生物农药研究进展与未来展望

邱德文

(中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

摘要 生物农药的研究与利用在农业病虫害防控体系中占有重要地位, 进入 21 世纪后, 更备受世界各国关注。随着绿色植保战略的推进与实施, 生物农药研发成为我国生物产业、农业科研与应用的重点, 被列为国家中长期科技发展规划的重大研究领域与方向。本文介绍了国内外生物农药产业的发展现状与未来趋势, 分析了我国生物农药的发展瓶颈, 提出了促进发展的可行对策。

关键词 生物农药; 研究进展; 趋势展望

中图分类号: TQ 458 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.0529-1542.2013.05.011

Research progress and prospect of bio-pesticides

Qiu Dewen

(Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract The bio-pesticide research and utilization play an important role in IPM. Many countries have paid more and more attention to the bio-pesticides in the twenty-first century. This paper introduced the research progress and prospect of the bio-pesticide industry, analyzed the bottleneck problems in developing bio-pesticide industry in China, and put forward some strategic measures and suggestions for stimulating the development of bio-pesticide industry.

Key words bio-pesticide; research progress; prospect

进入 21 世纪以来, 全球保护环境的呼声日渐增高, 公众对食品安全的关注愈加密切, 使得生物农药在国际、国内获得了又一次发展的机遇。《国家中长期科学与技术发展规划纲要(2006—2020)》和《国家“十二五”科学和技术发展规划》将生物产业作为新兴产业的一部分, 把农业生物药物与生态农业作为优先发展主题, 有害生物控制作为需求导向的重大科学问题研究领域和方向之一。我国生物农药领域从业人员抓住机遇、努力创新, 在基础理论研究、生物农药创制、应用技术推广等方面都有新的建树。

世界各国在大力推广使用生物农药, 据统计, 2000 年生物农药占全球农药市场份额的 0.2%, 2009 年增长到 3.7%。2010 年全球生物农药的产值超过 20 亿美元, 市场占有率达到 4% 左右。据 Markets & Markets 发布的《2012—2017 全球生物农药市场趋势与预测》报告显示, 2011 年全球生物农药市场价值达 13 亿美元, 2017 年有望达到 32 亿

美元^[1], 从 2012 年到 2017 年期间将以 15.8% 的复合年增长率增长。预计北美占据全球生物农药市场的主导地位, 其 2011 年占比达到 40%。欧洲市场由于农药管理制度严格且对天然产品的需求日益增大, 有望在将来成为生物农药发展最快的市场^[2]。从我国生物农药的发展历程来看, 基本与国际生物农药发展同轨。经过 50 多年的发展, 目前我国已经掌握了许多生物农药的关键技术与产品研制的技术路线, 在研发水平上与世界水平相当, 人工扩繁赤眼蜂技术、虫生真菌的工业化生产与应用技术、捕食螨商品化、植物线虫的生防制剂、植物免疫生物诱抗药物研制等某些领域国际领先。据统计, 我国具备一定科研条件和发展规模的生物农药研发机构有 30 余家, 主要包括科研院所、高校、国家及省部级重点实验室、工程中心等, 拥有 260 多家生物农药生产企业, 约占全国农药生产企业的 10%, 生物农药制剂年产量近 13 万 t; 年产值约 30 亿元人民币, 分别约

占整个农药总产量和总产值的 9% 左右;应用面积约 2 600 万~3 300 万 $\text{hm}^2 \cdot \text{次}$ 。我国生物农药产品剂型从不稳定向稳定发展,由剂型单一向剂型多样化方向发展,由短效向缓释高效性发展。研究和发现新型先导化合物和明确新型药物作用靶标已经成为新型生物农药创制与开发的重要基础性工作。随着植物免疫理论的快速发展,植物抗病免疫诱抗剂近年来取得了引人瞩目的发展,随着生物农药及健康植物保护相关研究的开展,绿色植保已经成为国家发展的重要需求与必然趋势。

1 我国生物农药产业发展现状

近年来,生物农药的创制与研究开发得到了我国中央政府、地方部门及各部委和相关厅局等各级政府的高度重视与广泛的支持,在国家科技部“863”计划项目等设立专项资助,在生物农药资源的挖掘、新剂型的研发、产业化示范推广、不同生物农药标准的制定等方面设立专项资助,这对于推动我国生物农药创新与推广应用奠定了较好的基础,促成了多种新型生物农药完成了登记注册(表 1)。

我国生物农药类型包括微生物农药、农用抗生素、植物源农药、生物化学农药和天敌昆虫农药等类型。目前大量研究及应用的微生物杀虫剂主要有真菌类、病毒类和细菌类。其中细菌类(以 Bt 为代表)国内外已经形成了工业化生产技术和大量的产品,进入成熟的商品化阶段。近年来,我国已有多个生物农药产品获得广泛应用。其中井冈霉素、苏云金杆菌、赤霉素、阿维菌素、春雷霉素、白僵菌、绿僵菌已获得了广泛推广和应用,这些生物农药的推广与应用充分说明较好的生物农药对于我国农作物病虫害的防治具有重要的作用;所研制开发的微生物杀菌剂木霉菌生物农药用于防治蔬菜根腐病、枯萎病、灰霉病等土传病害也显示出很好的应用前景;植物源农药(苦参碱、鱼藤酮、楝素等)和植物生长调节剂类农药(细胞分裂素、赤霉素、脱落酸等)在我国农业生产上也获得了广泛的应用;特别是近年来,我国昆虫病毒制剂也获得了长足的进步,如斜纹夜蛾 NPV、油桐尺蠖 NPV、松毛虫 CPV 等在林业生产上受到广泛的应用。目前我国在公主岭霉素、浏阳霉素、中生霉素、多抗霉素、农抗 120、武夷菌素等农用抗生素的发酵技术、剂型研制、产品登记和农用推广上已成功应用于防治禾谷类作物黑穗病、蔬果作物

