

生物农药评述*

张 兴, 马志卿, 李广泽, 冯俊涛

(西北农林科技大学 无公害农药研究服务中心, 陕西 杨陵 712100)

[摘 要] 讨论了生物农药的定义、范畴和特点, 对生物农药的研究应用现状进行了简述, 认为生物农药大有发展前途, 并提出了我国发展生物农药的方向和侧重点。

[关键词] 生物农药; 生物体农药; 生物化学农药

[中图分类号] S481.292; S482.39

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-2782(2002)02-0142-07

农药的使用可追溯到公元前3 000多年, 古希腊《荷马史诗》中已有用硫磺熏蒸杀虫防病的记载。中国是使用药物防治害虫很早的国家, 公元前5~7世纪已有用嘉草、莽草、牡菊、蜚炭黑杀虫的记述, 以后的《山海经》、《齐民要术》、《本草纲目》、《天工开物》等古籍中, 均有使用植物性、动物性、矿物质药物防治农业有害生物的记载。其中生物体和源于生物的天然产物应当是最原始的生物农药。

19世纪以来, 在近代科学技术和工业发展的基础上, 生物农药的开发逐渐从经验式上升到科学实验阶段, 如除虫菊、烟草、鱼藤发展为商品化加工制剂并广泛使用。20世纪早期随着微生物学的发展, 促进了微生物农药的开发, 生物农药的范围得以进一步扩大。从20世纪30年代起, 有机合成农药的兴起极大地冲击了生物农药的发展。60年代以来, “有害生物综合治理”防治策略的制定及人类环保、健康意识的提高, 才使生物农药重新得到重视, 并逐渐成

为研究和应用的热点。但当时的生物农药仅指用来防治农业病虫害的微生物。

近30年来, 科学技术迅猛发展, 特别是生物学、生物技术、遗传学和化学等学科与农药学相结合, 产生了多种与生物有关的具有农药功能的物质。如植物源农药、转基因抗有害生物作物、天然产物的仿生合成或修饰合成化合物、人工繁育的有害生物拮抗生物、信息素等。对这些“农药”的归属问题, 有人认为凡是化合物均为化学农药, 也有人认为来源于生物的当属生物农药, 众说纷纭, 莫衷一是, 给研究、生产和管理带来了一定的困难。虽然近年来在概念上已有一定的趋同, 但还没有形成统一的认识。因此有必要对生物农药的概念、定义和范畴进行探讨, 以利于推动这些新型农药的研究、应用、管理和

发展。

从以上农药发展历史的简短回顾, 结合目前的发展形势, 初步可用图1来简单界定农药的类别。

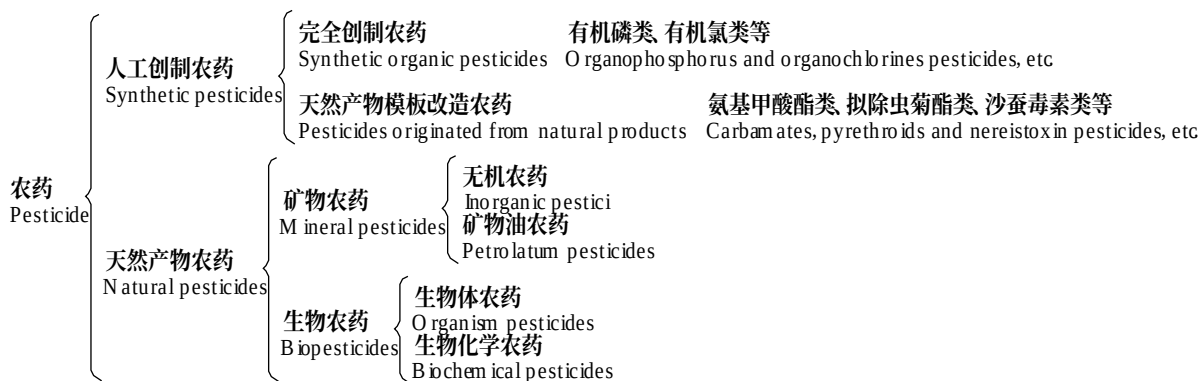


Fig 1 The classification of pesticides

[收稿日期] 2001-10-23

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(39979506)

