

武汉医学院《医学昆虫学》教材

# 医学昆虫防制

军事医学科学院 朱成扑



武汉医学院

一九八二年八月



# 目 录

|              |    |
|--------------|----|
| 一、综合防制       | 1  |
| 二、环境防制       | 2  |
| 三、生物防制       | 3  |
| 四、化学防制       | 6  |
| 五、杀虫剂        | 6  |
| (一)有机氯杀虫剂    | 7  |
| (二)有机磷杀虫剂    | 8  |
| (三)氨基甲酸酯类杀虫剂 | 10 |
| (四)拟除虫菊酯类杀虫剂 | 11 |
| (五)植物杀虫剂     | 12 |
| (六)生物杀虫剂     | 13 |
| (七)昆虫生长调节剂   | 14 |
| 六、杀虫喷雾器      | 16 |
| 七、超低容量喷雾杀虫技术 | 25 |
| 八、昆虫的抗药性     | 32 |
| 九、杀虫效果考核方法   | 34 |
| 十、驱避剂        | 36 |
| 十一、蚊虫防制      | 37 |
| 十二、蝇类防制      | 39 |
| 十三、虱的防制      | 41 |
| 十四、蚤类防制      | 42 |
| 十五、蜚蠊防制      | 45 |
| 十六、臭虫防制      | 46 |
| 十七、蜉蝣防制      | 48 |
| 十八、恙螨防制      | 49 |

# 医学昆虫防制

医学昆虫防制是预防和控制虫媒病，如疟疾、丝虫病、脑膜炎、斑疹伤寒、回归热、恙虫病、登革热等的环节之一，是流行病学和公共卫生学的重要组成部分。一个世纪以来，人们不断和这类疾病媒介作斗争，虽然取得了很大成绩，但迄今仍是除害灭病的重要问题，是一项长期的和复杂的群众性斗争任务。

医学昆虫即指能传播疾病或危害人类健康的节肢动物。包括蚊、蝇、蚤、虱、蜱、蜚蠊、臭虫、恙螨、白蛉、蠓、虻、蚋、革螨等。臭虫的传病作用还不明确，但叮咬吸血，扰人不能休息、工作和学习，危害非浅，亦应防制。

## 一、综合防制

从四十年代起，由于有机氯、有机磷、氨基甲酸酯类等高效杀虫剂的广泛应用，以及杀虫剂使用方法和杀虫器械的改进，医学昆虫防制有了很大发展，在虫媒病防制上起了重大作用。于是化学防制几乎代替了其他手段。但是，长期实践证明，单独依靠使用杀虫剂不能完全解决媒介防制问题，并且随着杀虫剂的长期和大量使用，媒介的抗药性以及杀虫剂污染环境的问题日益严重，这就迫使人们重新考虑过去的防制方针，即改变过份或单独依靠化学防制的做法，而采取更合理的综合防制的方针。

医学昆虫的综合防制虽然日益受到重视，但对它的意义、原则及方法等等直到近年才有所讨论，陆宝麟教授从蚊虫防制出发，对综合防制概念作出如下解释：从医学昆虫及其环境的整体观念出发，根据标本兼治而以治本为主，以及有效、经济、简便和安全、包括对环境无害的原则，因地制宜和因时制宜地对有害种类，综合采用合理的环境防制、化学防制、生物防制、物理防制或其他有效手段，组合成一套系统的防制措施，把防制对象的种群控制在不足为害的水平，并争取予以消灭，以达到除害灭病和减少骚扰的目的。

综合防制概念的要点是：

(一) 强调害虫与环境以及环境与防制的统一性，即以生态为基础。

(二) 强调治本，即以环境防制放在首位，同时又提倡合理使用其他防制手段，和发展新的防制途径。

(三) 强调结合虫媒病的防治，即防制应以疾病媒介为重点，起除害灭病的作用。

(四) 强调以防制对象种群数量为一般要求，即以达到把媒介数量降低到不足传播疾病，或人们可耐受的水平，而并非要求把它们完全消灭，但在有条件的情况下，则应争取予以清除。