枯萎病和炭疽病等农作物病害。根据国家统计局统计,2012 年 11 月份,全国农药行业完成工业总产值 231.0 亿元,同比增长 27.5%;完成现价销售产值 222.9 亿元,同比增长 26.9%。其中生物源农药工业总产值和销售产值涨幅均超过 40%(表 2)。

表 1 我国生物源农药登记注册情况
(截至 2012 年 12 月的统计结果,包括单剂和混配药剂)

Table 1 Bio-pesticide registration in China (as of December 2012, including single agent and mixed pesticides)

种类 Type	有效成分种类 Type of active ingredients	产品总数 Total number of products	大宗产品有效成分 Active ingredients in most products
微生物农药 Microbial pesticide	24	281	Bt、枯草芽胞 <i>Bacillus subtilis</i> 蜡质芽胞 <i>Bacillus cereus</i>
植物源农药 Botanical pesticide	28	237	苦参碱 Matrine、 除虫菊素 Pyrethrum、 印楝素 Neem
生物化学农药 Biochemical pesticide	11	202	乙烯利 Ethephon、 赤霉酸 Gibberellic acid
抗生素 Antibiotic	17	1 832	阿维菌素 Abamectin、 井冈霉素 Validamycin
植物免疫诱抗剂 Plant immunity elicitor	7	35	氨基寡糖素 Amino-oligosaccharin、 激活蛋白 Activator protein
天敌生物 Natural enemy	3	4	松毛虫赤眼蜂 <i>Trichogramma dendrolimi</i> 、 螟黄赤眼蜂 <i>Trichogramma chilonis</i>
合计 Total	90	2 591	

1.1 微生物杀虫剂研究发展现状分析

微生物杀虫剂是利用微生物的活体制成的,具有以下特点:①防治对象专一,选择性高;②药效作用较缓慢;③药效易受外界因素(温度、湿度、光照等)的影响;④对生态环境的影响小。

1.1.1 细菌类农药

细菌类农药是国内外微生物农药中研究较早、成果较多、产量较大、施用较广的微生物杀虫剂。有关细菌类生物农药的菌株选育、发酵工艺优化、产品剂型加工和不同农作物上的应用技术等方面均有了较好的发展,我国在细菌类生物农药的研究、开发、生产与应用上均处于世界先进水平。如我国有关研

究与生产企业在苏云金杆菌的研究与开发应用规模上已处于世界领先水平,苏云金杆菌杀虫剂目前在我国主要应用于防治棉铃虫、斜纹夜蛾、甜菜夜蛾、烟青虫、小地老虎、稻纵卷叶螟、玉米螟和小菜蛾等。我国有关科研人员对苏云金杆菌的研究已深入到基

因水平,对其杀虫晶体蛋白的编码基因 *cry* 的研究及其应用技术上已获得了新的突破进展。我国 Bt 产品剂型以液剂、乳剂为主,还有可湿性粉剂、悬浮剂,目前 Bt 产品的剂型研制正在向干悬浮剂、纳米制剂上发展。

表 2 2012 年 11 月主要经济指标完成情况(亿元)¹⁾

Table 2 Main economic indicators in November 2012 in China (100 million yuan)

行业分类 Type of industry	企业数 The number of enterprises	现价工业总产值 Current industrial output		现价销售产值 Current sales	
		11 月 November	同比(±%) Year-on-year	11 月 November	同比(±%) Year-on-year
农药 Pesticide	804	231.0	27.5	222.9	26.9
化学农药 Chemical pesticide	680	197.2	25.0	189.6	23.9
生物源农药 Biological pesticide	124	33.9	44.5	29.3	47.2

1) 数据来源:国家统计局。Source: National Bureau of Statistics.

以 Bt 以色列亚种开发的灭蚊制剂已成为杀灭蚊子幼虫的首选药物,目前开发的防治蚊类幼虫和储粮蛾类害虫的 Bt 杀虫剂已投放市场。球形芽胞杆菌(Bs)是目前应用最广、使用最成功的灭蚊病原微生物,现仅有产品 2 个,母药 1 个。高效广谱 Bt 制剂以鞘翅目害虫叶甲类和鳞翅目甜菜夜蛾等害虫为主要防治对象,进行针对性的开发与利用等系统研究,重点进行干悬浮剂、纳米制剂、生物种衣剂等新剂型的创制。

1.1.2 真菌类农药

目前我国常用的真菌类生物农药主要有:白僵菌、绿僵菌、木霉、淡紫拟青霉和轮枝菌等。真菌类生物农药的产品剂型主要有粉剂、可湿性粉剂、油剂、乳剂和微胶囊剂。我国白僵菌生产厂家仅 3 个,母药 3 种,产品 7 种。白僵菌防治对象有玉米螟、松毛虫、金龟子、水稻叶蝉、飞虱、茶小叶蝉、茶毛虫、蚜虫、大豆食心虫和天牛等农作物害虫。绿僵菌也是一种广谱的昆虫病原真菌,主要用于防治蝗虫、金龟子、水稻螟虫、地老虎等害虫。在国外绿僵菌生物杀虫剂应用于防治农作物害虫的面积超过了白僵菌,防治效果与白僵菌相当。其他种类的真菌主要有淡紫拟青霉和厚孢轮枝菌,用于防治多种作物根结线虫、大豆孢囊线虫、粉虱和蚜虫等;木霉生物农药近年来在我国生物防治方法与应用技术也取得了长足的进步,应用木霉生物农药防治丝核菌、枯萎病和土传病害等取得了积极的成果。开展昆