[作者简介] 张 兴(1951-), 男, 陕西周至人, 教授, 博士生导师, 主要从事农药毒理学和生物农药研究。

从图1中可以看出,目前使用的农药大多是人工创制农药,矿物农药中,除硫素、铜素及石油乳剂等品种外,其他已很少使用。生物农药是天然产物农药中的一大类群,又可以说是生物源农药的简称,其特征明显,优点突出,是目前农药研究中的重点课题。

1 生物农药的定义、概念及分类

1.1 生物农药的定义和概念

生物农药的传统概念为“微生物农药的简称”。显然这个概念已不能概括现代生物农药的性质和范畴。在日本,生物农药一般分为直接利用生物和利用源于生物的生理活性物质两大类。主要包括:天敌昆虫、捕食螨、放饲不育昆虫、微生物、性信息素、抗生素、源于植物的生理活性物质等^[1]。英国作物保护委员会(The British protection council)根据来源把生物农药分为5类:①天然产物。来自微生物、植物和动物;②信息素。来自昆虫、植物等;③活体系统。包含病毒、细菌、真菌、原生动物、线虫;④捕食昆虫和寄生昆虫;⑤基因。来自微生物、植物、动物。但没有给出具体定义,且基因作为农药的概念也暂时难以被公众所接受。

我国是生物农药研究和应用大国,对生物农药的概念有不同的界定。《中国农业百科全书——农药卷》中题录为生物源农药,指的是利用生物资源开发的农药。狭义上仅指直接利用生物产生的天然活性物质或生物活体农药,广义概念中还包括按天然物质的化学结构或类似衍生结构人工合成的农药。按这个概念理解,不但天敌、昆虫致病微生物、生物信息物质,而且目前常用的氨基甲酸酯类、拟除虫菊酯类、沙蚕毒素类及烟碱类杀虫剂均为生物源农药。显然这个概念有必要进一步推敲。

我国早先的《登记资料要求》中的生物农药,包括生物化学农药和微生物农药两类。其中,生物化学农药必须符合两个条件:一是对防治对象没有直接毒性,只有调节生长、干扰交配或引诱等特殊作用;二是必须是天然化合物,如果系人工合成,其结构必须与天然化合物相同(允许异构体比例的差异)。生物化学农药分为4类:信息素(包括外激素、利己素、利它素)、激素、天然物生长调节剂和昆虫生长调节剂、酶。微生物农药包括自然界存在的用于防治病、虫、草、鼠害的真菌、细菌、病毒和原生动物或被遗传修饰的微生物制剂^[2]。据此,印楝素、烟碱、鱼藤酮、天然除虫菊、昆虫天敌、转基因抗有害生物作物均不

是生物农药。1999年颁布的《农药管理条例实施办法》中指出,用基因工程技术引入抗病、虫、草的外源基因改变基因组构成的转基因作物,及有害生物的商业化天敌均为农药,但没有明确是生物农药还是其他农药。

从以上罗列的生物农药的定义不难看出,其共同点在于,生物农药必须是活体生物或源于生物的物质,并且可作为农药来使用。而众多的定义难以统一的关键在于有无化学结构,是否人工合成。

笔者在从事植物源农药和其他生物农药的教学、研究和应用中认为,生物农药是贯彻IPM(有害生物综合治理)策略的重要措施之一,而IPM策略和农业的可持续发展战略的提出,是基于生态系统协调发展的需要。正如Iberd所强调,可持续农业必须是生态上可持续的,否则就不可能持续到最后,同样它也必须是高产和盈利的,否则就不可能在经济上可持续^[3]。因此,在农作物栽培中必须尽量维持生态平衡,同时也要将有害生物的危害控制在经济阈值之下。在这一策略的指导下,结合当前的农药种类、特性及发展方向,笔者初步认为,生物农药的定义应为:可用来防除病、虫、草等有害生物的生物体本身及源于生物、并可作为“农药”的各种生理活性物质。也就是说,这些物质既要具有作为“农药”的生物活性,更要在生产、使用及对环境生态安全性等方面符合有关“农药”的法规。

