西北农业学报 2003,12(2):75～79
Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica

生物农药的研究与应用

张随榜[1]，张 兴[2]
(1.杨凌职业技术学院,陕西杨凌 712100;2.西北农林科技大学无公害农药研究服务中心,陕西杨凌 712100)

摘 要：通过介绍生物农药的类群和特点,重点讨论了生物农药研究和应用的现状,分析了生物农药发展中的问题,认为生物农药发展前景光明,提出了我国发展生物农药的对策、方向和侧重点。

关键词：生物农药；研究；应用；类群
中图分类号：S482.3+9 **文献标识码**：A **文章编号**：1004-1389(2003)02-0075-05

Research and Application of Biopesticide

ZHANG Sui-bang[1],ZHANG Xing[2]
(1. Yangling Vocational and Technical College, Yangling Shaanxi 712100,China;2. Research and Development Center of Biorational Pesticide ,Northwest Sci—Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling Shaanxi 712100,China)

Abstract: After the category and characters of biopesticides were introduced ,the researching and application present situations of biopesticides were discussed emphatically in this paper. The problems in biopesticides development were analysed . In conclusion, biopesticides have a bright prospect. Therefore, the developing countermeasures, direction and major project of biopesticides in china were put forward in the paper.

Key words: Biopesticide; Research; Application; Category

生物农药是一类可以用来防除病、虫、草、鼠等有害生物的生物体本身以及来源于生物,并可作为“农药”或“农药”主要成份的各种生理活性物质。这些物质既要具有作为“农药”的生物活性,又要在提取、生产、使用以及对生态环境安全性等方面符合有关“农药”的法规。实际上,人类使用生物农药防除有害生物已有很久历史。早在公元前3000多年,古希腊《荷马史诗》中已有使用硫磺熏杀害虫的记载。我国也是使用生物农药较早的国家,早在公元前500～700年间,已有用嘉草、莽草、牡菊等杀虫的记述。以后的《山海经》、《齐民要术》、《本草纲目》、《天工开物》等书籍中,都有使用生物性药物防治有害生物的记载。19世纪以来,随着科学技术的发展进步,生物农药的研制开发和应用逐渐从经验式上升到科学实验阶段,例如除虫菊、烟草、鱼藤被研制加工成商品农药得到广泛使用。20世纪初,由于微生物学的发展促进了微生物农药的开发应用,使生物农药的范围进一步扩大。20世纪30年代以后,由于有机合成农药的崛起,极大地冲击了生物农药的发展。60年代“有害生物综合治理”概念的提出和防治策略的制定,才使生物农药的发展重新得到重视,并逐渐成为研究开发的热点之一。最近30年以来,由于科学技术的迅猛发展,特别是生物工程、生物技术、生物遗传和生物化学等前沿学科相互渗透、相互结合,产生了许多与生物有关的具有生物农药功能的物质,如植物源农药,抗有害生物的转基因植物,仿生合成化合物,人工繁育的拮抗有害生物的生物体,信息素等。极大地丰富了生物农药的内容,推动了生物农药的研究和应用。

收稿日期:2002-12-31 **修回日期**:2003-02-22
基金项目:国家“十五”攻关重点项目—无公害农药关键技术研究与产品开发(2002BA516A04)
作者简介:张随榜(1950—),男,陕西武功人,副教授,从事植物保护教学和科研。电话:029-7083951(O)。
通讯作者:张 兴(1952—),男,陕西周至人,教授,博士生导师。从事植物化学保护教学和无公害农药研发。电话:029-7093344(O),E-mail:zhxing@public.xa.sn.cn。

1 生物农药的类群

生物农药包括生物体农药和生物化学农药两大类群。生物体农药是指用于防除病、虫、草等有害生物的活体生物商品。生物化学农药则是指从生物体分离提取的、具有一定化学结构的、对靶标有害生物有控制或杀灭作用的生物活性物质，该物质若可人工合成，其合成物的化学结构必须与原分离提取物的化学结构相同(允许所含异构体比例差异)。生物农药种类繁多，一般多依其来源归类。

