

我国微生物产业发展战略研究

杜娟¹, 马连营¹, 马爱进², 刘龙³, 于晴⁴, 吴清平¹

(1. 广东省科学院微生物研究所, 华南应用微生物国家重点实验室, 广东省微生物安全与健康重点实验室, 广州 510070; 2. 北京工商大学食品与健康学院, 北京 100048; 3. 江南大学未来食品科学中心, 江苏无锡 214122; 4. 上海交通大学生命科学技术学院, 上海 200030)

摘要: 微生物产业作为战略性新兴产业, 是我国培育发展新动能、打造全球竞争新优势的重要领域。在推进健康中国建设的重大机遇面前, 发展微生物产业对于区域科技创新、产业高质量发展、保障健康并改善民生等具有积极意义。本文阐述了微生物产业发展的宏观需求, 从产业布局、技术进展角度梳理了国际微生物产业发展现状, 进而总结产业发展趋势; 从产业政策环境、产业规模的角度概括我国微生物产业发展态势, 对微生物安全、微生物健康、微生物制造、微生物医药等产业细分方向的发展现状进行调研, 据此剖析发展面临的挑战。研究认为, 建设系统化的大科学设施、发展产业化的系列技术、推动微生物资源的产业化应用, 是我国微生物产业发展的关键举措。加强微生物高技术产业关键核心技术研发, 推动建立协同创新发展的产业政策体系, 围绕微生物创新平台实施创新驱动并集中打造产业集群, 对提升我国微生物产业发展水平具有重要作用。

关键词: 微生物产业; 微生物安全; 微生物健康; 微生物医药; 微生物制造; 大科学设施; 产业化应用

中图分类号: Q939.97 **文献标识码:** A

Development Strategy of Microbial Industry in China

Du Juan¹, Ma Lianying¹, Ma Aijin², Liu Long³, Yu Qing⁴, Wu Qingping¹

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Microbial Safety and Health, State Key Laboratory of Applied Microbiology of Southern China, Institute of Microbiology, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510070, China; 2. School of Food and Health, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China; 3. Science Center for Future Foods, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu, China; 4. School of Life Sciences and Biotechnology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: The microbial industry is a strategic emerging industry and it is an important field for developing new growth drivers and for creating new global competitive advantages. In the face of the great opportunity to promote the construction of Healthy China, the development of the microbial industry is significant for regional scientific and technological innovation, high-quality industrial development, and improvement of people's welfare in China. The study expounded the macro-demand for the development of microbial industry and analyzed the development status of the global microbial industry in terms of industrial layout and technological progress. The study further outlined the development trend of the microbial industry in China from the aspects of industrial policy environment and industrial scale, investigated the development status of industrial segmentation directions including microbial safety, microbial health, microbial manufacturing, and microbial medicine, and dissected the challenges in the development of the industry. Our findings indicated that structuring systematic big science facilities, developing a series of industrialized technologies, and

收稿日期: 2021-07-18; **修回日期:** 2021-09-09

通讯作者: 吴清平, 广东省科学院微生物研究所研究员, 中国工程院院士, 研究方向为微生物安全与健康; E-mail: wuqp203@163.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“中国微生物安全与健康产业发展战略研究”(2020-ZD-05)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

promoting the industrial application of microbial resources are key initiatives to accelerate the development of the microbial industry in China. We proposed to strengthen the research and development of key core technologies of the microbial high-tech industry, promote the establishment of an industrial policy system for collaborative innovation and development, and build industrial clusters centering around microbial innovation platforms, all of which will greatly improve the development level of microbial industry in China.

Keywords: microbial industry; microbial safety; microbial health; microbial medicine; microbial manufacturing; big science facilities; industrial application

一、前言

微生物产业是国家战略性新兴产业 [1]，《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020 年）》将生物技术列入科技发展战略重点。《“十三五”生物技术创新专项规划》（2017 年）提出，拓展产业发展空间、提高发展质量和效益，支持生物技术新兴产业发展。目前，我国已经形成了微生物医药、微生物制造、微生物农业等涵盖微生物技术产业方向比较完善的微生物产业体系。

微生物技术产品主要应用在农业、林业、医药保健、制造业等领域，未来发展潜力巨大。市场调查机构 BCC Research 预测，世界微生物产品的市场规模将从 2018 年的 1863 亿美元上升到 2023 年的 3024 亿美元，年复合增长率为 10.2% [2]。随着组学、合成生物学等技术的交叉融合发展，微生物领域的技术革新、产业变革进入了蓬勃发展的新阶段，将在促进地区产业转型升级，催生新技术、新产品、新业态、新模式方面发挥重要作用 [3~5]。