1.2 生物农药的分类

据上述定义,生物农药应包括生物体农药和生物化学农药。生物体农药指用来防除病、虫、草等有害生物的商品活体生物。生物化学农药是指从生物体中分离出的、具有一定化学结构的、对有害生物有控制作用的生物活性物质,该物质若可人工合成,则合成物结构必须与天然物质完全相同(但允许所含异构体在比例上的差异)。生物农药的种类较多,若按开发对象和来源分类,可用图2表示。

动物体农药主要指商品化的天敌昆虫、捕食螨及采用物理或生物技术改造的昆虫等。目前,仅转基因抗有害生物或抗除草剂的作物可称为植物体农药。微生物体农药指用来防治有害生物的活体微生物。植物源生物化学农药中,植物毒素指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、拒产卵等)的物质,如印楝素、烟碱等;植物内源激素,如乙烯、赤霉素、细胞分裂素、脱落酸、芸苔素内酯等;植物源昆虫激素,如早熟素等;异株克生物质,即植物产生的并释放到环境中

能影响附近同种或异种植物生长的物质;防卫素,如豌豆素等。动物源生物化学农药指将昆虫产生的激素、毒素、信息素或其他动物产生的毒素经提取或完

全仿生合成加工而成的农药,如昆虫保幼激素、性信息素、蜂毒等。Avermectin、 δ 内毒素、赤霉素等属于微生物源生物化学农药。

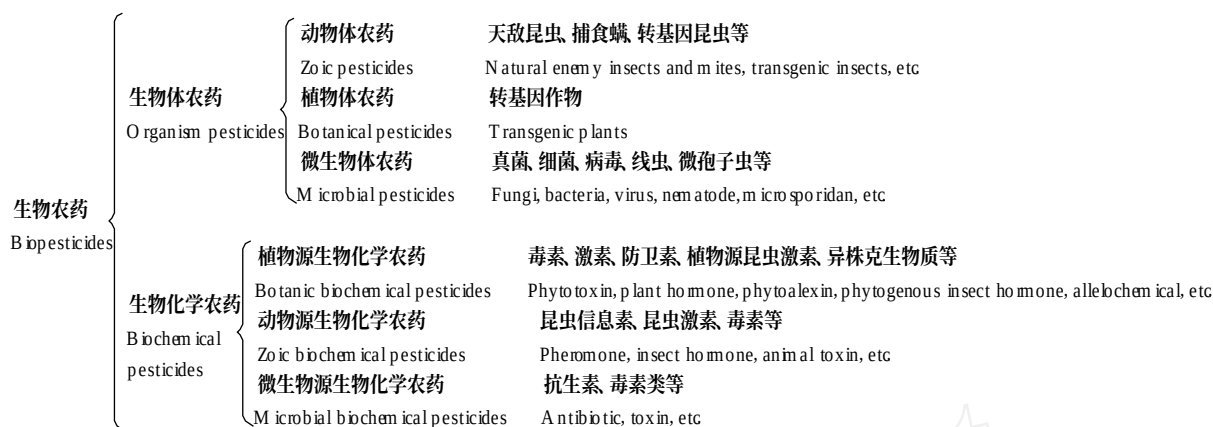


图 2 生物农药分类图

Fig 2 The classification of biopesticides

2 生物农药的特点

生物农药的出现和应用已有悠久的历史,但直到 20 世纪 30 年代之后才有了一定的发展,从 70 年代起,发展非常迅速。该类农药在长期的研究和应用中表现出的特点可初步归纳为以下几点。

2.1 专一性强,活性高

生物农药最显著的特点就是专一性强。在生物体农药中,天敌昆虫、捕食螨常为寡食性或专性寄生;昆虫病原真菌、细菌、线虫、病毒、微孢子虫等都是从感病昆虫中分离出来,经人工繁殖再作用于该种昆虫;植物体农药更是有针对性地对某一种特定功能基因进行定向重组或改造。生物化学农药的专一性也较强,如昆虫性信息素只对同种昆虫有效。另外,生物农药特别是生物化学农药对有害生物的活性较高,如Avermectin,对Tetranychidae, Eriophyidae和Tarsonemidae等科的多种害螨的LC₉₀仅为0.009~0.24 μg/g,对Liriomyza trifolii的幼虫的LC₅₀为0.377 μg/g^[4]。川楝素对菜青虫的LC₅₀为20.4 μg/g虫体重^[5]。