1.1 生物体农药

1.1.1 *动物体农药* 动物体农药主要指商品化的天敌昆虫、捕食螨及采用物理的或生物工程技术改造的昆虫等。

1.1.2 *植物体农药* 目前，只有转基因抗有害生物或抗除草剂的植物可称为植物体农药。

1.1.3 *微生物体农药* 主要指用来防治有害生物的活体微生物，例如真菌、细菌、病毒、线虫、微孢子虫等。

1.2 生物化学农药

1.2.1 *植物源生物化学农药* 包括植物毒素、植物内源毒素、防卫素、植物源昆虫激素、异株克生物质等。植物毒素是指某些植物产生的对有害生物有毒杀及特异作用(如对昆虫拒食、抑制生长发育、忌避、驱避、拒绝产卵等)的物质，如印楝素、烟碱等；植物内源激素是指乙烯、赤霉素、细胞分裂素、脱落酸、芸薹素内酯等由植物中提取的激素物质；植物源昆虫激素如早熟素等；异株克生物质是指植物产生并释放到环境中能影响附近同种或异种植物生长发育的物质；防卫素包括豌豆素等。

1.2.2 *动物源生物化学农药* 是指将昆虫产生的激素、毒素、信息素或其它动物产生的毒素经提取或仿生合成的农药，如昆虫保幼激素、性信息素、蜂毒等。

1.2.3 *微生物源生物化学农药* 包括抗生素、类毒素等。Avermectin、δ一内毒素等都属于微生物源生物化学农药。

2 生物农药的作用特点

生物农药问世和应用的历史虽然悠久，但其得以科学地发展仅在20世纪30年代之后，尤其20世纪70年代以来发展迅猛，成为农药开发研究的主流之一。与其它有机合成的化学农药和无机农药相比较，生物农药具有明显不同的作用特点。

2.1 对生态环境安全

生物农药均是天然存在的活体生物或化合物，在环境中会自然代谢，参与能量与物质循环，施用于环境中或植物上，不易产生残留、污染和抗性，不会导致生物富集现象。例如Avermectin对光不稳定，会逐渐被氧化或光氧化，在强日光下半衰期小于10h[1]。

2.2 专一性强，活性高

专一性强是生物农药最显著的作用特点。生物体农药中，天敌昆虫、捕食螨多为寡食性或专性寄生；昆虫病原真菌、细菌、病毒、线虫、微孢子虫等均是从感病昆虫分离而来，经人工繁殖再作用于该种昆虫；植物体农药针对性更强，只对某一特定功能基因进行定向重组、修饰或改造；生物化学农药的专一性也较为突出，如昆虫性信息素只对同种昆虫起作用。另外，生物农药特别是生物化学农药对有害生物的活性也相当突出，例如：Avermectin对Tetranychidae. Eriophyidae和Tarsonemidae等科的多种害螨的LC_{50}仅为0.009～0.24 mg/kg，对*Liriomyza trifolii*的幼虫的LC_{50}为0.377 mg/kg[2]。川楝素对菜青虫的LC_{50}为20.4 μg/g虫体重[3]。

2.3 对非靶标生物相对安全

生物体农药均是活体生物，若排除生态因素，则其对非靶标生物几乎没有影响。生物化学农药活性较高，用量相对很少，而且对害虫多为胃毒作用，因此也是相对安全的。有研究表明，印楝素对黑肩盲蝽、菲岛长体茧蜂、智利小植绥螨等多种天敌安全，对蜜蜂、蚯蚓等有益生物安全；对大白鼠、红鳟等低毒，无致畸作用[4]。在防治小麦吸浆虫的试验中发现，川楝素、烟碱对小麦吸浆虫寄生蜂的保护作用较好；川楝素对异色瓢虫的KT_{50}大于1 080 min，而甲基1 605对异色瓢虫的KT_{50}仅为78.1 min[5]。

2.4 作用机理特殊

传统杀虫剂多为神经毒剂，而生物农药尤其是生物化学农药的作用机理一般都较为复杂，在IPM、抗性治理、协调治理中能够发挥显著作用。例如：印楝素作为拒食剂，可以作用于昆虫下颚须上的抑食细胞，而作为生长调节剂则作用于脑神经肽[6]；B.t所产生的δ一内毒素作用于昆虫中肠上的特异性受体，可以称为消化道毒剂[7]；昆虫性信息素作用于昆虫触角上的化学感受器。天然产物和已经商品化的人工合成除草剂之间很少存在

