

基于专利分析的中国海洋生物肥料发展现状与发展建议*

Patent Analysis-based Study on Marine Biofertilizer in China and Its Development Proposals

郭庆¹, 吴霜¹, 赵雅慧¹, 刘聪², 吴家法¹, 杨立芳², 龙寒¹, 禩金彩¹, 姜明国^{1**}

GUO Qing¹, WU Shuang¹, ZHAO Yahui¹, LIU Cong², WU Jiafa¹, YANG Lifang², LONG Han¹, XUAN Jincai¹, JIANG Mingguo¹

(1. 广西民族大学海洋与生物技术学院, 广西高校微生物与植物资源利用重点实验室, 广西南宁 530008; 2. 广西民族大学化学化工学院, 广西南宁 530008)

(1. Guangxi Key Laboratory of Utilization of Microbial and Botanical Resources, School of Marine Sciences and Biotechnology, Guangxi University for Nationalities, Nanning, Guangxi, 530008, China; 2. School of Chemistry and Chemical Engineering, Guangxi University for Nationalities, Nanning, Guangxi, 530008, China)

摘要:【目的】为了解国内海洋生物肥料的知识产权现状,明确海洋生物肥料的研究热点及其发展趋势。【方法】对国内有关海洋生物肥料的公开专利进行检索分析,主要从年度专利申请量、区域分布、技术领域、申请机构类型和词频分析进行数据整理。【结果】海洋生物肥料专利申请数量增长迅速,其中山东省在海洋生物资源农业应用领域领先全国,广西位于全国前列。企业在专利申请数量上远高于科研院所和高校。62%专利涉及的相关工艺为海洋原材料简单物化处理技术,其他的则为采用微生物发酵或酶解技术。专利词频分析表明,海藻是海洋生物肥料领域使用最普遍的原材料。【结论】海洋生物肥料市场潜力巨大,但其在应用上仍处于原材料收集利用的初级阶段,深入挖掘利用海洋微生物资源能够促进生物肥料产业的升级换代。广西拥有丰富的海洋生物资源,也有微生物工业应用的经验和基础,研发人员应在原有海洋生物利用的基础上,充分利用海洋微生物资源提升产品功效,促进广西农业绿色发展。

关键词: 专利 海洋生物肥料 词频分析 建议

中图分类号: G306 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9164(2018)01-0100-07

Abstract:【Objective】This study is to obtain the intellectual property status and confirm the re-

search focus and development trends of domestic marine biofertilizer. 【Methods】Domestic public patents on marine biofertilizer were searched and analyzed from annual number of patent application, regional distribution, fields of research, types of application agencies and word frequency. 【Results】The amount of patents on marine biofertilizer is growing rapidly, especially Shandong province leads the country in the field of agricultural application of marine bioresources,

收稿日期:2017-12-06

作者简介:郭庆(1996-),男,在读本科生,主要从事海洋微生物资源开发与利用研究。

* 国家自然科学基金项目(31260004,31660005),南宁市科技局项目(20153330),国家大学生创新创业项目(201610608097,201510608029)和广西教育厅中青年教师能力提升计划项目(2017KY0163)资助。

** 通信作者:姜明国(1973-),男,教授,主要从事海洋生物资源开发与利用研究,E-mail:mzxyjiang@163.com。

and Guangxi is at the forefront of the country. The number of patent applications from enterprises is much higher than institutes and universities. 62% of the patents involved in the relevant process are the simple materialization of marine raw materials processing techniques, the others are the use of microbial fermentation or enzymatic hydrolysis techniques. The word frequency analysis of all patents showed that algae was used most frequently as raw materials in marine biological fertilizer. **【Conclusion】** Although marine biological fertilizer has a broad market prospect, the research and application are still in the initial stage of the collection and utilization of raw materials. In-depth exploration and utilization of marine microbial resources can promote the upgrading of biological fertilizer industry. Guangxi owns abundant marine biore-sources, also accumulates experience and foundation in microbiological industrial application. Researchers should make full use of marine microbial resources to enhance efficacy of original biofertilizer on the basis of utilization of marine materials to promote the development of green agriculture in Guangxi.