2.2 对环境安全

生物农药均是天然存在的活体生物或化合物,故在环境中会自然代谢,参与能量与物质循环。施用于环境中或作物上,不易产生残留,不会引起生物富集现象。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10 h^[6]。

2.3 对非靶标生物相对安全

生物体农药均是活体生物,若不考虑生态因素,

则其对非靶标生物几乎无影响。生物化学农药,因活性较高,用量较少,而且对害虫多为胃毒作用,因此也是相对安全的。研究表明^[7],印楝素对黑肩盲蝽、菲岛长体茧蜂、智力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、虹鳟等低毒,无致畸作用。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效果较好;川楝素对异色瓢虫的KT₅₀远大于1.080 min,而甲基1605对异色瓢虫的KT₅₀仅为78.1 min^[8]。

2.4 开发利用途径多

天敌类动物体农药可以人工繁育,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。生物化学类农药不但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,可通过多种途径来开发利用生物农药。

2.5 作用机理不同于常规农药

传统的杀虫剂大多是神经毒剂,而生物农药尤其是生物化学农药的作用机理一般均较为复杂,可在IPM、抗性治理、协调治理中发挥显著作用。如印楝素作为拒食剂,可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^[9];Bt所产生的 δ 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^[10];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^[11,12]。

2.6 种类繁多,研发的选择余地大

图2充分说明了生物农药种类的多样性。生物农药的开发思路是在了解自然界中植物、昆虫、微生物彼此之间及各类群之内的相互关系的基础上,充分利用连接这种关系的信息系统来研究开发生物农药。凡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开发为生物农药。随着人类环保意识的增强及农业可持续发展战略的实施,生物农药作为一类高效、安全的农药,必将具有广阔的发展前景。

3 生物农药的研究应用现状

3.1 生物体农药

3.1.1 动物体农药 在早期的生物防治中,最重要的措施就是利用天敌昆虫和捕食螨。但是作为生物农药,必须要符合农药的条件,即只有那些可作为商品的、能在市场上销售的、有针对性地使用的天敌昆虫和捕食螨,才能划归为生物体农药。就寄生蜂而言,早在1986年Greathead报道,有90个国家应用393种寄生蜂防治农林业中的274种害虫,有860例成功的生物防治例子^[13]。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进展。

动物体农药的另一个研发途径是对天敌昆虫进行“改造”。一是利用基因工程的方法,将对杀虫剂的抗性基因转到天敌中,使其产生抗药性,提高田间竞争力,一种带抗有机磷农药基因的工程益螨*Metaseiulus occidentalis*已培育成功。二是将害虫显性不育基因导入雄虫体内培养出不育雄虫,与田间正常雌虫交配后产生不育雌虫和带显性不育基因雄虫,干扰其正常的交配^[14]。三是采用物理辐射获得不育雄虫,释放到田间,干扰正常交配,从而达到防治害虫的目的。

3.1.2 植物体农药 植物体农药是直接利用作物本身为载体,经基因修饰或重组而开发为农药。对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、玉米、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^[15],目前约有90种转基因植物产品已被批准商业化生产应用,其中大部分与病虫害防治有关,如抗虫(玉米螟)玉米、抗虫(棉铃虫、红铃虫)棉花、抗虫(甲虫)马铃薯、抗病毒的西葫芦和番木瓜、抗除草剂(草甘膦、草铵膦、溴苯腈、磺酰脲、

咪唑啉酮)的玉米、大豆、棉花、油菜、亚麻等。但是并非所有的转基因作物都是植物体农药,这里所说的植物体农药是指在作物中引入一个目的基因,而使植物组织产生一种原来不具备的、对病虫害有抵御作用的物质,或可免受某些有毒物质的损害,这样的基因重组作物才是植物体农药。但对于目标基因来源于邻近种属的植物,或目标基因的作用是使得转基因作物具备了形态抗性及通过常规育种获得的具有耐病虫害的作物,则不属于植物体农药。