面对推进健康中国建设的重大机遇，微生物产业应积极谋划高质量发展，更好发挥应有作用。本文作为“中国微生物安全与健康产业发展战略研究”项目成果的学术性展示，从微生物安全、微生物健康、微生物医药、微生物制造 4 个方面着手，系统调研产业总体态势，深入剖析产业发展方向，总结凝练我国微生物产业发展的举措与对策，以期为企业宏观布局、基础技术研发提供参考。

二、微生物产业发展需求分析

（一）保障居民生命健康

微生物的存在伴随人的一生，是影响人体健康、疾病发生的关键性因素之一。人类基因组、微生物组相互协调，共同维持人体健康。随着技术进步，微生物健康产品得到广泛应用，在肠道菌群、营养

平衡等方面发挥了重要作用。①人体微生物是宿主免疫反应、抵抗外来致病菌、消化吸收、物质能量代谢、促进生长发育的重要维持者，直接或间接地调控多个系统的功能。②人体微生态失衡与以肠道疾病为代表的多种疾病的发病机制有着密切关联 [6,7]。③人体微生态是药物代谢的“中间站”，随着年龄增长而不断变化，与人的衰老、寿命息息相关。此外，微生物检测是保障生命健康必不可少的手段。随着生活水平提高，人们对健康的重视程度不断加强，微生物检测产品作为一次性使用的医疗消费品，其市场需求将保持稳定增长。微生态药物作为人体免疫系统的调节剂，适应症非常广泛，涵盖感染、炎症、糖尿病、肿瘤、营养保健等；因其安全性好、生产周期短、来源丰富的优势，未来有较大的发展空间。

（二）促进传统产业升级

微生物技术在新材料、新能源领域中的应用潜力较大，对工业可持续发展具有重要意义。与传统的石油化工、煤化工相比，以生物基为原材料的发酵生产，可再生性强、安全性高、环境友好，而微生物是相关生产流程中最为核心的资源。生物质原料的基本元素是 C、H、O，几乎不含 S，因此在生物发酵过程中不产生硫化物，生产过程可显著减少污染物排放；生物基原料通过降解，最终转化为 CO₂、H₂O 而回归自然，可从根本上规避环境污染问题。以己二酸生产为例，生物法相较于化学合成法可减少 85% 的温室气体排放。

（三）支持生态和环境保护

微生物可用于净化生活污水和有毒工业污水、监察环境污染度，在生态和环境保护方面具有重要价值。随着经济社会发展，环境中的难降解有机污染物趋于多样化、复杂化、顽固化。针对由环境污染引起的环境生态突出问题，研发微生物组学的新

方法、新技术,开发微生物群系功能,有助于深刻认识生态系统中不同形态生命体相互依存的运行规律,从而为改善生态环境提供新型解决方案。微生物与环境的关系,不仅局限于自然环境,可扩大到以室内环境为代表的社会环境;尤其在生物安全方面,新型冠状病毒肺炎(COVID-19)疫情防控的实践证明了在“小环境”内开展微生物监测与干预的重要意义。

(四) 助力农业生产革新

我国是世界最大的化肥消费国,过量施肥现象突出,在增加农业生产成本、过多消耗资源的同时,造成土壤、地下水的严重污染[8]。微生物在提高土壤肥力、促进粮食增产、防治粮食作物的病虫害、防止粮食霉腐变质等方面不可或缺。微生物肥料既可辅助土壤提高肥力、改善作物生长、提升作物品质与抗逆性,也可减少作物种植过程中对环境带来的污染、确保作物符合食品质量安全要求,成为现代绿色农业发展的支柱且应用前景广阔[9]。微生物发酵饲料、宠物益生菌等,对促进动物生长发育、提高免疫力以防病治病、改善饲料适口性与转化率等具有明显作用。

三、国际微生物产业发展现状及趋势

(一) 产业布局和技术进展

生物产业是世界科技竞争的热点领域、各国争相布局的战略制高点,迄今为止发布了国家级生物经济相关政策的国家和地区超过50个。作为生物技术的重要组成部分,微生物在现代生物技术领域中的重要性不言而喻,而微生物制造又是其中的关键方向。

