y L, et al. Stereoscopic cultivation of *Panax notoginseng*: A new approach to overcome the continuous cropping obstacle[J]. *Industrial Crops and Products*, 2018, 126: 38–47.
- [32] 云南农业大学. 一种三七种植土壤消毒的方法: 201410174938.5[P]. 2016-02-24.
- [33] 农业部南京农业机械化研究所. 一种遥控自走式土壤射频处理机: 201721402425.0[P]. 2018-09-18.
- [34] 山东省花生研究所. 一种绿色防控花生地下害虫的方法: 201310467952.X[P]. 2014-01-22.
- [35] 山东省花生研究所. 一种解除连作障碍的花生高产栽培法: 201711188283.7[P]. 2018-03-27.
- [36] 云南农业大学. 一种可消除作物连作障碍的微型栽培设施: 201720824163.0[P]. 2018-01-12.
- [37] Li H, Yuan G L, Zhu C W, et al. Soil fumigation with ammonium bicarbonate or metam sodium under high temperature alleviates continuous cropping-induced *Fusarium* wilt in watermelon[J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 246: 979–986.
- [38] Butler D M, Kokalis-Burelle N, Albano J P, et al. Anaerobic soil disinfestation (ASD) combined with soil solarization as a methyl bromide alternative: Vegetable crop performance and soil nutrient dynamics[J]. *Plant and Soil*, 2014, 378(1/2): 365–381.
- [39] Magnusson J, Ström K, Roos S, et al. Broad and complex antifungal activity among environmental isolates of lactic acid bacteria[J]. *FEMS Microbiology Letters*, 2003, 219(1): 129–135.
- [40] 檀兴燕. 强还原土壤灭菌法缓解番茄连作障碍的效果及其土壤微生物群落的响应机制[D]. 淮北: 淮北师范大学, 2019.
- [41] Shinmura A. Causal agent and control of root rot of Welsh onion[EB/OL]. 2000
- [42] Blok W J, Lamers J G, Termorshuizen A J, et al. Control of soilborne plant pathogens by incorporating fresh organic amendments followed by tarping[J]. *Phytopathology*, 2000, 90(3): 253–259.
- [43] 蔡祖聪, 张金波, 黄新琦, 等. 强还原土壤灭菌防控作物土传病的应用研究[J]. *土壤学报*, 2015, 52(3): 469–476.
- [44] 南京师范大学. 一种香蕉枯萎病土传病原菌的快速灭菌方法: 201510026930.9[P]. 2015-05-20.
- [45] 南京农业大学. 用于促进香蕉生长的促生菌株及其微生物有机肥料: 201310360515.8[P]. 2013-11-27.
- [46] 中国科学院南京土壤研究所. 一种防治连作花生土传真菌病害的菌株及应用: 201610475283.4[P]. 2019-08-13.
- [47] 海南大学. 木霉菌混菌协同固体发酵制备的复合孢子粉及其应用: 201910024769.X[P]. 2019-03-26.
- [48] 山东省科学院生态研究所(山东省科学院中日友好生物技术研究中心). 一株木霉菌株 HB20111 在消解作物连作障碍因子酚酸类自毒物质方面的应用及菌剂: 201910897806.8[P]. 2019-12-20.
- [49] 南京农业大学; 江苏新天地生物肥料工程中心有限公司. 一株能防治马铃薯青枯病的拮抗菌及其微生物有机肥料: 201010608565.X[P]. 2012-08-15.
- [50] 河北农业大学. 一种防治草莓重茬病的生防制剂及制备方法: 201210021687.8[P]. 2013-04-24.
- [51] 中国农业大学. 小杆属线虫在修复重茬土壤中的应用: 201010102744.6[P]. 2011-11-23.
- [52] 南开大学. 作物连作障碍调控剂: 03144289.7[P]. 2005-06-15.
- [53] 东北农业大学. 生态型黄瓜连作土壤修复剂: 200810209579.7[P]. 2010-08-11.
- [54] 山东农业大学. 一种改善重茬条件下苹果果树长势的施肥方法: 201610293857.6[P]. 2018-08-14.
- [55] Liu X J, Jiang Q P, Hu X Q, et al. Soil microbial carbon metabolism reveals a disease suppression pattern in continuous ginger mono-cropping fields[J]. *Applied Soil Ecology*, 2019, 144: 165–169.
- [56] 镇江市京口区瑞京农业科技示范园. 一种樱桃番茄的栽培方法: 201010521349.1[P]. 2011-12-14.