Key words: patent, marine biofertilizer, word frequency analysis, proposal

0 引言

【研究意义】海洋生物肥料产业是统筹利用海洋生物资源的战略性新型产业。随着国家农业部《到2020年化肥使用量零增长行动方案》和《到2020年农药使用量零增长行动方案》的颁布,生物肥料未来发展潜力巨大。同时,国家提出的海洋强国战略,以及广西政府提出的向海发展及其配套政策,海洋资源的利用与开发迎来高速发展机遇。**【前人研究进展】**海洋生物肥料,尤其是海藻有机肥,被誉为第四代肥料,含有大量植物生长素、细胞分裂素、多糖和维生素等活性物质^[1],能够有效减少因使用化肥和农药给人类带来的健康隐患^[2],且在恢复土壤营养循环^[3]的同时,能够促进多种作物如大米^[4]、小麦^[5]、玉米^[6]、葡萄^[7]、西红柿^[8]、棉花^[9]等植株生长,最终提高作物产量。此外,从牡蛎、虾和蟹等海洋生物中提取的甲壳素及其衍生品在土壤改良和植物生物调节中的作用也引起研究人员的广泛关注^[10-11]。随着海洋生物资源的深度挖掘,除了海洋动植物外,海洋微生物也逐渐成为海洋资源研究的热点,并从中获得大量活性次生代谢产物^[12-13]。由于农田常年使用化肥,土壤极易发生盐渍化^[14],而常用微生物肥料菌株来源于陆地环境,难以适应,最终发挥不了正常药效。海洋微生物耐盐性相比陆源微生物要高,且其次生代谢产物丰富,对已形成的耐药性病原菌具有更好的抑制效果。

国内李元广团队于2015年首次实现海洋微生物农药产业化,用于防治盐渍土地青枯病引起的土传病害^[15]。**【本研究切入点】**广西海洋生物资源丰富,具有较强的开发潜力,但与全国海洋资源利用发达省区相比仍有较大差距^[16]。广西农业发展在国家农业整体发展中占有重要地位,是全国“产糖大省”和“水果之乡”,但面临着水土资源短缺、农业生产技术相对落后、生态环境脆弱等诸多问题^[17]。当前,海洋生物资源在农业应用方面虽然进入高速发展阶段,但总体仍处于起步阶段,研究深度不足。**【拟解决的关键问题】**本研究拟从国内现有公开专利资料的角度,对2000年以来,海洋生物肥料相关专利的申请数量、主要申请地区、制造工艺和词频分析等方面进行分析,探讨国内海洋生物肥料的现状和发展趋势,提出广西海洋生物资源在农业领域应用的建议。

1 研究方法和分析框架

本研究使用CNKI专利检索系统,输入海洋肥料相关检索关键词,获得相关专利2000余项,通过阅读专利文献摘要,去除非农业专利以及排除重复后,最终得到相关专利400多项。有效题录经过预处理后在Excel中进行分类统计,主要从海洋生物肥料的总体趋势、申请人所在区域分布、技术领域和申请机构类型展开分析,从不同角度分析海洋生物肥料的发展趋势。本文采用的专利分析总体框架如图1所示。