在发达国家和地区,微生物制造产业成为实现经济可持续发展的重要举措。①美国制定了《生物质技术路线图》(2002年),计划到2030年,生物基产品替代有机化学品的比例达到25%,生物能源替代运输用石油燃料的比例达到20% [10],相关产品绝大部分来自微生物制造;2015年制定的《生物学产业化:加速先进化工产品制造路线图》,提出了利用微生物制造加速化工产品生产的具体目标。②欧盟发起了“欧洲联合生物基产业发展计划”(2014年),根据其中的《工业生物技术远景

规划》,2030年生物基原料替代化工原料的比例为6%~12%,其中30%~60%的精细化学品将由生物基制造,微生物制造在这一过程中发挥关键作用[10];2019年,欧洲生物基化学品的总市场规模为91.7亿欧元,仅占欧洲化学品市场的2.6%,增长空间和发展潜力巨大。③德国政府先后发布了《生物经济2030:国家研究战略》(2010年)、《生物炼制路线图》(2012年)、《国家生物经济政策战略》(2013年),大力支持利用生物质原材料和微生物实现资源的可持续开发利用。④日本2002年提出了“生物技术产业立国”的发展设想,将生物产业纳入国家核心产业范畴;出台了以“基于利用生物机能的循环产业体系创造”计划为代表的政策体系,旨在加速生物技术利用、促进生物产业发展。

近年来,世界生物技术产业的发展速度保持在经济平均增速的2倍,相关社会投资积极性较高,如2017年的风险投资额超过100亿美元(仅次于信息技术产业),成为经济增长的重要驱动力。从世界微生物产业链来看,上游以技术服务公司为主,包括宏基因组测序、微生物检测、鉴定与分析、临床诊断等,为行业提供产品研发支持;中、下游公司以具体应用的场景为主,涉及人体健康的应用方向有微生物科研、微生物治疗与药物研发、健康管理等;美国公司在微生物领域占有优势地位,技术先进且分布密集[11]。

随着大数据技术的快速发展,微生物技术研发正转向数据化的科学发展模式,为微生物产业提供了新的技术支撑。物理、材料、计算机科学等学科与生命科学交叉融合,推动了生物成像、基因编辑、单细胞、生命组学等技术的革新;测序技术突飞猛进,基因编辑、再生医学、增材制造、合成生物学等技术推动了生物技术产业的精细化发展。根据IncoPat专利数据库统计结果,2010—2020年世界微生物技术领域专利申请485 714件、授权72 500件,专利申请量逐年增长,尤其我国专利申请量急剧攀升(见图1)。

(二) 发展趋势

世界面临的重大传染病暴发流行、食源性疾病、致病性耐药“超级细菌”等的威胁趋于严峻,严重威胁着人类健康。微生物检测和防控作为最主要的技术手段,引领微生物安全产业进入快速发展期;