虫病原真菌资源收集、毒力菌株筛选、生产工艺研究、剂型化工艺、昆虫病原真菌与侵染相关基因的克隆与功能分析、杀虫真菌基因化学诱导调控系统的建立、高效杀虫真菌助剂的筛选、高效重组真菌杀虫剂的研究对于真菌杀虫剂的发展具有重要的推动作用。

1.1.3 病毒类农药

病毒类生物农药近年来在我国发展十分迅猛,病毒类生物农药通过寄生昆虫使昆虫致病死亡以达到控制害虫的目的。在我国病毒类生物农药中应用比较广泛的有核型多角体病毒(NPV)、颗粒体病毒(GV)和基因工程棒状病毒。从 1993 年我国第 1 个昆虫病毒生物杀虫剂——棉铃虫核型多角体病毒获得农业部药检所注册登记至今,我国现已拥有 28 家企业生产病毒类杀虫剂,母药 13 种,产品 47 种,年产量约 2 000 t。病毒类生物杀虫剂在我国目前主要应用于防治棉铃虫、螟虫、斜纹夜蛾、菜青虫、地下害虫、茶尺蠖、松毛虫和卫生害虫蟑螂等。针对具有重大应用前景的棉铃虫核多角体病毒和苜蓿银纹夜蛾核多角体病毒进行重组病毒杀虫剂研究。构建多种重组病毒,进行室内和田间的杀虫效果评估;病毒杀虫剂的中试工艺、田间应用效果与环境监控研究;开展重组杀虫剂的大规模田间应用效果与环境监控研究;病毒杀虫剂的大规模生产工艺研究;重组病毒杀虫剂生产的质量检测标准研究。目前世界上有记载的昆虫病毒超过 1 000 种,已开发投入市场的产品

有 30 多种。20 世纪棉铃虫的暴发,促进了棉铃虫核型多角体病毒杀虫剂的发展。目前国内外应用病毒类生物杀虫剂防治农作物害虫的规模还不够大,但是已经显示出很好的应用前景。

1.2 植物源农药

植物源生物农药是通过提取植物中对农作物害虫具有毒杀、拒食、麻醉、抑制昆虫发育或干扰害虫行为等的多种活性次生代谢物质而研制出的一类天然源的生物农药,有的植物源生物农药还对多种病原菌及杂草也具有防除或抑制作用。植物源农药是自然界本身存在的物质,主要由 C、H、O 等元素组成,在环境中易于分解,无环境污染及残毒之虑。其剂型以水剂、粒状等为主,因此在其加工与生产中减少了对煤炭石油等高碳能源使用,符合低碳经济发展的要求。截至 2011 年 4 月,我国已获得农业部药检所登记的植物源农药有效成分 22 个,产品总数 202 个,其中印楝素、苦参碱、鱼藤酮、烟碱和除虫菊素等植物源生物农药在我国农业生产实践中已得到了广泛的应用,植物源生物农药已日益受到使用者的欢迎与关注。

近年来,我国科研人员和生产企业在植物源农药的资源挖掘、产品研制、新剂型制备、应用技术和注册登记等方面都取得了积极而长足的进步,目前已生产和实际应用了 40 多种植物源农药,生产企业有 100 多家,获得登记产品 200 多种。植物源生物农药的登记和有关产品的生产规模都显示出了强大的生命力。呈现出明显上升趋势。目前,中国申报的印楝农药专利已经超过 100 项,有农药制剂专利 79 项,原药和提取技术 15 项。作为一类重要的生物农药,植物源农药在农药登记中已被单独列为一类。我国已登记的 202 个植物源农药产品中包括印楝素、鱼藤酮、除虫菊素、异羊角扭苷、烟碱、苦参碱、蛇床子素、乙蒜素、蓖麻油酸、八角茴香油、小檗碱、辣椒碱、苦豆子总碱、苦皮藤素、闹羊花素-III、茵蒿素、楝素、百部碱、芸薹素内酯、木烟碱、氧化苦参碱、补骨内酯、黄芩苷、莨菪碱、马钱子碱、香芹酚、吡啶乙酸类、腐植酸等。植物源杀虫剂中产量较大的有鱼藤酮乳油、苦参碱粉剂、可溶性粉剂及水剂、印楝素乳油、除虫菊素水乳剂等,其中有 12 家企业登记鱼藤酮产品 19 厂次,47 家企业登记苦参碱产品 53 厂次,11 家企业登记印楝素产品 16 厂次,10 家企业登记除虫菊素产品 17 厂次。

1.3 农用抗生素

农用抗生素是指由细菌、真菌、放线菌等微生物在发酵过程中产生的,可用于防治农业有害生物的微生物次级代谢产物。抗生素是土壤微生物产生的天然化合物,易被土壤微生物分解,而且绝大多数农用抗生素在很低的浓度时就有效,单位面积施药量少;70 年代以来,一些具有防治昆虫、螨、动物寄生虫和蠕虫、除草和调节动植物生长功能的农用抗生素,不断研究开发出来,扩大了农用抗生素的应用领域。我国农用抗生素的研究始于 20 世纪 50 年代,是农用抗生素生产和应用大国,也是农用抗生素研究开展较早的国家,一些品种已达到世界先进水平。在我国研究领域实现产业化的有阿维菌素、井冈霉素、赤霉素、浏阳霉素(polynactin)等。近 10 年来,我国研究开发农用抗生素新品种的数量在不断增加,如广东农科院植保所报道的万隆霉素、陕西农林科技大学报道的瑞拉霉素、浙江农科院微生物所报道的抑霉菌素、上海农药研究所报道的金核霉素和磷氮霉素、江西农业大学报道的梅岭霉素、中国医学科学院生物技术研究所报道的波拉霉素等。在我国现有登记注册的抗生素品种有 23 种,产品 170 个,生产厂家达 253 家,年制剂产量达 8.0×10^7 kg。其中获得登记的杀菌剂品种有井冈霉素、农抗 120 和多抗霉素、中生菌素、宁南霉素等。获得登记的杀虫、杀螨剂品种有浏阳霉素、华光霉素和阿维菌素,除草剂品种有双丙氨磷等多种。