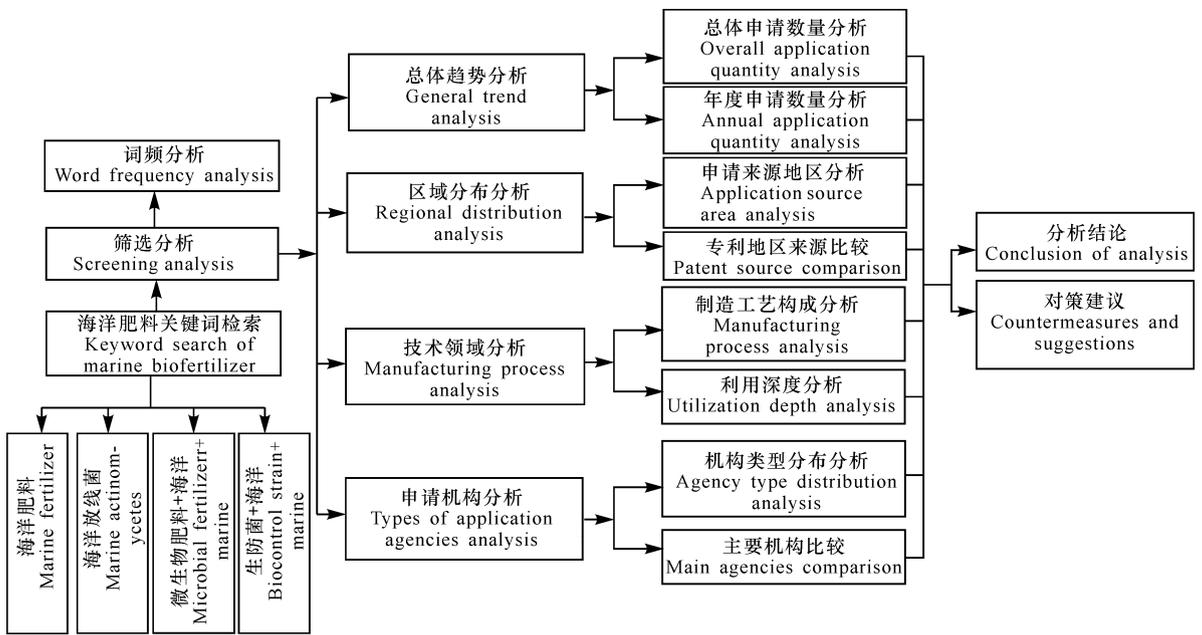


图1 专利分析总体框架

Fig. 1 General analysis framework of patents on marine biofertilizer

2 结果与分析

2.1 专利申请总体趋势分析

公开专利每年项目数量能在一定程度上反映出该研究领域的发展水平,把检索题录导入 Excel 后按年限进行分类排序后,结果见图 2。图 2 显示,国内有关海洋生物肥料的专利申请在 2000 年开始出现。2000—2017 年,从我国海洋生物肥料技术领域的公开专利年度申请数量可以看出:2013 年之前,专利年度申请数量较少,不超过 20 项(其中,2003 年申请数量为 0)。2013 年之后,随着国家推动海洋强国战略,进一步经略海洋,海洋资源开发利用产业进入高速发展期,同时国家对知识产权保护和专利申请等相关鼓励政策的实施,使海洋生物肥料专利数量进入快速增长期。到 2015 年,公开专利数量达到 102 项,是 2010 年的 7 倍多。总体看来,海洋生物肥料领域的研究逐步加快,发展态势良好。由于专利申请从申请日到发明公布时间为 18 个月,截止检索日,部分专利仍处于未公开阶段,因此 2016—2017 年的海洋肥料相关专利申请数据仅供参考。

2.2 专利区域分布分析

对海洋生物肥料专利申请人的来源地区进行分析(图 3)。从图 3b 中可以看出,海洋生物肥料相关专利申请机构主要来源于沿海省区(以不同深浅蓝色以及红色标注),大部分内陆地区的公开专利数量仅

有几项(灰色地区标注),说明海洋生物资源开发具有一定的地域限制特征,沿海地区对开发海洋生物资源的积极性更高。从图 3b 中可以明显看出,山东省的公开专利数量高达 215 项,占全国公开专利的 53%,这与山东作为全国海洋开发和农业经济强省有密切关系。山东省拥有全国唯一的海洋类国家实验室——青岛海洋科学与技术国家实验室,以及中国科学院海洋研究所、中国海洋大学、国家海洋局第一研究所等强大的科研教学力量,使山东省在海洋生物资源的农业应用方面高速发展并领先全国。广西与广东、安徽、北京等省市的公开专利数量基本相当,位于全国前列。