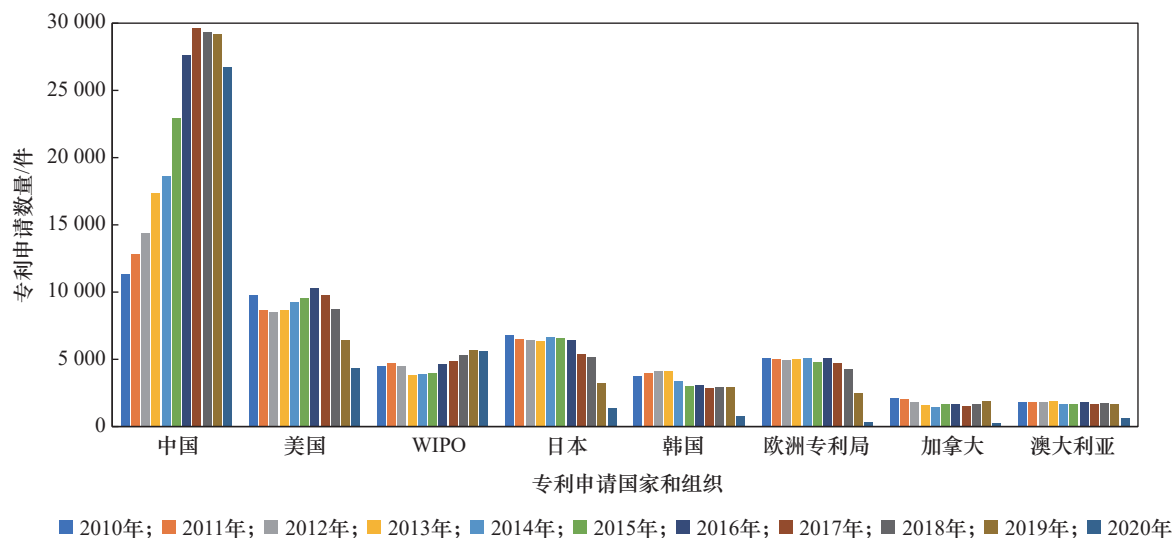


图1 世界微生物技术领域专利申请情况
注：WIPO 表示世界知识产权组织。

结合互联网、大数据、云计算、人工智能（AI）等技术的检测产品，将成为微生物检测的长期热点方向。

微生物健康经济快速发展，以现代生物技术为核心的微生物健康产品正在快速抢占市场。随着技术进步，被誉为人类“第二基因组”的肠道菌群成为新兴的热点研究方向，肠道微生物组学的研究成果可为微生物健康产业的创新发展提供持续动力。

组学、信息、前沿生物等技术与数学、物理等基础学科的融合交叉，将促进微生物制造体系的重大进步。利用大数据、AI 等技术形成的网络物理系统，发展具有自感知、自学习、自决策、自执行、自适应功能的智能制造产业链，共同推动微生物制造的标准化、精细化、智能化。

世界生物医药产业快速增长，生物医药产业正快速由最具发展潜力的高技术产业向高技术支柱产业方向发展。随着基因工程、细胞工程等现代生物技术的发展，基于生物数据整合的精准医学、AI 结合大数据的精准药物设计，将成为微生物创新药物研发及精准医疗的重要发展方向。

四、我国微生物产业发展分析

（一）宏观发展态势

1. 政策环境不断完善

生物制造是建设科技强国的重点发展领域。十多年来，相关管理部门发布了支持生物制造发展的

多项产业政策。《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》（2010 年）将生物制造列为生物产业的重要内容，突出了生物制造的战略性新兴产业属性。《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》进一步明确，生物制造作为国家重点发展的产业，是我国战略性新兴产业的主攻方向。国家统计局公布了《战略性新兴产业分类（2018）》，涉及生物基材料、微生物制造制品、生物酶制品、海洋生物制品、生物工程相关设备制造、生物服务业等行业方向。《科技部关于支持建设国家合成生物技术创新中心的函》（2019 年）指出，重点突破工业酶和核心菌种自主构建与工程化应用的技术瓶颈制约，引领构建未来生物制造新的技术路径。

2. 产业规模不断壮大

我国微生物安全与健康产品的需求和供给均保持快速增长态势，市场空间和潜力极大。微生物检测行业产值持续上升，从 2010 年的 0.19 亿元增长至 2019 年的 4.67 亿元，复合年增长率超过 40% [12]。微生物健康产品的供需保持快速增长，以益生菌为例，2017 年市场规模为 460 亿元，2022 年预计增长至 896 亿元，年均增速约为 14% [13]。发酵工程是微生物制造产业的重要组成部分之一，近年来我国相关产业发展平稳，正在向质量效益型转变，新型发酵产品及衍生新产品的品种持续增多；2018 年主要发酵产品产量为 2.962×10^7 t，总产值为 2472 亿元 [14]。根据中商产业研究院预测，我国生物药市场规模到 2025 年可达 8310 亿元，到

2035 年将超过 8 万亿元 [15]。

我国在微生物产业的配套环节方面进步显著。在 COVID-19 疫情防控过程中, 国产原料使用广泛, 发挥了重要作用。在微生物仪器研究方面, 国内企业前期主要依靠并购、贴牌, 与国外技术领先企业开展产业合作; 当前已建立了相对完备的技术研发能力, 如已有 13 款国产基因测序仪获得国家药品监督管理局批准上市 (截至 2019 年 10 月), 可应用于临床。在测序产业方面, 国内企业打破了国外市场垄断格局, 设备出口多国, 为客户提供更高质量、更具性价比的测序设备及服务 [16]。

(二) 细分产业现状

1. 微生物安全产业

微生物安全产业包括微生物检测和诊断、微生物防控。从产业链分布来看, 病原微生物的检测和控制技术主要由发达国家的大型跨国公司所掌握, 而我国企业缺乏具有自主知识产权的检测和控制技术, 如由于检测靶标缺乏自主知识产权, 使得分子检测新技术、新产品发展受到制约。另外, 在微生物检测和诊断方面, 国内基础薄弱、起步较晚、重视程度不够, 加之缺乏具备国际竞争力的行业龙头企业, 未能形成合理聚集的优势产业。