1.4 天敌农药

中国农科院植保所、浙江大学、福建农林大学、吉林农业大学、福建省农科院等研发机构成功地建立了赤眼蜂、草蛉、瓢虫、花螬和捕食螨等天敌昆虫的人工大量繁殖技术体系,大规模应用了赤眼蜂、平腹小蜂、日光蜂、智利小植绥螨、中红侧沟茧蜂等天敌昆虫,达到每年释放天敌昆虫 10 000 亿头的规模,在玉米、水稻、棉花、柑橘等作物上使用面积 100 万 hm^2 ,直接挽回经济损失 60 亿元,减少化学农药投入约 15%。我国商品化生产的天敌昆虫主要集中在寄生性天敌昆虫,如赤眼蜂和平腹小蜂,前者每年防治玉米螟、甘蔗螟的应用面积约 100 万 hm^2 ,后者防治荔枝蜡约 2 万 hm^2 。赤眼蜂近十年来已累计投放 2 433 亿头,防治面积近 133.3 万 hm^2 ,先后在吉林、黑龙江大面积防治玉米螟和大豆食心虫,在山东、河北大面积防治棉铃虫,在湖北防治二化螟等,

都取得了十分显著的控制害虫的效果。

目前国际上规模较大和商业化生产较大的天敌公司已发展到 80 余家,其中北美 10 家,已经商品化生产的天敌昆虫有 130 余种,欧洲 26 家。国际上主要昆虫天敌种类为赤眼蜂、丽蚜小蜂、草蛉、瓢虫、小花蝽和捕食螨等,其中英国的 BCP 天敌公司年创汇 100 万英镑,天敌产品年产量达到 1.6 亿只,天敌释放总面积约 500 hm²,销售收入达到 140 万英镑。BCP 公司的天敌产品 70% 以上出口到荷兰、法国、比利时、西班牙等欧洲国家和美国。荷兰 Koppert 公司生产的天敌昆虫商品已广泛应用于果园、大田、温室以及园艺作物。在美洲和欧洲等发达国家,天敌成为商品走向市场,并为市场所接受。

2 国际生物农药产业发展现状与趋势

美国是全球最大的生物农药市场,美国联邦环保署(EPA)新批准的生物农药数量远超过常规农药;欧洲是全球增长最快的生物农药市场,保持着 15% 的高增长率;据预测,到 2015 年,全球生物农药的市值有望达 28 亿美元。目前,国际上有 27 个国家已将 46 种微生物列为微生物杀菌剂的有效成分,其中真菌类 25 种,细菌类 21 种。在美国、欧盟、英国、新西兰、南非、澳大利亚、加拿大、印度等国家和组织认证的微生物菌株有 53 个,并登记了相关产品,已广泛应用于农业、林业、园林和食品生产实践中。其中,美国已有 26 个微生物菌株进行了微生物农药登记,登记产品 85 个,主要公司包括美国生物农药公司 AgraQuest(登记产品 22 个)、美国拜沃股份有限公司(登记产品 8 个)、拜耳公司(登记 7 个产品)等。美国生物农药商 MBI 公司的生物杀虫杀螨剂 Grandevo 的干粉剂型近日获美国环保署批准登记。这个杀虫剂提取自一种 subtsugae 色素细菌的一个菌株,菌株代号为 PRAA4-1T,Grandevo 抗虫谱相当广,能防控包括木虱、蓟马、粉蚧、潜叶蛾、椿象、草盲蝽、稻叶甲、白蛴螬、黏虫等多种害虫。它具有触杀和抵抗的双重作用机制,使得害虫难以产生抗性,比单一机制的产品有了更多的优势,特别适用于病害综合治理体系,减少害虫对常规化学农药产生抗性和控制残留问题。该产品安全性高,不受施用/收获时间间隔限制,施用后再进入用药区域的间隔期短,还没有最高残留限制,符合国家有机种植计划(NOP),还被列入了 OMRI 清单,可以在田地,温

室和花园中施用。Marrone Bio Innovations 公司提交的产品是生物杀虫剂/杀螨剂 MBI-206 EP(伯克霍尔德氏菌 A396 菌株,94.5%),可用于防控草皮,观赏性植物和可食用作物中的鳞翅类害虫,比如苹果小卷蛾、黏虫、木虱和六点叶螨等。美国 AgraQuest 公司的生物杀菌剂 Serenade(枯草杆菌 QST713 菌株)杀菌剂去年在加利福尼亚州登记获批用于草莓作物。该产品可替代溴甲烷填补熏蒸剂溴甲烷的空白。在控制土壤疾病方面表现优异,还能为种植者带来相当可观的产量提升。且相比使用土壤熏蒸剂需要耕地清场 30 d 之久,Serenade 只需要 4 d 即可。国际市场每年对溴甲烷的需求量超过 5 亿美元,Serenade 还获英国批准用于马铃薯沟施。据康涅狄格大学的研究显示,枯草芽胞杆菌在作物根系周围的存留期超过 80 d。使用 Serenade Soil 杀菌剂平均可以提高 13% 的产量。该产品将成为世界第三大土壤杀菌剂。其对丝核菌的防控,效果优于传统农药啞菌酯(Amistar)70%,且价格比后者更具优势。据世界农化网中文网报道:美国环保局 2013 年提议批准 Becker Underwood 公司生物杀菌剂 Integral F-33 产品(有效成分:短小芽胞杆菌菌株 BU F-33)使用于诱导多种作物(如胡萝卜、番茄)系统抗性的室内商业化种子处理。Becker Underwood 已申请该杀菌剂对所有食品最大残留豁免。美国环保局 2013 年已经批准 Summit Chemical 公司的生物杀虫剂产品 Summit Bti MP(有效成分:苏云金杆菌以色列变种菌株 SUM-6218)投入生产,此新活性成分与苏云金杆菌以色列变种极其相似。