植物体农药因其自身集保护和被保护对象为一体,自诞生之日起就倍受青睐,但不容乐观的是转基因作物对环境存在着多方面的潜在不利影响,如转基因作物本身由于具有抗虫、抗除草剂等的特性而可能变为杂草,这种抗性基因也有漂移到杂草上的潜在可能性;抗病毒作物的基因可能与其他病毒发生重组,产生超病毒,给作物带来毁灭性灾难。另外,转基因作物对人类有无致病性、致畸性,目前尚无肯定的答案。因此,对植物体农药的研究和应用应保持谨慎的态度。

3.1.3 微生物体农药 真菌类生物农药一般是农业有害生物的致病真菌,如白僵菌、绿僵菌、淡紫拟青霉(防治植物线虫)、毒力虫霉(防治蚜虫)、和蜡蚧轮枝菌(防治白粉虱)、绿毛粘帚霉(防治萝卜立枯病)等。B. t是细菌类农药中最负盛名的品种。

除B. t外,我国开发成功的细菌制剂还有亚宝(枯草杆菌)、力宝(假单胞杆菌)、增产菌(蜡质芽孢杆菌)等。

用于害虫防治的病毒主要是核多角体病毒(NPV)、Baculoviridae科的颗粒体病毒(GV)、Reoviridae科的细胞质多角体病毒(CPV)和Poxviridae科的昆虫痘病毒^[16]。我国已成功研究出了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病毒已登记注册,年使用面积达到百万公顷以上。正在研究的有甜菜夜蛾核多角体病毒、八字地老虎核多角体病毒、杉叶毒蛾核多角体病毒、灰菜尺蛾多角体病毒等。

目前,全球约有15家公司进行昆虫病原线虫的商品化生产,然而成功地利用线虫防治的仅是极少的昆虫,应用面积有限。昆虫致病线虫中,研究的重点是斯氏线虫和异小杆线虫,其主要通过昆虫的自然开口、气门、节间膜等进入昆虫体内,随后释放出肠腔内携带的*Xenorhabdus*属(与斯氏线虫共生)和*Photorhabdus*属(与异小杆线虫共生)的共生细菌,细菌的生长、繁殖导致昆虫染上败血症而死亡。同时

线虫也分泌出一些物质抑制寄生昆虫的免疫系统活性而有利于细菌在昆虫体内定殖^[17]。日本登记了一种线虫——小卷蛾斯氏线虫(*Steinernema carpocapsae*), 用于草地防治 *Parapediasia teterrella*、粘虫和象甲, 商品名为 Baiosefu。原生动物中, 主要是利用微孢子虫防治害虫、杂草, 美国已有产品问世。我国对其研究和应用已有近 20 年的历史, 主要是用于防治蝗虫, 但目前尚无产品上市。

对于微生物体农药的研究并不只局限在病原微生物的分离和人工培养上。自 90 年代以来, 新一代重组微生物的研究和开发成果显著。重组微生物是指利用基因工程技术修饰微生物本身基因, 以提高其对害虫的感染力, 或与异源病毒重组以扩大寄主范围, 或将外源激素、酶和毒素基因导入杆状病毒基因组以增强其致病作用。目前, 国外已有不少新型微生物农药投入市场, 如采用质粒修饰与交换技术开发的新型 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胞菌制剂 MV P、M -Trak、M -Peril 等^[18]。随此方向研究的深入发展, 也有可能产生重组真菌、重组线虫、重组微孢子虫, 这些重组微生物农药均属于生物体农药。但重组微生物也存在着与植物体农药相同的潜在隐患——基因污染, 因此对其研究和应用也应保持慎重的态度。

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, 全世界现已合成的昆虫性信息素有 1 000 多种, 已商品化的有 280 多种, 这已成为害虫治理中的一个重要手段。我国在棉铃虫、棉红铃虫、梨小食心虫等性信息素的分离鉴定、人工合成及田间应用方面, 已取得了可喜成绩。此外, 对报警信息素、聚集信息素和踪迹信息素也有一定的研究^[19, 20]。昆虫激素在昆虫体内的含量极少, 对其开发一般是人工合成相同的化合物, 加工为农药使用。但对于人工合成的衍生物, 如烯虫酯、米满等, 则不应属于生物农药。