2. 微生物健康产业

近年来, 我国微生物健康产品结构呈现多样化, 新的益生菌、食用菌、螺旋藻等产品不断涌现, 市场规模逐步扩大; 然而多数益生菌产品沿用国外菌株, 如目前国内批准应用于婴幼儿食品的 9 种菌株全部为进口。我国的人口老龄化趋势明显, 随着居民经济条件改善、健康意识增强, 消费者对健康产品和服务的需求必然继续增长; 关于微生物健康产品的消费支出、占总消费支出的比例均呈上升趋势, 体现了微生物健康产业市场需求方面的巨大潜力 [17]。

3. 微生物制造产业

我国微生物制造业已经进入工业化阶段, 成为国民经济新的增长点 [18]。我国大宗微生物制造产品的产量居世界首位, 在京津冀、长江三角洲、珠江三角洲等地区形成了富有特色的生物产业集群。抗生素、维生素、氨基酸、生物碱、解热镇痛药、激素是我国出口原料药的主要品类 [19]。当前, 微

生物制造企业布局已由中小企业为主体转变为以大企业、大集团占主导地位, 形成了一批具有较强市场竞争力的企业。也要注意, 尽管国家政策支持并倾斜资源投入, 微生物制造的行业结构仍有待转型升级以进入产业链的价值高端。

4. 微生物医药产业

我国是微生物制药生产 (以抗生素类药物为主) 大国, 在国家的大力扶持下生物医药产业取得了跨越式发展。随着生物医药技术进步、信息与数字技术升级、《“健康中国 2030”规划纲要》等政策推动, 我国生物医药市场规模已位列世界第二, 且创新药已明确为产业未来发展的“主旋律”[20]。从产业布局和区域分布来看, 我国以产业关联为基础、以地理靠近为特征, 形成了环渤海、长江三角洲、珠江三角洲 3 大主导地区; 相关企业仍处于发展期, 将随着市场需求的稳步扩大而保持良好的发展空间。

(三) 产业发展面临的挑战

1. 产业链源头的创新能力不足

尽管我国微生物菌种资源丰富, 开发技术也在不断提升, 但在核心菌株、关键技术方面依然相对落后, 短期内培育出具有自主知识产权、高生产潜力的菌种与关键酶难度较大, 产业可持续发展能力不健全。以益生菌为例, 上游原料受到国际寡头垄断, 国内企业集聚在产业下游, 核心菌株的进口比例超过 90%, 产业链安全发展存在隐患。

2. 核心装备技术不够先进

在微生物检测、微生物制造、微生物医药等方向, 国内企业在常规材料 (如化学类原材料及辅助材料) 技术与生产方面基本成熟, 但高纯度试剂等部分依赖进口。与微生物相关的仪器设备涉及机械、电子、软件、智能集成等技术, 科技含量普遍较高; 生物反应器、精密检测设备、微生物诊断器械所用的核心零部件, 国外企业供货的比例依然较高。

3. 外部资源与市场的竞争趋于激烈

目前, 我国微生物产业处于升级发展的过渡阶段。受限于市场惯性, 国产品牌和自主产品不具有竞争优势, 大量产品源自进口, 不利于我国微生物产业的高质量发展。随着国际竞争激烈程度的提高, 我国微生物产业的核心原料、技术、

产品等可能面临更加不可控的态势，给产业发展带来不确定性。此外，不断出现的新型病毒对人类健康构成直接威胁，在 COVID-19 疫情影响下微生物产业链重塑的风险加大，是微生物产业发展需要关注的挑战。

五、我国微生物产业发展的重点举措

（一）系统建设微生物大科学设施

1. 全面调查微生物资源

针对微生物资源表型鉴定与深度挖掘的前瞻性、针对性、精准性不强等问题，加大微生物资源挖掘力度，对微生物安全与健康产业重要资源开展全面持续的调查与收集。根据我国自然极端环境地域特点，选择具有特殊化学因子的盐湖、碱湖、热泉、深海等，全面开展微生物遗传资源物种及基因分析；在现有微生物遗传资源获取技术的基础上，挖掘极端微生物、难培养微生物的菌种与基因资源，揭示分布规律及物种多样性，创建高价值菌种基因与大数据，为微生物科学研究及应用开发提供原料。