德国的拜耳作物科学公司于 2012 年 8 月高调宣称以 4.25 亿美元成功地收购了美国 AgraQuest 生物技术公司,随即推出了 Serenade 品牌的生物农药;瑞士的先正达公司以 1.13 亿美元收购 Pasteuria 生物科学公司;德国的巴斯夫公司以 10.2 亿美金计划收购 Becker Underwood 生物科学公司。这些世界级的农药公司通过收购生物科技公司来进入和领军生物农药行业,带动了全球农化巨头企业积极争相收购生物科技公司,极大地促进了生物农药领域的快速发展。美国生物农药行业协会执行会长 Bill Stoneman 认为,全球农化巨头积极争相收购或并购生物科技公司,将进一步促进新型生物农药创制和生物农药市场的推广应用,推动生物农药行业的健康可持续发展。

2013年1月,德国拜耳作物科学公司继续收购动作,收购了德国的 Prophyta GmbH 生物科学公司,不但收购该公司的新产品、新专利,还收购该公司的研发实验室及新制剂规模生产企业。Prophyta GmbH 公司成立于 1992 年,总部位于德国,是一家利用微生物源生物制品提供植物保护产品的公司,该公司主要品牌是防控菌核病的 Contans™ 及杀线虫剂 BIOACT™,研发的产品已在全球 30 多个国家取得登记许可。经过这次收购,拜耳公司产品开发

经理 Jennifer Riggs 表示,拜耳将拓展在新鲜水果和蔬菜生产、种子处理等领域的生物农药新产品创制与应用业务。此外,拜耳公司通过收购以色列的生物农药公司 AgroGreen 的坚强芽胞杆菌技术,开发特定产品,使之成为生物杀线虫种子处理剂,以商品名为 Votivo 的新产品推出并进入市场,该产品 2012 年计划销售值为 10 亿欧元,随后开发出另一产品,作为组合种子处理剂 Poncho Votivo(噻虫胺+坚强芽胞杆菌)在 2012 年成功进入全球市场。

表 3 2012 年全球新获登记的农药品种——生物农药(世界农化网)^[3]

Table 3 New registration of biological pesticides in 2012 over the world (AgroPages.com)

公司 Company	商标 Trademark	有效成分 Active ingredient	应用 Application	状态 Status
爱利思达	Carpovirusine evo2	基于墨西哥分离株 (CpGV-M) 的颗粒体病毒	防控苹果蠹蛾和桃(杏)食心虫	法国
可可种植计划执行委员会 (Ceplac)	Tricovarb	真菌 <i>Trichoderma stromaticum</i>	防治可可丛枝病	巴西
美国 OmniLytics	AgriPhage-CMM	番茄疮痂病菌和丁香假单胞菌致病变种的自然噬菌体	防治番茄细菌性茎干溃疡病	加拿大
AgraQuest	Serenade Soil DPZ	枯草芽胞杆菌菌株 QST 713 土壤变体	用于胡萝卜、柑橘、葫芦科作物和豆类等	美国
Andermatt	Bolldex	棉铃虫核多角体病毒	用于大豆、高粱、黍、豆类、鹰嘴豆、生菜、豌豆、甜玉米和番茄作物	南非
Bioworks	RootShield Plus	绿木霉 G-41 菌株和哈茨木霉菌株 KRL-AG2	抑制疫病菌引起的室外盆栽观赏植物的根腐病	加拿大
MBI	Regalia Maxx	虎杖提取物	用于多种水果和蔬菜的户外及温室使用,还可用于小麦和观赏作物	加拿大
Stockton	Timorex Gold	茶树提取物	用于谷类、咖啡、蔬菜、葡萄、香蕉及其他水果作物	委内瑞拉
Terramera	TER-RTU1jTER-CX1	印度楝油	用于覆盆子和黄瓜等作物 用于葡萄和甜菜作物防控白粉病 用于草莓和香蕉作物 防控床上臭虫	塞尔维亚 智利 秘鲁 美国

巴斯夫公司目前在研发化学农药与生物农药的组合产品来推出适应市场需求的农作物病虫害有效的解决方案。该公司认为生物农药与化学合成农药就药效相比还有差距,但通过生物农药与化学农药组合成的新产品,会使农民从中获益。如其中一项较好的方案是采用化学和生物植保产品组合的喷雾项目,农民在收获果蔬前喷洒传统的产品,然后在收获前关键期换成生物产品,提供给农民残留控制和抗性管理双重效益。巴斯夫公司通过收购 Becker Underwood 生物科技公司,强化了在农药领域中的竞争优势,特别是高速增长种子处理市场。随即,巴斯夫公司与巴西农业研究院签订了长达五年的合作协议,重点开发生物农药。巴斯夫的作物保护部门将新推出一个叫做功能性作物保护部门的全球战