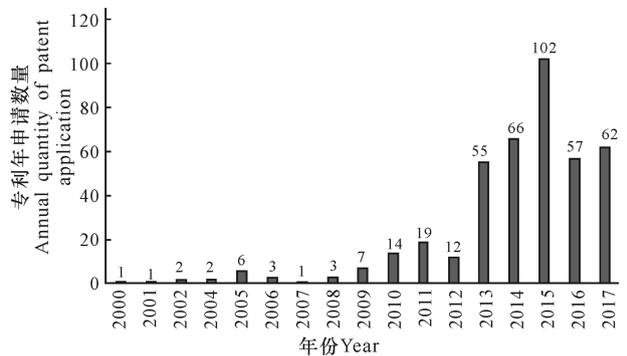
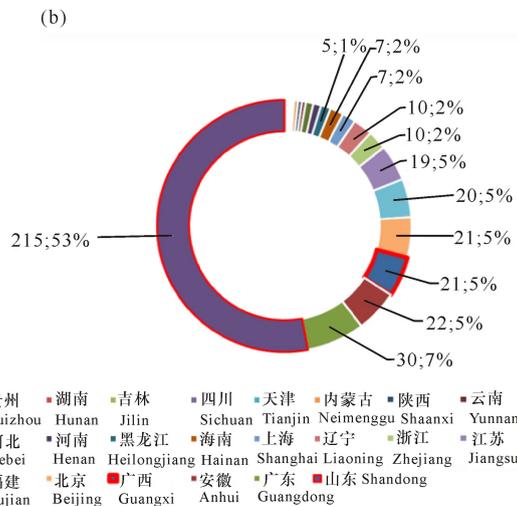
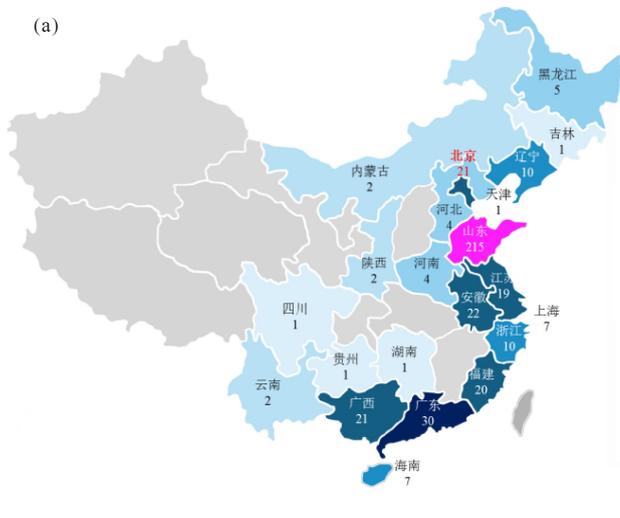


图2 海洋生物肥料专利申请总体趋势

Fig. 2 General trend of patents on marine biofertilizer in China



(a) 各省区市专利申请数量分布示意图; (b) 各省区市专利申请数量和占比

(a) The distribution diagram of patent applications in different area; (b) The number and proportion of patent applications in different area

图 3 海洋生物肥料专利区域分布图

Fig. 3 Regional distribution diagram of patents on marine biofertilizer in China

2.3 专利技术领域分析

图 4 为海洋生物肥料公开专利的制造工艺类型分析,大体上分为海洋来源原料简单物化处理和海洋来源原料生物技术处理两大类。其中生物技术处理又可简单分为酶处理和微生物处理;根据微生物环境来源不同,又简单地将微生物区分为普通陆地来源和海洋来源。从图 4 可以看出,我国海洋生物肥料公开专利有 257 项属于简单的海洋原料物化处理,占全部专利总数的 62%,这说明海洋生物资源仍处于较为初级的开发阶段。在生物技术处理手段中,酶解技术仅占 3%,这可能与海洋原料相对已知陆地原料要复杂,难以选择高效酶进行彻底处理有关。同时,在微生物的选择上,大部分仍沿用陆地来源微生物,这说明海洋微生物资源没有充分开发利用。

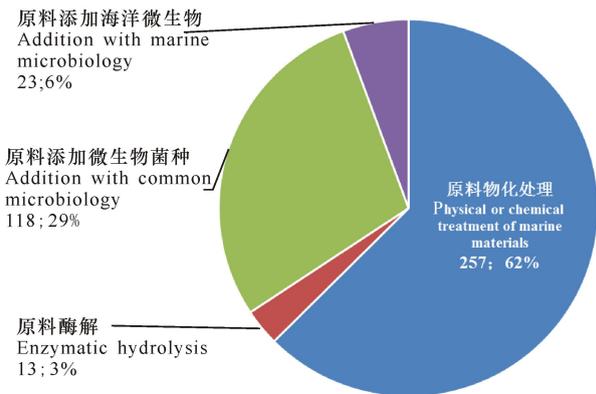


图 4 海洋生物肥料专利中制造工艺类型

Fig. 4 Types of manufacturing process of patents on marine biofertilizer in China