2. 建立微生物资源平台

应用分子标记等技术手段，高效筛选并准确评价微生物的菌种、基因、代谢产物，获得在微生物产业具有应用前景的核心菌株、复合微生物体系、基因、酶及其他代谢产物。建立微生物种质资源平台，为有机整合我国微生物资源的储备、评价、开发、利用提供条件。运用现代信息技术，建立微生物种质资源库、微生物基因数据库，高效收集包括微生物菌种与细胞资源采集信息、生理生化信息、酶学及代谢产物活性信息、核酸序列信息在内的生物资源信息。建立生物信息学数据处理、功能分析、结构设计等专业软件环境，发挥网络技术、大数据分析等特色功能，促进全国范围内微生物资源的数据共享。

3. 建设标准化体系和云端实验室

发布微生物资源保藏与共享制度，制定包括微生物健康产品检测、功能评价、质量控制等在内的标准体系；应用云端控制、机器人操作实验、AI 计算，开发微生物产业标准化工艺、云端化服务的基础支撑系统。建设包括微生物制造装备开发、发酵工艺开发、中试放大生产在内的协同开发技术体

系，解决科学研究中实验可重复、实验数据标准化、实验设施开放共享、科学研究众包等问题，推动云端实验室平台向全国辐射。

（二）深入研发微生物开发技术体系

运用基因组学、转录组学、蛋白质组学等技术手段，解析菌株的环境耐受、环境适应、益生功能的分子机制，建立微生物从分离、筛选、评价到相应终端产品所需的一系列技术设施，覆盖基础研究、功能研究、试验验证（含临床研究）、产业化应用等环节。

发展菌株高密度发酵、冷冻保护、微胶囊化、活性保持等产业化应用技术，显著改善功能微生物制品的生产效率；实现对培养基原料及配料、温度参数、时间参数的严格配比，按照功能微生物菌株的差异来设定优化参数，实质性提升产业化能力。开发设备自动化程度较高的微生物仪器与设备，适应微生物菌种质量评价、功效评价、菌剂生产、可靠保存、精深加工产品调控、专用设施等需求。

（三）推动微生物资源的产业化应用

1. 以法规和标准推动功能微生物应用的安全性评价

在发明专利、生物安全、农业安全、环境安全等领域 / 方向，研究制定具有一定强制性的微生物资源保藏与共享的规则及制度，避免微生物资源的流失与滥用，支持产业安全和健康发展。针对微生物及其代谢产物的作用功效不清楚、不明确，益生菌等微生物健康产品缺乏统一评价标准等问题，组织开展功效机理、功效评价研究。开展微生物健康产品的功效稳定性保护技术研究，解决微生物及其代谢成分在产品应用中的稳定性不佳等问题。

2. 研制多元化剂型的微生物产品

稳妥发展新型化学应用的拓展策略，采用新型生物催化反应来改造并优化现有的自然生物体系，从源头创建合成可控、功能特定的微生物产品系列。针对孕妇、老年人、亚健康状态人群等特定群体，化学、生物、材料、农业等领域的特定需求，研制剂型多元化、功能差异性的微生物产品，为生物安全、生命健康提供重要支撑，为天然化学品、有机化工原料摆脱对天然资源的依赖提供技术保障，全

面提升微生物产业能级。

3. 完善微生物产业创新生态

改进微生物创新产品的应用推广模式,支持微生物新产品的惠民应用,合理发挥产业投资基金、风险投资、创业投资的作用,提升金融支持微生物产业集群建设的能力。积极参与微生物产业链的高水平国际合作,支持企业深度参与全球分工,加强与发达国家、“一带一路”沿线国家开展微生物产业互动。建立包含微生物研究、临床研究、技术转让服务、咨询服务在内的微生物研发服务链,培育微生物产业研发生产外包服务机构,支持从事微生物医药、微生物技术研发/测试的外包服务企业申报技术先进型服务企业。

六、对策建议

(一) 建立协同创新发展的产业政策体系

注重微生物产业政策规划的顶层设计,将微生物产业培育成为高技术领域的支柱产业和国家战略性新兴产业,引导技术、人才、资金等要素向微生物产业集聚,促进微生物技术创新与产业化。推动建立类似集成电路的产业政策体系,重点支持具有基础性、战略性、前瞻性、重大关键共性的微生物产业高新技术研发,鼓励企业、科研院所、高等院校与外国企业或机构联合开展创新平台建设。加强创新链与产业链的深度融合,推进以企业为主体、市场为导向、“产学研用”相结合的产业技术创新体系建设,全面增强自主创新能力。