略性业务。这个部门将整合巴斯夫与 Becker Underwood 现有的种子处理、生物学作物保护、作物健康以及水分和营养管理方面的研究,开发和营销活动。Becker Underwood 的动物营养业务将被整合到巴斯夫的营养 & 健康部门下^[2]。2012 年 12 月巴斯夫从位于美国的私募股权投资公司 Norwest Equity Partners 处完成对 Becker Underwood 的收购,收购价为 10.2 亿美元。通过此次收购,巴斯夫顺利成为生物种子处理技术以及种子处理着色剂和聚合物的全球领先供应商。同时,巴斯夫的产品库得到进一步丰富,增加了生物植保产品、草坪和园艺用产品、动物营养产品和景观着色及包衣产品等。先前巴斯夫与美国生物农药公司 AgraQuest 合作,获得了遍及拉丁美洲及其他地区的销售权,枯草芽胞杆

菌菌株 QST 713 和信息素 Cetro 在巴西首次上市。

先正达公司认为生物农药对种植者的吸引力越来越大,逐步成为有效防控虫害、减缓抗性问题和残留控制方面新增的选择项。近年来,该公司将生物农药视为其战略的一部分,与多家公司在生物防治领域建立合作伙伴关系,并寻找更大规模的投资合作机会。先正达对 Pasteuria 公司的收购,丰富了先正达杀线虫产品库,利于为大豆、玉米、谷类作物、甜菜和蔬菜等主要农作物提供整套综合解决方案。随即,先正达与 MBI 签署了欧洲、中东和非洲等地区的分销协议,先正达的创投子公司成为 MBI 融资 2 540 万美元的主要投资者之一。同时,先正达公司和诺维信公司达成 Taegro 全球销售和分销独家授权协议。从 2011 年起,先正达公司又与 Pasteuria Bioscience 公司成为了全球技术合作伙伴,共同开发以土壤细菌巴斯德杆菌为基础的生物杀线虫剂。先正达称将继续寻找有前景的生物农药来投资并寻求合作。

孟山都公司认为新型生物农药将成为世界各国农业生产者的病虫害防控有效工具,该公司称其对探索新的防虫药剂感兴趣,并开始通过合作和自身的努力在这一领域进行工作研究。在 2010 年与 AgraQuest 公司订立一项为期 3 年的合作,评估生物农药的生产线对孟山都公司核心作物和蔬菜种衣剂开发的潜在用途。该公司还与拜耳签订了有关种衣剂 Poncho Votivo 的协议,以供孟山都公司在美国的玉米和大豆种衣剂等应用^[2]。

统计显示,全球传统农药市场的年销售额在 470 亿美元,而六大农药公司占据了其中 75% 的市场份额,相比之下,全球生物农药市场在 2011 年达到 13 亿美元后,预计 2013 年的销售额在 13 亿美元到 16 亿美元之间,但整个生物农药市场由 100 多号中小企业分割,高度分散,许多公司往往仅有一两种产品,不利于生物农药行业的壮大和规模化发展^[2]。

生物农药发展已进入“生物信息技术”时代,以发现先导化合物和验证新型药物靶标为重要目标的新药物创制得到了蓬勃的发展。基因组学、功能基因组学、蛋白质组学和生物信息学等前沿技术与生物农药研究的紧密结合,化学、物理学理论和结构生物学、计算机和信息科学等基础学科与药物研究的交叉和渗透,使农业生物药物研究、开发和应用的深度和广度不断拓展。产品剂型由短效向持效发展,从不

稳定向稳定发展,从效果单一向多样化发展^[4]。

分析未来的发展趋势,仅就微生物杀虫剂而言,将有如下四大突破,第一是利用基因重组技术对微生物杀虫剂的来源生物进行特性改良(包括毒性选择性和安全性等),或直接将抗虫基因转入植物体内,这一技术目前在生物农药领域的研究和开发上已得到较广泛的应用,如在重组 Bt 和重组昆虫病毒领域。第二是将微生物杀虫剂与低毒的化学农药或增效因子混配使用,以增强作用效果。第三是在微生物农药的后加工处理过程加入安全型辅助剂,使产品不被紫外线和氧化等作用所破坏,能延长储藏期,维持特定的物理特性如分散度和黏附靶作物的能力等。第四是通过发酵工艺和反应器的改良来提高发酵液效价,降低微生物农药的生产成本^[5]。

3 我国生物农药的发展瓶颈及对策分析

我国与美国等世界发达国家相比,在生物农药领域尚存在一定差距。生物农药产业发展瓶颈问题主要归纳于以下几点:

(1)微生物杀菌剂种类少,产品少,且多为与井冈霉素混配

目前我国登记的微生物杀菌剂有效成分仅有 7 种(美国 22 种),制剂产品 42 个,其中:以微生物为唯一有效成分的制剂 18 个,仅占登记微生物杀菌剂 42.9%(枯草芽胞杆菌制剂 7 个、木霉制剂 3 个、多黏类芽胞杆菌制剂 2 个、蜡质芽胞杆菌制剂 2 个、寡雄腐霉菌制剂 2 个、地衣芽胞杆菌水剂 1 个和荧光假单胞杆菌制剂 1 个);与井冈霉素混合的制剂 24 个,占登记微生物杀菌剂 57.1%(井冈霉素·蜡质芽胞杆菌制剂 20 个、井冈霉素·枯草芽胞杆菌制剂 4 个)。