2.4 专利申请机构类型分析

从图 5 可以看出,在海洋生物肥料专利申请机构类型上,公司性质机构申请专利数量达到 251 项,占专利总量的 61%,这说明企业具备一定海洋生物资源专业开发的能力,同时在知识产权保护上的意识较强。高校和科研院所的占比均为 12%,明显低于公司,同时也低于个人申请量,这可能与高校和科研事业单位知识产权保护意识不足,以及对研究成果应用转化意愿不强有关。在个人专利申请数量上,达到 62 项,占专利总数的 15%,这一方面说明中国知识产权保护和申请鼓励机制在一定程度上起到激励作用,但另一方面也可能与海洋生物肥料开发的技术含量相对较低,准入门槛不高有关。

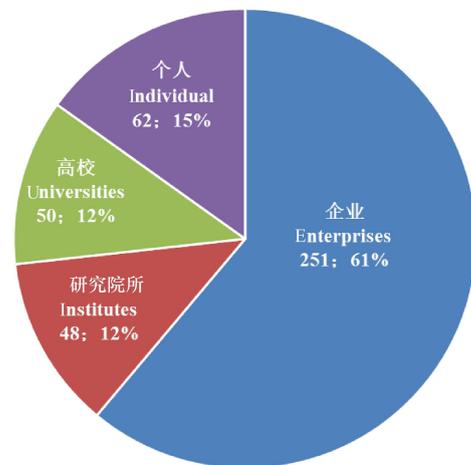


图 5 海洋生物肥料专利申请机构类型

Fig. 5 Types of patent application agencies on marine biofertilizer in China

2.5 专利词频分析

词频分析能够快速简便地揭示某一研究领域出现的关键词,并以此确定该领域的研究热点和发展趋势。本研究使用词频分析网站(<http://www.picdata.cn/>)对所有海洋生物肥料相关专利进行词频数据分析,共获得原始关键词 30 个,关键词总呈现频次为 850 次,详见词频分析数据表(表 1)以及热点词图(图 6)。其中,超高频关键词(词频 100 次以上)共计 2 个,分别为制备和海藻;高频关键词(词频 30~100 次)共计 5 个,分别为肥料、生物、有机肥、生产和海洋;次高频关键词(词频 10~30 次)共计 10 个,与微生物相关关键词频共计 66 次。结合图 6 可知,在海洋生物肥料公开专利中,通常以海洋来源的材料制备生物有机肥料为出发点,采用原料最多的为海藻,其次为贝壳、牡蛎等甲壳素,部分采用微生物发酵技术处理。

表 1 海洋生物肥料相关专利词频分析表

Table 1 Word frequency analysis of patents on marine biofertilizer in China

序号 Serial number	关键词 Key words	词频 Word frequency	权重 Weight
1	制备 Preparation	195	1.000 0
2	海藻 Algae	129	0.970 0
3	肥料 Fertilizer	96	0.920 0
4	生物 Biology	63	0.840 0
5	有机肥 Organic fertilizer	32	0.810 0
6	生产 Manufacture	51	0.800 0
7	海洋生物 Marine biology	23	0.780 0
8	微生物 Microbiology	27	0.770 0
9	活性 Aactivity	28	0.770 0
10	海洋 Marine	30	0.773 3
11	叶面肥 Foliar fertilizer	14	0.749 2
12	缓释 Slow-release	15	0.743 8
13	土壤 Soil	20	0.738 0
14	复合 Compound	20	0.735 0
15	芽孢 Spore	12	0.729 6
16	发酵 Fermentation	16	0.721 7
17	贝壳 Shell	10	0.672 5
18	甲壳素 Chitin	8	0.641 5
19	控释 Controlled-release	5	0.633 5
20	霉菌 <i>Mycete</i>	6	0.631 0
21	菌株 Strain	5	0.626 3
22	放线菌 <i>Actinomycetes</i>	6	0.614 2
23	海带 Kelp	5	0.613 5
24	细菌 Bacteria	5	0.601 1
25	牡蛎 Oyster	4	0.599 4
26	蟹壳 Crab shell	5	0.594 8
27	菌肥 Bacterial manure	5	0.592 0
28	褐藻 <i>Phaeophyta</i>	3	0.555 9
29	马尾藻 <i>Scagassum</i>	3	0.553 0
30	对虾 <i>Penaeus orientalis</i>	2	0.536 4