共同的分子靶标部位,而且天然产物靶标中几乎没有与商品除草剂共有的作用部位[8,9]。

2.5 开发利用途径多

天敌类动物体农药可以人工繁殖,也可以引种释放。微生物类生物农药可以直接利用,也可以经基因重组后利用。生物化学类农药不仅可直接利用或经人工合成后利用,也可以采用生物工程技术来定向培养,或采用基因重组转化为植物体农药。因此,生物农药可以通过多种途径得以开发利用。

2.6 种类繁多,作用方式多样,研究开发的选择余地大

生物农药种类的多种多样性,有赖于自然界中生物的多样性,各种各样的植物、动物、微生物之间以及各种群体内部存在着相互制约、相互依存、相生相克等多种相互关系,开发研制生物农药正是充分利用这种关系,凡是对农业有害生物有控制作用的生物均有可能通过多种途径被研究开发为生物农药。随着人类环保意识的增强和可持续农业的发展,多种多样的生物农药的研究和开发将会受到高度重视。

3 生物农药的研究与应用

3.1 生物体农药

3.1.1 *动物体农药* 在早期的生物防治中,利用捕食性或寄生性昆虫和捕食螨是最主要的方式。但是作为生物农药,必须符合农药的条件,能够商品化,可以上市销售。因此,只有针对性很强的天敌昆虫和捕食螨,才可划归为生物农药。仅寄生蜂而言,早在 1986 年前,Greatheaol 曾报道,有 90 个国家应用 393 种寄生蜂防治 274 种农林害虫,生物防治的成功例子有 860 例[10]。与此同时,我国对赤眼蜂、蚜茧蜂等多种天敌昆虫的研究也取得了长足的发展。

动物体农药的另一条研究应用途径是利用基因工程方法,将对杀虫剂的抗性基因转移到天敌昆虫中,使其产生抗药性,提高田间竞争力,一种携带抗有机磷农药基因的工程益螨 *Metaseiulus occidentalis* 已培育成功[11]。或将害虫显性不育基因导入雄虫体内培养出不育雄虫,释放不育雄虫与田间正常雌虫交配,产生不育雌虫和带有显性不育基因的雄虫,干扰正常的交配[12]。还可采用物理辐射获得不育雄虫,释放到田间,干扰正常交配,从而达到控制害虫的目的。

3.1.2 *植物体农药* 是直接利用植物本身为载体,经基因修饰或重组而开发为农药。植物体农药的研究始于 1986 年,孟山都公司的转基因作物(抗虫棉、抗虫玉米、抗虫大豆、抗草甘膦玉米)首获美国 EPA 批准,进入环境释放试验。1994 年,美国 EPA 批准商品化生产,并首次将转基因生物列入农药范畴。据不完全统计,目前约有 90 多种转基因植物产品已被批准商业化生产应用,其中大部分与病虫草害的控制有关,例如抗虫玉米、抗虫棉、抗虫马铃薯、抗病毒西葫芦和番木瓜、抗除草剂玉米、大豆、棉花、油菜、亚麻等[13]。并非所有转基因作物都是植物体农药,只有基因重组的植物才是植物体农药。也就是说,在植物中引入一个目的基因,使其组织产生一种原来不具备的,对病虫害有抵御作用或可免遭害物毒害的物质,这样的基因重组植物才是植物体农药。对于目标基因来源于邻近种属,或目标基因使转基因作物具备了形态抗性,或通过常规育种手段培育的具有抗耐病虫害的植物,则不属于植物体农药。

植物体农药自诞生以来虽倍受青睐,但不容乐观的是转基因植物对环境存在着潜在的不利影响,如转基因作物本身由于具有了抗虫、抗除草剂等特性而有可能变为杂草,而且这种抗性基因也有漂移到杂草上的潜在可能性,其对人类有无潜在危险目前尚无肯定答案。因此,对植物体农药的研究和应用,目前绝大多数国家都持谨慎的态度。