除信息素外, 节肢动物毒素也是一类动物源生物化学农药。如对各种蜘蛛和黄蜂的毒素研究发现^[21, 22], 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。这一新的作用靶标, 已引起了人们开发新型杀虫剂的兴趣。另外, 近几年来对几丁质的研究比较深入, 已在生物农药领域开创了一个新的方向。几

丁质的脱乙酰化产物壳聚糖, 可阻碍植物病原菌孢子的萌发和生长, 对小麦纹枯病、花生叶斑病、烟草斑纹病等病毒、真菌、细菌性病害均有较好的防效, 而且壳聚糖的降解产物可诱导植物中的防御酶——几丁质酶的含量和活性大大提高(可高达 4 倍), 从而提高植物的抗病性。壳聚糖还能促使土壤中的微生物产生一种能杀死线虫及其虫卵的酶, 可开发为杀线虫剂^[23]。

3.2.2 微生物源生物化学农药 由微生物产生的抗生素类、毒素类均属此类生物化学农药。如 B. t 中所含的 δ 内毒素, 用于防治多种鳞翅目害虫, 效果优良。抗生素类历来是生物农药发展的重点, 可用于杀虫(如 A vermectin)、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, 最著名的就是 A vermectin。我国研究开发农用抗菌素不仅历史悠久, 而且处于国际先进水平。到目前为止, 已注册登记并生产的农用抗菌素类品种达 16 个, 生产厂家 130 多家, 年产量达到 7 万多吨制剂, 年应用面积达到 130 多万公顷次。

3.2.3 植物源生物化学农药

早在公元前 5~7 世纪, 就有用植物杀虫防病的记载, 其实际应用可能更早。2 000 多年来, 人类从未中断过使用植物源农药。开发植物源农药, 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、协同进化的结果, 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, 其中最成功的当属印楝。我国在这方面的研究内容涉及到楝科、卫矛科、柏科、豆科、菊科等科属的多种植物^[24~28]。而且已成功地开发了多种植物源农药, 相当一部分已进入工业化生产。烟碱、苦参碱、楝素、茴蒿素和茶皂素等 16 种植物源农药已登记注册, 生产厂家达 46 家。

相对于植物源杀虫剂来说植物源杀菌剂的研究要少得多, 但是, 植物仍被认为是化学合成杀菌剂替代品最好的开发资源。Wilkins 等曾报道, 有 1 389 种植物有可能作为杀菌剂, 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^[29]。Nychas 于 1995 年也曾对植物源抗菌剂实际使用的可能性做了详细的论述^[30]。近年来, 我国学者先后对黄连生物碱、小飞蓬精油、红树、厚朴、麻黄和细樟挥发油、凤仙、骆驼蓬等的抑菌活性

进行了初步探讨^[31]。目前已开发成功的品种不多,仅有 TalentTM、MilsanTM 等几种产品^[32]。

目前已在 30 多个科的植物中发现了上百种具杀草活性的化合物,主要有醌酚类、生物碱类、肉桂酸类、香豆素类、噻吩类、类黄酮类、萜烯类、氨基酸类等,其中有些已被开发为除草剂。如从棉花根系分泌物中分离出的醌类物质独角金萌素(strigol),对寄生在玉米、高粱、甘蔗等上的杂草独角金有特效,该化合物已在美国广泛用于大豆、豌豆、花生、棉花等作物上防除独角金^[12]。在植物源杀线虫剂研究方面也有一定的进展。至 1998 年已发现臭草、孔雀草、向日葵、印楝、百日菊等 41 属 47 种植物可用于防治线虫^[33]。对于植物源病毒抑制剂的研究虽说起步不久,但已发现商陆、紫茉莉、洋葱、扁豆、甜菜等十种植物中均含有抑制病毒的物质。