图 6 海洋生物肥料相关专利词频分析

Fig. 6 Word frequency analysis of patents on marine biofertilizer in China

3 结论

通过对国内涉及海洋生物肥料相关公开专利进行筛选分析,可以看出,随着国家海洋战略的实施,我国海洋资源开发进入高速发展时期,截至 2017 年 11 月公开专利数量达 400 多项。国内尤其是山东、广东、广西、福建、江苏和辽宁等沿海省区的公司、高校、研究院所以及个人都投入了大量资金和人力资源从事该技术领域的研究与开发,说明海洋生物农业应用领域具有广阔的市场前景。从专利技术领域来看,海洋来源材料的简单物化处理占 60% 以上,说明海洋生物资源农业的开发仍处于初级阶段,有待进一步开发和强化技术手段。从申请机构类型看,公司和个人相对科研院校更为积极,说明公司对海洋生物肥料市场前景认可较强,科研院校对海洋生物资源开发技术成果转化重视程度稍显不足。

4 对广西海洋生物肥料的发展建议

4.1 加强对广西海洋生物资源开发的扶持力度

广西与区外海洋生物肥料开发领先地区相比,除与山东省差距明显之外,与其他沿海省区市相比处于前列,这说明广西具有一定的海洋生物资源开发基础,建议通过地区政策的引导和扶持等,促进广西海洋生物肥料的产业机构转型升级。要根据广西农业土壤环境、种植品种以及突出病虫害等,设计海洋生物肥料发展思路,避免行业内同质无序的竞争。广西海岸线长 1 595 km,占全国总海岸线长度近 9%,海滩涂总面积达 1 000 多平方千米,且污染较发达地区小,海洋生物资源丰富,可开发的潜力巨大^[18]。但广西海洋经济发展相对滞后,传统海洋产业集中于粗放海洋渔业发展模式,海洋 GDP 在国民经济中占比与我国其他沿海地区相比,处于落后地位^[19]。本研究结果表明,广西海洋生物资源利用领域具有良好的

基础,若能够形成良好的产业集群效应和规模效应,并与广西巨大的农业应用市场相结合,必将形成新的海洋绿色经济增长点,为广西向海发展提供强大动力。

4.2 加强海洋生物肥料核心技术的研发力度

目前,广西在海洋生物肥料公开专利中,大部分为海洋原材料的简单物化处理。经过10年的快速发展,我国微生物肥料目前已经取得长足进步,微生物在土壤改良、作物产量增收和病虫害防治效果等方面均获得了企业用户的高度认可^[20],在海洋原料中添加微生物及其酶制剂进行生物技术发酵处理已经逐渐成为海洋生物肥料的发展趋势。如图7所示,海洋原料的简单物化处理制造工艺所占比例处于波动下降趋势,而在海洋来源材料中加入微生物制剂处于波动上升趋势。目前,微生物肥料中常用菌株为巴西固氮螺菌(*Azospirillum brasilense*)、枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)、地衣芽孢杆菌(*Bacillus licheniformis*)和解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens*)等,功能涵盖固氮、溶磷解钾、植物促生、土壤结构改善、致病生物抑制或杀灭等^[21]。具有病原菌拮抗活性的微生物通过与海藻、牡蛎或蟹壳等海洋原材料结合,能够协调解决微生物营养物质提供不足而海洋原材料抗病防虫能力不强问题。但目前微生物肥料所用菌株大部分分离自陆地环境,在处理海洋来源材料时可能存在适应问题,因此从海洋环境中分离获得的菌株可能具有广阔的应用前景。同时,据保守估计,海洋来源微生物资源物种数量达到2~10亿种,其特殊的物种、遗传和次生代谢产物多样性,能够为海洋生物肥料提供大量优良功能活性菌株^[22]。因此,具有农业开发潜质的海洋微生物菌种资源将有可能成为未来海洋生物肥料的核心。未来海洋生物肥料的核心竞争力关键在以下4个方面:

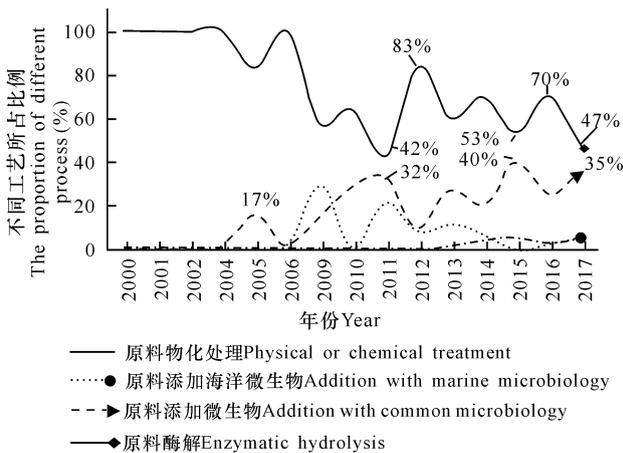


图7 海洋生物肥料专利制造工艺类型发展趋势

Fig. 7 Trend of manufacturing process of patents on marine biofertilizer

1)具有特殊活性海洋微生物的快速分离筛选方法;2)海洋微生物的高效发酵工艺技术;3)提高海洋微生物对特定土壤环境的适应能力;4)对特定作物的最终增收效果。

4.3 加强海洋生物肥料产学研的合作力度

从全文分析可知,山东省之所以在海洋生物肥料研发中独树一帜,其强大的科研院校研发能力在学术人才、研究平台、试验设备和研究资源上,为海洋生物肥料产学研合作提供了强大动力,而作为创新主体的山东省企业主动对接,在专利数量、产品研发和市场推广上优势明显。广西在海洋生物资源开发利用方面起步较晚,需要进一步整合高校科研院所优秀人才和平台资源,针对现有科研创新体制弊端、成果产出延续性、项目周期长、涉及环节庞杂等问题,并协同具有海洋生物肥料行业或技术领域研发基础的相关企业共同发展,利用广西丰富的海洋生物资源充分开拓农业应用市场。

参考文献:

- [1] ZUYSAL O, OZDEMIR F O, EKINCI K. Evaluation of microalgae as microbial fertilizer[J]. European Journal of Sustainable Development, 2015, 4: 77-82.
- [2] SAHU D, PRIYADARSHANI I, RATH B. Cyanobacteria-as potential biofertilizer[J]. CIBTech Journal of Microbiology, 2012, 1(2): 20-26.
- [3] PRAKASH S, NIKHIL N. Algae as a soil conditioner [J]. International Journal of Engineering and Technical Research, 2014, 2: 68-70.
- [4] SONG T, MARTENSSON L, ERIKSSON T, et al. Biodiversity and seasonal variation of the cyanobacterial assemblage in a rice paddy field in Fujian, China[J]. FEMS Microbiology Ecology, 2005, 54: 131-140.
- [5] SPILLER H, GUNASEKARAN M. Ammonia-excreting mutant strain of the cyanobacterium *Anabaena variabilis* supports growth of wheat[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 1990, 33: 477-480.
- [6] BERNARDES R F B, CARDOSO A F, DE DEUS BERNARDES M H, et al. The effect of different sources of N combined with marine algae on corn plant development[J]. Australian Journal of Crop Science, 2016, 10: 1393-1398.
- [7] ROMANOWSKA-DUDA Z, GRZESIK M, OWCZARCYK A, et al. Impact of intra and extracellular substances from cyanobacteria on the growth and physiological parameters of grapevine (*Vitis vinifera*) [C]// Proceedings of the 20th International Conference on Plant Growth Substance (IPGSA). Spain: Universitat Rovira i Virgili, 2010: 118.