3.1.3 *微生物体农药* 微生物体农药是生物农药研究和应用中较为活跃的领域。如白僵菌、绿僵菌、毒力虫霉等属真菌类生物农药。久负盛名的 B.t 是细菌类生物农药。除 B.t 外,我国已研究开发成功的细菌生物农药还有亚宝(枯草杆菌)、力宝(假单孢杆菌)、增产菌(蜡质芽孢杆菌)等。核多角体病毒(NPV)、颗粒体病毒(GV)和质多角体病毒(CPV)以及昆虫痘斑病毒等,属于病毒类生物农药[14]。我国已研究出十几种有开发前景的病毒株系,其中棉铃虫核多角体病毒、斜纹夜蛾多角体病毒和粘虫病毒已登记注册,每年应用面积达 6.67 万 hm^2 以上。

目前,全世界约有 15 家公司进行昆虫病原线虫的商品化生产,但成功利用的仅有极少的昆虫,病原线虫中研究的重点是斯氏线虫和异小杆线虫。日本已登记了小卷叶蛾斯氏线虫(*einernema carpocapsae*),用于草地螟,粘虫和象甲的防治。原生动物中,主要是利用微孢子虫防治害虫和杂草,美国已有产品问世,我国致力于此类研究和应用已达 20a,主要用于蝗虫的防治,目前尚无产品上

市。

微生物体农药的研究不只局限在病原微生物的分离和人工培养上，自20世纪90年代以来，利用生物工程技术研究微生物基因重组取得了突破性进展，经过基因重组或修饰的微生物，对害虫的感染力更高，寄主范围更广。目前，国外已有不少新型微生物农药投放市场，例如采用质粒修饰与交换技术开发研制的新型B.t杀虫剂Foil、Condor和Cueless，利用基因转移与“生物微囊”技术开发的杀虫荧光假单孢菌制剂MVP、M－Trak、M－Peril等[15]。

3.2 生物化学农药

3.2.1 *动物源生物化学农药* 动物源生物化学农药中，最常见的是昆虫信息素类，尤其是性信息素类。据估计，全世界已合成的昆虫性信息素1000多种，已商品化的280多种，已经成为害虫治理的重要手段之一[16]。我国在棉铃虫、棉红铃虫、梨小食心虫等昆虫性信息素的分离鉴定、人工合成及田间应用方面，已取得可喜成绩。对报警信息素，聚集信息素和踪迹信息素也在进行研究[17,18]。

除信息素外，节肢动物毒素也是一类动物源生物化学农药。人们在研究蜘蛛和黄蜂的毒素中发现，这类毒素结构相似，主要作用于昆虫神经——肌肉接头，阻断了以谷氨酸为传导介质的神经兴奋传导[19,20]。这一新的作用靶标，已引起研究者开发新型杀虫剂的兴趣。近年来对几丁质的深入研究，为研制新的生物农药开创了一个新方向。几丁质的脱乙酰化产物壳聚糖对植物病原菌孢子的萌发和生长有阻碍作用，对小麦纹枯病、花生叶斑病、烟草斑纹病等病毒、真菌、细菌性病害均有良好防效，而且壳聚糖的降解产物还可诱导植物防御酶——几丁质酶的含量和活性大为提高，从而提高植物的抗病性。壳聚糖还能促使土壤微生物产生一种可杀死线虫及其虫卵的酶，可开发为杀虫剂[21]。

3.2.2 *微生物源生物化学农药* 由微生物中研制的抗生素、毒素等均属微生物源生物化学农药。如B.t的δ－内毒素防治多种鳞翅目害虫，效果优良。抗生素类一直是生物农药研究和应用的重点，可用于杀虫(如Avermectin)、防病(如井冈霉素)、除草(如双丙氨磷)及调节植物生长发育(如赤霉素)等。目前，最著名的当属Avermectin。我国农用抗菌素的研究和应用历史悠久，处于国际先进水平，截止目前，已注册登记并生产的农用抗菌素类品种达16个，生产厂130多家，年产制剂7万多吨，每年应用面积达0.2亿hm^2次[22]。