(2)防治对象单一,缺乏系列生物农药产品

在微生物杀菌剂产品现状中仅以一种作物病害为靶标对象的制剂有 32 个,占登记制剂的 76.2%;以 2 种作物病害为防治对象的制剂有 5 个,占登记制剂的 11.9%;以 3 种以上作物病害为防治对象的制剂有 5 个,占登记制剂的 11.9%。由此可见所登记的微生物杀菌剂制剂的防治对象单一,缺乏广谱性。

我国目前登记微生物杀菌剂 42 个,登记靶标作物 12 个,防治靶标对象 20 个,平均每个作物上仅有防治对象 1.2 个。这一现状表明所有登记的制剂集中以相同的靶标对象作为防治对象。换言之,对同一作物来讲,防治同一作物上不同靶标病害的微生物

物杀菌剂缺乏。

(3) 生产企业规模小而且分散

虽然我国生物农药发展时间不短,但始终未能形成较大规模化生产。美国目前登记 85 个微生物杀菌剂产品,仅有 27 家企业生产,单个公司占有产品 3.1 个,并且这些企业中不乏国际农药巨头。而我国登记微生物杀菌剂产品 53 个,却有 44 个农药企业生产,单个公司占有产品 1.2 个。目前我国有这 44 家微生物农药企业,多数企业为小型企业,生产装备和技术落后,商品的剂型化程度低,产品质量也不稳定。与国外产品相比,我国生物农药产品缺乏市场竞争力^[4]。

(4) 高效低成本发酵新工艺研究不足

一种农用抗生素能否开发成为一个大品种,菌株是根本,发酵工艺是关键。我国生物农药研制单位和生产企业在发酵工艺研究方面普遍存在技术力量较弱,对工艺研究不全面、发酵成本偏高等问题。因此,加强高效低成本发酵工艺研究还有很大的潜力,同时,对生物农药产业的做大做强具有重要作用。

(5) 发酵后处理工艺和制剂工艺创新不足

生物农药发酵产生较多的富营养废水,直接排放将污染水环境,现在生产企业废水处理率较低,因此,须研究发酵废水的处理及循环利用技术,减少生产对环境的污染。因此,须加强新剂型的研究,将优秀品种的潜力尽力开发。此外,我国大部分生物农药研究开发单位不注重生产中间环节(工业发酵工艺、后处理工艺、新剂型加工技术以及新剂型和新产品的安全性及环境行为等)的技术创新,致使研究的目标、方向与企业 and 市场的需求不符。例如,有些品种的生产菌种选育缺少突破性进展,在产品后加工及剂型研制上,未能对微生物农药的稳定性、分散性、渗透性以及保护剂、增效剂等进行多层次的研究,因而造成微生物农药产品有效成分含量低、易失效和田间效果不稳定等后果,难以与化学农药竞争市场。另一方面,大部分生产企业自身没有对新产品的后续研究和开发能力,只能简单从事农药制剂的加工、生产与销售。其结果是科研成果无法转化为商品。

(6) 天敌昆虫推广应用投入不足

我国在天敌昆虫应用方面的不足,主要表现在对本地优势种天敌昆虫的规模化饲养生产尚存在扩繁规模小、扩繁品种少、设备不配套等不足,销售渠

道未理顺、技术服务滞后等问题。加速天敌昆虫人工饲养规模化与商品化生产具有重要的应用和推广价值,且形成产业的时机已经日趋成熟,天敌昆虫的产业化产品将成为替代传统的植物保护农药产业升级的新型产业^[6]。目前较大规模工厂化生产的主要是赤眼蜂,产品单一。而其他昆虫如平腹小蜂、丽蚜小蜂、烟蚜茧蜂、草蛉、瓢虫、捕食蝽等天敌昆虫的规模化生产技术已基本成熟,稍加完善生产工艺和改进生产设备,便可实现工厂化、产业化生产^[7]。

(7) 科研成果无法商品化

我国从事生物农药研究的人员多,单位多而分散,造成研究经费和设备投资不足。多数研究人员注重于微生物资源筛选与分子改造研究,真正从事微生物农药系统研究特别是微生物发酵工艺和后处理工艺研究的人员和单位较少。因此,多数科研人员研究出的成果仅限于学术论文发表与专利申请等,成果成熟度不足于进行产业化开发与应用。

(8) 缺乏广泛正确的宣传,推广应用有难度

生物农药的应用推广比较困难,主要原因:①由于生物农药见效较慢,特别是活体微生物农药易受环境的影响;②农民对生物农药的作用机理了解不够,使用方法不当,导致防治效果差;③国家对生物农药的产后研究重视不够,投入很少。④没有培育无公害农产品“优质优价”的公平市场,使用生物农药的农民没有得到真正实惠。

我国幅员辽阔,生物农药资源丰富,为全面拓展生物农药产品的种类提供了优良的先决条件。充分地整合利用这些生物资源,将促进我国生物农药的发展。经过多年的研究,已奠定了较好的研发基础,随着农业生产的精品化、无公害化趋势日趋明显,特别是大棚蔬菜和设施园艺的迅速发展,天敌昆虫及微生物农药制剂有着越来越强烈的市场需求。在生产规模方面,目前我国天敌昆虫生产能力有限,生产规模和使用面积都较小,还不能从根本上满足农业生产需要。另外限于工艺技术,我国目前天敌昆虫生产多为季节性生产,造成了生产设备的闲置。因此必须发展有效途径,实现天敌昆虫的规模化繁殖研究成果的技术转移,综合生产多种天敌昆虫产品,并形成全年生产模式。

微生物杀虫剂是目前微生物农药产业的重要组成部分,也是生物防治产业的重要组成部分,具有对靶标害虫特异性强、不易杀伤天敌和有益生物、防治效果好、对人畜安全、毒性小、不破坏生态平衡以及