(二) 加强微生物产业科技研发综合布局

基于特色功能微生物种质资源,加快发展微生物组学大数据、生物信息学分析、微生物新型发酵、肿瘤免疫治疗、合成生物学等微生物产业关键技术;以技术突破为先导,合理聚集要素资源,构建微生物产业高质量发展新模式,积极应对未来人类面临的微生物安全、健康、制造、医药等重大挑战。建设微生物菌种基因与生物安全大科学装置,重点布局微生物菌种资源保藏,微生物组学,生物信息分析超算中心,微生物新基因、新化合物、新技术挖掘,生物高新技术成果孵化 5 大平台;加强微生物学及相关领域的基础理论、工程技术、系统创新研究,为微生物产业可持续发展打牢科技基础。完善

微生物技术与产业的高层次人才培养及评价工作,积极“引智”、孵化创新团队,保障产业技术突破的基础性需求。

(三) 集中发展微生物产业集群并示范推广

依托国家微生物种业产业技术创新战略联盟,保持与国内外优势创新资源的对接合作,发挥微生物技术研究与产业转化的先发优势,加快建设“粤港澳大湾区微生物安全与健康国际科技创新中心”。把握“微生物菌种基因与生物安全大科学装置”“微生物组国家技术创新中心”建设契机,致力于孵化已掌握的微生物前沿技术,转化已取得的微生物重大科研成果。充分发挥企业在产业化过程中的关键作用,健全“产学研用”深度融合的创新体系,加速科研成果向实际生产力的转化,构建技术创新与产业化高效互动的微生物产业发展生态;适度引进先进技术,注重消化吸收再创新,着力发展特色鲜明、效益显著的微生物产业集群;总结区域产业发展经验,积极辐射国内企业,力争推广应用并形成国家产业优势,发挥好新兴产业示范作用。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国务院. 国务院关于印发“十三五”国家战略性新兴产业发展规划的通知 [EB/OL]. (2016-11-29)[2021-06-30]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-12/19/content_5150090.htm.
State Council of the People's Republic of China. State Council's circular on the publication of the national strategic emerging industries development plan for the 13th Five-Year Plan [EB/OL]. (2016-11-29)[2021-06-30]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-12/19/content_5150090.htm.
- [2] BCC Research. 微生物产品: 技术、应用、全球市场 [EB/OL]. (2018-07-10)[2021-06-30]. <https://www.giichinese.com.cn/report/bc180728-glob-microbial-prod.html>.
BCC Research. Microbial products: Technologies, applications and global markets [EB/OL]. (2018-07-10)[2021-06-30]. <https://www.giichinese.com.cn/report/bc180728-glob-microbial-prod.html>.
- [3] 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 (4): 1-11.
Shen J B, Bai Y, Wei Z, et al. Rhizobiont: An interdisciplinary innovation and perspective for harmonizing resources, environment, and food security [J]. Acta Pedologica Sinica, 2021 (4): 1-11.
- [4] 黎海芪. 微生物与人类健康息息相关 [J]. 临床儿科杂志, 2020, 38(7): 558-560.
Li H Q. Microorganisms are closely related to human health [J]. Journal of Clinical Pediatrics, 2020, 38(7): 558-560.