4 生物农药的发展前景

近几年来,虽然生物农药的销售额每年轻约为

3 亿美元,占整个农药市场的 1%,但却以 10%~20% 的速度上升^[34],发展势头迅猛。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势。另外,从某种意义上讲,生物农药是生态系统的调节者,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,研究领域广,而我国在生物农药科研方面投入的资金与国外各大农药公司相比要少得多。因此,我国的生物农药研究和开发要根据现有基础和优势有针对性地发展。微生物体及寄生类天敌昆虫应作为生物体农药的主要研究对象;昆虫性信息素应是动物源生物化学农药发展的重点;微生物源生物化学农药发展的侧重点还应是抗生素;植物源生物化学农药开发费用低,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] 上田富雄 生物农药的现状 & 开发动向[J]. 张思华译 农药译丛, 1993, 15(6): 1- 4
- [2] 张子明 生物农药的定义、特点和现状[J]. 农药科学与管理, 1996, (6): 32- 33
- [3] 沈善敏 土壤科学与农业持续发展[J]. 土壤学报, 1994, 31(2): 113- 118
- [4] Lasota J A, Dybas R A. A vemectins, a novel class of compounds: implications for use in arthropod pest control[J]. Annu Rev Entomol, 1991, 36: 91- 117.
- [5] 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
- [6] Macconnell J A, Demchak R J, Preiser F A, et al Relative stability, toxicity, and penetrability of abamectin and its 8, 9-oxide[J]. J Agric Food Chem, 1989, 37: 1498- 1501.
- [7] 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
- [8] 成为宁, 李修炼, 李建军, 等 植物性杀虫剂防止小麦吸浆虫研究[J]. 西北农业学报, 2000, 9(2): 41- 44
- [9] 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
- [10] 申继忠, 钱传范 苏云金杆菌 δ 内毒素作用机理的研究进展[J]. 农药译丛, 1994, 16(4): 43- 46
- [11] 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
- [12] 由振国 天然杀草化合物的开发与利用(上)[J]. 世界农业, 1993, (9): 35- 36
- [13] 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
- [14] 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
- [15] 黄大衍 基因工程正在开辟植物病虫害防治的新途径[A]. 植物保护与植物营养研究进展[C]. 北京: 农业出版社, 1999
- [16] Muneo Okado 生物农药[J]. 顾宝根译 农药科学与管理, 1998, 68: 30- 33
- [17] 王立霞, 杨怀文, 黄大衍 昆虫病原线虫共生细菌致病机理的研究进展[J]. 微生物学报, 2000, 40(4): 448- 451
- [18] 叶纪明, 刘绍仁 浅谈中国农药存在的主要问题及发展趋势[A]. 植物保护与植物营养研究进展[C]. 北京: 农业出版社, 1999
- [19] 周友泉 昆虫产卵驱避激素的研究概况[J]. 昆虫知识, 1991, 13(1): 15- 18
- [20] 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
- [21] 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.

- [22] 李正名 农药研究进展[J] 农药, 1991, 30(4): 3- 8
- [23] 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
- [24] 赵善欢, 张 兴 植物性物质川楝素的研究概况[J] 华南农业大学学报, 1987, 8(2): 57- 67.
- [25] 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
- [26] 罗万春, 慕立义, 赵善欢 植物源生物碱的杀虫作用[A] 中国有害生物综合治理论文集[C] 北京: 中国农业科技出版社, 1996 11, 1081 - 1084
- [27] 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
- [28] 荣小东, 徐汉虹 植物性杀虫剂印楝的研究进展[J] 农药学报, 2000, 2(2): 9- 14
- [29] 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
- [30] Nychas G J E. Natural antimicrobials from plants[M]. London: Blackie Academic & Professional, 1995 59- 89
- [31] 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
- [32] 赵善欢 植物化学保护[M] 第 3 版 北京: 中国农业出版社, 2000
- [33] 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.
- [34] 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.

A review of biopesticide

ZHANG Xing, MA Zhi-qing, LI Guang-ze, FENG Jun-tao

(Biorational Pesticide Research and Service Centre, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The definition, category and specific property of biopesticides were discussed in this paper. After reviewing the present researching situation, biopesticides was thought to have a bright prospect. The developing direction and major project of biopesticides in China were raised in the paper as well.

Key words: biopesticide; organism pesticides; biochemical pesticides