害虫不易产生抗药性等优点。近年来,微生物杀虫剂的种类不断增加,应用范围不断扩大,在病虫害防治中的地位越来越重要,其研究开发也越来越受到国内外的重视,具有广阔的发展前景。

经过多年的努力,植物疫苗已从研究阶段走向应用。“BTH”、“Bion”和“Messenger”等已在农业生产上得到较好的应用,并取得了明显的效果。随着寡糖疫苗的研究深入,在农作物上也开始了应用。法国科学研究中心(CNRS)和戈埃马公司(GOEMAR)的实验室合作研究,以海带为原料,提取分离出了昆布素。以其为主要原料配制出“IODUS40”农药。该药具有生物降解性能,无毒,是一种通过提高植物自身免疫力防治病害的疫苗。该农药已通过国际认证,并应用于小麦病害的防治。

近年来,蛋白质农药已成为新型环保生物农药发展中的一个新亮点,有关激发植物免疫抗病和促生增产作用的微生物蛋白农药的研究,已引起国内外的广泛关注和重视。2001年,美国 EDEN 公司从细菌源过敏蛋白中开发出的 Messenger 农药产品,在美国获得登记,被 EPA 列为免检残留的农药产品,准许在所有作物上使用。2001年,该产品的开发荣获美国环境保护委员会颁发的“总统绿色化学挑战奖”,并被称为是“植物保护和农产品安全生产上的一次绿色革命”,现已在美国、墨西哥、西班牙等国的烟草、蔬菜和水果上广泛应用。2004年 Messenger(康壮素)经我国农业部农药检定所(ICAMA)审定通过取得了农药临时登记证,证号为 LS200160,首批推荐在番茄、辣椒、烟草和油菜上使用^[8]。

我国在植物疫苗的研制和应用方面正努力迈向世界先进行列。已开发应用的免疫激活蛋白、寡糖疫苗等都具有良好的应用效果和发展前景。继续加大研发力度将能研制出更多更好的相关产品,服务于农业生产。中国是农业大国,农作物种植面积近 2 亿 hm^2 ,化学农药的减量任务艰巨,生物农药的开发应用潜力巨大。同理,植物免疫疫苗以其“固本扶正”、无毒无害无残留的特性,无论在国际还是国内市场,都具有极大的研发和应用潜力。植物免疫农药具有许多优越性,对病原靶标没有直接杀死作用,主要是通过激发植物自身的免疫系统以达到抗病、增产、改善品质的作用。因此植物疫苗农药对环境更安全,并且不会引起病原微生物的抗性,符合农业健康生产的要求,是发展优质高效农业和生产绿色

食品的重要措施,具有广阔的应用前景。

为了推动我国生物农药和生物防治的发展,由中国农科院植保所组织成立了“生物农药与生物防治产业技术创新战略联盟”,该联盟牵头单位为中国农业科学院植物保护研究所,成员单位有:华北制药集团爱诺有限公司、浙江省桐庐汇丰生物化工有限公司、湖北生物农药工程研究中心、陕西绿盾生物制品有限责任公司、武汉武大绿洲生物技术有限公司、杨凌农科大无公害农药研究服务中心、上海农乐生物制品股份有限公司、海南正业中农高科股份有限公司等 50 多家单位。通过联盟的成立,抓住国家组建行业“联盟”这一发展机遇,整合国内生物农药产学研队伍,提升生物农药产业水平。在“十二五”科研立项中,联盟组织申报,获得了“863”项目“微生物杀菌剂研究与产品创新”与“生物农药新剂型关键技术研究及产品创制”2 个课题。这 2 个课题的执行,将有利于生物农药同行资源共享和联合攻关,加速我国生物农药新产品的创制。生物农药行业将在国家政策的指导下,积极协作,联合公关,使我国生物农药产业健康快速地发展。

参考文献

- [1] 世界农化网. 2017 年全球生物农药市场价值将达到 32 亿美元 [EB/OL]. [2012-6-21]. <http://cn.agropages.com/News/NewsDetail-3526.htm>.
- [2] 世界农化网. 生物农药行业收购风起云涌 [EB/OL]. [2012-12-17]. <http://cn.agropages.com/News/NewsDetail-4285.htm>.
- [3] 世界农化网. 2012 年全球新获登记的农药品种 [EB/OL]. [2013-3-6]. <http://www.nongyao.cc/news/show.php?itemid=172>.
- [4] 邱德文. 生物农药与生物防治发展战略浅谈 [J]. 中国农业科技导报, 2011, 13(5): 1-5.
- [5] 战兴花. 关于我国生物农药应用问题探讨 [J]. 中国新技术新产品, 2011(10): 238.
- [6] 万方浩, 王韧, 叶正楚. 我国天敌昆虫产品产业化的前景分析 [J]. 中国生物防治, 1999, 15(3): 135-138.
- [7] 万方浩, 叶正楚, 郭建英, 等. 我国生物防治研究的进展及展望 [J]. 昆虫知识, 2000, 37(2): 65-74.
- [8] 邱德文. 蛋白质农药研究与产业化进展 [C] // 第四届全国绿色环保农药新技术、新产品交流会暨第三届生物农药研讨会论文集, 2006: 29-33.
- [9] 国家发展和改革委员会高技术产业司, 中国生物工程学会. 中国生物产业发展报告 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- [10] 中国国际贸易促进委员会. 中国生物产业发展报告 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.
- [11] 智研咨询集团. 2013-2017 年中国生物农药市场评估与发展趋势研究报告 [EB/OL]. [2012-12]. <http://research.chyxx.com/201212/189953.html>.