- [8] AL-KHIAT S H A. Effect of cyanobacteria as a soil conditioner and biofertilizer on growth and some biochemical characteristics of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) seedlings[M]. Riyadh: King Saud University, 2006; 1-190.
- [9] KHALIL H M A, HASSAN R M. Raising the productivity and fiber quality of both white and colored cotton using eco-friendly fertilizers and rice straw[J]. International Journal of Plant Research, 2015, 5(5): 122-135.
- [10] PICHYANGKURA R. Application of chitin-chitosan from marine by-products in Thailand[C]//The FFTC-KU Joint Seminar on "Improved Utilization of Fishery By-product as Potential Nutraceuticals and Functional Foods". Bangkok: Kasetsart University, 2014: 190-194.
- [11] CHEBA B A. Chitin and chitosan: Marine biopolymers with unique properties and versatile applications[J]. Global Journal of Biotechnology & Biochemistry, 2011, 6: 149-153.
- [12] DASH H R, MANGWANI N, CHAKRABORTY J, et al. Marine bacteria: Potential candidates for enhanced bioremediation[J]. Appl Microbiol Biotechnol, 2013, 97(2): 561-571.
- [13] LEE H S, KWON K K, KANG S G, et al. Approaches for novel enzyme discovery from marine environments[J]. Current Opinion in Biotechnology, 2010, 21(3): 353-357.
- [14] HAN J P, LUO Y H, YANG L P, et al. Acidification and salinization of soils with different initial pH under greenhouse vegetable cultivation[J]. Journal of Soils & Sediments, 2014, 14(10): 1683-1692.
- [15] 黄辛, 张婷. 首个海洋微生物农药实现产业化[N]. 中国科学报, 2015-11-17(1).
HUANG X, ZHANG T. The first marine microbial pesticide to industrialization[N]. China Science Daily, 2015-11-17(1).
- [16] 陆海生. 广西海洋产业发展中的科技需求分析[J]. 广西科学, 2014(2): 169-172, 178.
- LU H S. Analysis on scientific and technological demand of Guangxi marine industry development[J]. Guangxi Sciences, 2014(2): 169-172, 178.
- [17] 赵其国, 黄国勤. 广西农业: 机遇、成就、问题与战略[J]. 农业学报, 2011(3): 1-8.
ZHAO Q G, HUANG G Q. Guangxi agriculture: Opportunity, achievement, problems and strategy[J]. Journal of Agriculture, 2011(3): 1-8.
- [18] 杨迺裕. 广西北部湾海洋资源利用现状与开发策略研究[J]. 学术论坛, 2011(5): 154-158.
YANG N Y. Study on the current situation and development strategy of marine resources in Beibu Gulf of Guangxi[J]. Academy Forum, 2011(5): 154-158.
- [19] 李世泽, 甘日栋, 李桂森. 加快广西海洋经济发展研究[J]. 桂海论丛, 2017(2): 49-56.
LI S Z, GAN R D, LI G S. Accelerating the development of marine economy in Guangxi[J]. Guihai Tribune, 2017(2): 49-56.
- [20] 周法永, 卢布, 顾金刚, 等. 我国微生物肥料的发展阶段及第三代产品特征探讨[J]. 中国土壤与肥料, 2015(1): 12-17.
ZHOU F Y, LU B, GU J G, et al. Chinese microbial fertilizer features in its developmental stages and a discuss on the third-generation product innovation[J]. Soil and Fertilizer Sciences, 2015(1): 12-17.
- [21] 许景钢, 孙涛, 李嵩. 我国微生物肥料的研发及其在农业生产中的应用[J]. 作物杂志, 2016(1): 1-6.
XU J G, SUN T, LI S. Application of microbial fertilizers in agricultural production of China[J]. Crops, 2016(1): 1-6.
- [22] 张偲, 张长生, 田新朋, 等. 中国海洋微生物多样性研究[J]. 中国科学院院刊, 2010, 25(6): 651-658.
ZHANG S, ZHANG C S, TIAN X P, et al. The study of diversities of marine microbes in China[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2010, 25(6): 651-658.

(责任编辑: 米慧芝)