3.2.3 *植物源生物化学农药* 主要是利用植物体内的次生代谢物质，如木脂素类、黄酮、生物碱、萜烯类等。这些物质是植物自身防御功能及与有害生物适应演变、协同进化的产物，其中的多种次生代谢物质对昆虫具有拒食、毒杀、麻醉、抑制生长发育及干扰正常行为的生物活性，对多种病原菌及杂草也有抑制作用。国外研究较多的有印楝、番荔枝、巴婆、万寿菊等植物，其中最成功者当属印楝。我国在这一领域的研究涉及楝科、卫矛科、柏科、豆科、菊科等多种植物[23~26]，已成功开发出多种植物源农药，不少已进入工业化生产，烟碱、苦参碱、楝素、茴蒿素和茶皂等16种植物源农药已登记注册，生产厂达46家。

植物源杀虫剂与杀菌剂比较而言，植物源杀菌剂的研究和应用相对要少得多，但潜力较大。Wilkins等曾报道有1389种植物有可能作为杀菌剂源，这些植物中的抗生素、类黄酮、特异蛋白质、有机酸和酚类化合物等均有杀菌或抗菌活性[27]。Nychas于1995年对植物源抗菌剂的应用可能性进行了详细评述[28]。近年来，我国科学家也对黄连生物碱、小飞蓬精油、红树、厚朴、麻黄和细樟挥发油、风仙、骆驼篷等的抑菌活性进行了研究探讨[29]。目前植物源杀菌剂成功例子不是很多，仅有Talent^{Tm}、Milsan^{Tm}等几种产品[30]。

植物源除草剂和杀线虫剂的研究也有一定进展。目前已在30多科植物中发现了具杀草活性的近百种化合物，主要的是酚醌类、生物碱类、肉桂酸类、萜烯类、氨基酸类等，有些已开发研制为除草剂。如从棉花根系分泌物中分离到的醌类物质独角金萌素(Strigol)，对寄生于玉米、高粱、甘蔗等上的独角金杂草有特效，其化合物在美国已被用来防除寄生于大豆、豌豆、花生、棉花等作物上的独角金[9]。目前已发现臭草、孔雀草、向日葵、印楝、白日菊等41属47种植物可以用来防治线虫[31]。植物源病毒抑制剂研究起步较晚，目前已发现商陆、紫茉莉、扁豆、甜草等十几种植物中含有抑制病毒的活性物质。

4 生物农药的发展前景

生物农药的出现和应用历史悠久，上世纪70年代以来发展迅猛，直止目前，研究与应用方兴未艾，成为农药研究和开发的主流之一。现代科学技术的进步和生物工程技术的日新月异，为生物农

药的研究、开发和应用提供了前所未有的条件和广阔的技术平台。因此,有充足的理由认为,生物农药的研究、开发和应用仍将是未来农药研究的热点。

近几年来,虽然生物农药的销售额每年仅 3 亿美元,占整个农药市场的 1%,但每年却以 10%～20%的速度上升[32],发展势头强劲。在人类越来越关注环境质量的今天,发展和应用生物农药已逐渐成为一种趋向。另外,从某种意义上讲,生物农药是生态系统的调节器,生态系统的协调发展是保证农业可持续发展的前提,所以发展生物农药是环境及农业可持续发展的需要。

生物农药种类繁多,研究、开发和应用的领域广泛,我国在生物农药的研究和应用方面投入的资金与国外各大农药公司相比要少得多。因此,我国生物农药的研究、开发和应用一定要根据现有基础和优势,有针对性地发展。微生物体及天敌昆虫应作为生物体农药的主要研究和应用对象;昆虫性信息素应该作为动物源生物化学农药的发展重点;微生物源生物化学农药发展的侧重点应放在抗生素方面;植物源生物化学农药研发费用相对较低,材料易得,开发途径多,效果好,作用机理特殊,应给予充分重视。

参考文献:

[1] Macconnell JA, Demchak RJ, Preiser FA , Dybas RA. Relative stability, toxicity, and penetrability of abamectin and its 8,9-oxide [J]. Agric Foodchem , 37:1498～1501.
[2] Lasota JA, Dybas RA, Avermectin, a novel class of compounds: implications for use in arthropod pest control [J]. Annu rev entmol ,1991,36:91～117.
[3] 张　兴. 几种楝素提取物对菜青虫的生物活性[J]. 植物保护学报,1989,16(3):205～210.
[4] 陈忠孝,胡国文. 印楝质杀虫剂的研究及前景[J]. 世界农业,1992,(7):30.
[5] 成卫宁,李修炼,李建军. 植物性杀虫剂防治小麦吸浆虫研究[J]. 西北农业学报,2000,9(2):41～44.
[6] 李小东,赵善欢. 印楝对昆虫的毒理作用机制[J]. 华南农业大学学报,1996,17(1):118～122.
[7] 申继中,钱传范. 苏芸金杆菌 δ-内毒素作用机理的研究进展[J]. 农药译丛,1994,16(4):43～46.
[8] 由振国. 天然杀草化合物的开发与利用(上)[J]. 世界农业,1993,(8):38～40.
[9] 由振国,天然杀草化合物的开发与利用(下)[J]. 世界农业,1993,(9):35～36.
[10] 肖　晖,黄大卫. 寄生蜂在生物防治中的作用[J]. 世界农业,1996,(8):39～40.
[11] Wysoki M. Proceedings of the zoth International Entomological Conference [C]. Italy, 1996,39～44.
[12] 张忠信,张光裕. 害虫基因防治新方向:转基因昆虫的研究[J]. 昆虫知识,1998,35(1):51～55.
[13] 黄大彷. 基因工程正在开辟植物病虫害防治的新途径[C]. 植物保护与植物营养研究进展,北京,农业出版社,1999.
[14] Muneo okado 著,顾宝根译. 生物农药[J]. 农药科学与管理,1998,68:30～33.
[15] 叶纪明,刘绍友. 浅谈中国农药存在的主要问题及发展趋势. 植物保护与植物营养研究进展[M]. 北京,农业出版社,1999.
[16] Whitten ,W. J. In: Kadir, S. A. , Barlow, H. S. , eds. Pest management and the environment in 2000. [M]. London: international Walling ford, 1993,9～44.
[17] 周友泉. 昆虫产卵驱避激素的研究概况[J]. 昆虫知识,1991,28(1):15～18.
[18] 汪世新,杨益众. 蚜虫报警信息素的研究进展[J]. 昆虫知识,1992,29(4):247～251.
[19] 李绍文,生态生物化学(七):动物毒素及其防御作用[J]. 生物学杂志,1990,9(6):68～77.
[20] 李正名,农药研究进展[J]. 农药,1991,30(4):3～8.
[21] 张敏恒,邓忠贤,徐　江. 甲壳质在农业上的开发及应用[J]. 农药,2001,40(4):3～5.
[22] 李荣森,中国微生物农药的开发与微生物农药产业化的进展[C]. 全国生物防治暨第八届杀虫微生物学术研讨会论文集,2000,227～228.
[23] 马志卿,张　兴. 植物源杀虫物质的作用特点[J]. 植物保护,2000,26(4):37～40.
[24] 罗万春,慕立义,赵善欢. 植物源生物碱的杀虫作用[C]. 中国有害生物综合治理论文集,北京,中国农业科技出版社,1996,11:1081～1084.
[25] 史卫国,徐之明. 植物源农药的进展[J]. 农药科学与管理,1997,3:33～35.
[26] 刘素琪,石建军,曹　辉,等. 杀虫植物的研究与展望[C]. 全国生物防治暨第八届杀虫微生物学术研讨会论文集,2000,1092～1097.
[27] 操海群,乐永德,花日茂,等. 植物源农药研究进展[J]. 安徽农业大学学报,2000,27(1):40～44.
[28] Nychas G J E. Natural antimicrobials from plants [M]. New Methods . Food Preserv. 1995,58～89.
[29] 张金林. 植物性杀菌剂研究进展[J]. 河北农业大学学报,1998,21(3):112～114.
[30] 赵善欢. 植物化学保护(第三版)[M]. 北京,中国农业出版社,2000.
[31] 杨秀娟,何玉仙. 国外利用杀线植物防治植物寄生线虫[J]. 世界农业,1998,4:37.
[32] 刘志俊,谢德明,刘治波. 国外农药发展现状及未来展望[J]. 农药科学与管理,2000,21(2):33～37.