- [5] 黄瑞荣, 盛宣才, 任开磊, 等. 生物能源发展现状与战略思考 [J]. 林业机械与木工设备, 2021, 49(6): 15–20.
Huang R R, Sheng X C, Ren K L, et al. Development status and strategic consideration bioenergy [J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2021, 49(6): 15–20.
- [6] Perry R J, Peng L, Barry N A, et al. Acetate mediates a microbiome-brain- β -cell axis to promote metabolic syndrome [J]. Nature, 2016, 534(7606): 213–217.
- [7] Sampson T R, Debelius J W, Thron T, et al. Gut microbiota regulate motor deficits and neuroinflammation in a Model of parkinson's disease [J]. Cell, 2016, 167(6): 1469–1480.
- [8] 崔元培, 魏子鲲, 王建忠, 等. “双减”背景下化肥、农药施用现状与发展路径 [J]. 北方园艺, 2021 (9): 164–173.
Cui Y P, Wei Z K, Wang J Z, et al. Development status and path of application of chemical fertilizers and pesticides under the background of reduced [J]. Northern Horticulture, 2021 (9): 164–173.
- [9] 刘晓. 微生物菌肥在农业生产中的应用研究 [J]. 河南农业, 2021 (17): 14–15.
Liu X. Research on application of microbial fertilizer in agricultural production [J]. Agriculture of Henan, 2021 (17): 14–15.
- [10] 张汪强. 碳中和专题报告: 生物基行业, 潜力巨大的新蓝海 [EB/OL]. (2021-01-06)[2021-06-30]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1688122811159329053>.
Zhang W Q. Special report on carbon neutrality: Bio-based industry, a new blue ocean with huge potential [EB/OL]. (2021-01-06)[2021-06-30]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1688122811159329053>.
- [11] 张楠. 全球40家创新公司竞速, 国内微生物组产业即将走向应用爆发期 [EB/OL]. (2018-01-31)[2021-06-30]. https://www.sohu.com/a/219995596_397362.
Zhang N. 40 innovative companies around the world are competing, the microbiome industry in China is about to enter a period of application outbreak [EB/OL]. (2018-01-31)[2021-06-30]. https://www.sohu.com/a/219995596_397362.
- [12] 观研产经研究院. 2021年中国微生物检测产业分析报告—行业深度调研与发展趋势研究 [EB/OL]. (2021-02-08)[2021-06-30]. <http://baogao.chinabaogao.com/shengwuzhiyao/532606532606.html>.
Guanyan Institute of Industrial Economics. 2021 analysis report on China's microbial testing industry: Industry in-depth research and development trend research [EB/OL]. (2021-02-08)[2021-06-30]. <http://baogao.chinabaogao.com/shengwuzhiyao/532606532606.html>.
- [13] 36氪. 益生菌市场将达574亿美元, 如何用微生物的“洪荒之力”在食品界创新? [EB/OL]. (2019-12-02)[2021-06-30]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1651768007533849591&wfr=spider&for=pc>.
36 Krypton. The probiotic market will reach US \$57.4 billion, how to use the “prehistoric power” of microorganisms to innovate in the food industry? [EB/OL]. (2019-12-02)[2021-06-30]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1651768007533849591&wfr=spider&for=pc>.
- [14] 中国化工报. 日照研讨生物化工发展 [EB/OL]. (2019-04-08)[2021-06-30]. <http://www.ccin.com.cn/detail/5b2bf3244156eeaad89ffa5de68a078f/news>.
China Chemical Industry News. Research and development of biochemical engineering in Rizhao [EB/OL]. (2019-04-08)[2021-06-30]. <http://www.ccin.com.cn/detail/5b2bf3244156eeaad89ffa5de68a078f/news>.
- [15] 方升研究. 年度产业观察: 转危为机的生物医药 [EB/OL]. (2021-08-10)[2021-08-30]. <https://www.cn-healthcare.com/articlewm/20210809/content-1251175.html>.
Fang Sheng Research. Annual industry observation: Turning crisis into opportunity biomedicine [EB/OL]. (2021-08-10)[2021-08-30]. <https://www.cn-healthcare.com/articlewm/20210809/content-1251175.html>.
- [16] 华大智造. 华大智造获颁全球华人生物学家大会“华人之光”奖 [EB/OL]. (2019-07-31)[2021-06-30]. https://www.sohu.com/a/330574738_299121.
MGI. MGI was awarded the “Chinese Light” award at the global Chinese biologists conference [EB/OL]. (2019-07-31)[2021-06-30]. https://www.sohu.com/a/330574738_299121.
- [17] 马爱进, 韩盼盼, 刘杨柳, 等. 微生物健康产业态势与对策建议 [J]. 食品科学, 2020, 41(17): 307–314.
Ma A J, Han P P, Liu Y L, et al. Trends in the microbial health industry and countermeasures for its development [J]. Food Science, 2020, 41(17): 307–314.
- [18] 贺绍杰, 曾艳玲. 微生物制药酵母菌渣工业化处理研究 [J]. 江苏海洋大学学报(自然科学版), 2018, 27(2): 57–60.
He S J, Zeng Y L. Study on the industrial treatment of microbial pharmaceutical yeast residue [J]. Journal of Jiangsu Ocean University(Natural Science Edition), 2018, 27(2): 57–60.
- [19] 江洪波, 陈大明, 毛开云. 抗生素、氨基酸、维生素等大宗产品规模化发展及产业情况 [J]. 生物产业技术, 2012 (1): 51–56.
Jiang H B, Chen D M, Mao K Y. Large scale development and industrial situation of bulk products such as antibiotics, amino acids, and vitamins [J]. Biotechnology & Business, 2012 (1): 51–56.
- [20] 陈凯先. 生物医药科技创新前沿、我国发展态势和新阶段的若干思考 [J]. 中国食品药品监管, 2021 (8): 4–17.
Chen K X. Advances in biopharmaceutical science and technology, innovative biologics in China and discussion of drug development at the new development stage [J]. China Food & Drug Administration Magazine, 2021 (8): 4–17.