(五) 强调防制措施或方法的系统组合，即在防制实施上，要求对防制对象，形成一套系统的防制措施。

最近，国外从综合害虫管理 (Integrated Pest Management IPM) 出发，对蚊虫防制进行了一系列的讨论，他们提出的有些概念，已包括在上述的综合防制含意中，其主要不同点是，IPM论点认为防制中，经济阈值 (Economic Threshold) 概念是关键。自然界害虫的数

量在一定的平均值上下波动。经济损害水平 (Economic Injury Level) 包括害虫密度达到形成经济的损害等于防制经费的程度, 作为防制的起点。这经济阈值在农业害虫防制上比较容易理解, 但在医学昆虫学上则有所不同, 它们的为害不仅包括由于骚扰吸血以及传播家畜疾病, 引起家畜的损失, 更涉及人体健康和人命攸关。这就无法估计其经济价值。因而可以认为, 在医学昆虫防制上, 强调“经济阈值”不一定切合实际。

## 二、环 境 防 制

环境防制是早期灭蚊的主要措施, 只是在广泛应用杀虫剂之后, 这一手段几乎完全被前者所替代。近年来, 由于蚊虫抗药性以及杀虫剂污染环境等问题, 环境防制的重要意义, 才再次被认识。

根据过去的经验和教训, 人们也愈来愈看到, 许多虫媒传播的疾病如疟疾、丝虫病、日本乙型脑炎、盘尾丝虫病 (Onchocerciasis) 等, 都与社会经济发展, 包括水利、能源、农业发展有关。例如水库的建筑都造成疟疾的流行, 不少国家水稻的种植也导致同样的后果。由于自来水供应不足, 居民用的容器贮水, 导致埃及伊蚊孳生, 是引起登革出血热 (Dengue haemorrhagic fever) 流行的重要因素之一, 这些事实更提高了对环境防制意义的认识。

环境防制是通过环境管理 (Environmental management) 来完成的。最近, 世界卫生组织媒介生物学和防制专家委员会对环境管理防止媒介的意义、内容和方法都提出了具体的建议。它把环境管理分成下列三个主要部分。

(一) 环境改造 (Environmental Modification): 这指为了防止、消除或减少媒介的栖生地而对土地、水体或植被进行的, 对人类环境无不良影响的各种物理性改变、排水、填充、平整土地等等属之。

(二) 环境治理 (Environmental Manipulation): 这指在媒介的栖生地, 造成暂时不利于它们孳生条件的各种计划的定期处理, 水位波动 (Water Level Fluctuation), 间歇灌溉 (Intermittent irrigation)、植被等等属之。

(三) 改善人类居住条件和习惯, 以减少人与媒介接触机会, 从而避免其侵害, 使用纱门纱窗和蚊帐, 改良房屋建筑等等属之。

以上方法虽大部是过去的老法, 但合理应用, 证明是行之有效的。例如翻缸倒罐, 消除无用积水, 仍然被认为是登革热流行区防制埃及伊蚊的基本措施。

另外, 通过环境治理, 防制稻田孳生蚊类也有了一些新的进展。例如在日本, 自1962年乙脑媒介三带喙库蚊的数量大为减少, 目前只能捕捉到1952~1953年数量的10%蚊虫。这种蚊虫剧减的原因有三: (1) 加强了水的管理, 即进行了土地改良, 并且普及了地下水位的暗渠排水; 同时推广和普及晒田, 间歇灌溉, 流水灌溉等等; (2) 普及早期栽培, 插秧后第一次存水期提前在6月中旬这个低温期(平均气温在20℃以下)进行, 接着便是晒田期, 因此减少了通常在返青时期蚊类的孳生; (3) 家畜的大量集中饲养, 提高了卫生管理水平, 包括防蚊措施, 缩小血源分布, 因而减少了蚊虫与宿主接触的机会。这些水稻种植区管理的改变, 加上杀虫剂的合理使用, 媒介库蚊大大减少, 从而大大减少了乙型脑炎的发病率。

近年来, 我国有些地区, 为了防制稻田孳生的中华按蚊和三带喙库蚊, 也进行了不同类型的间歇灌溉, 其中值得一提的是河南省试验并已开始推广的湿润灌溉法, 所谓湿润灌溉的

要点是插秧后以水护秧，秧苗返青后就排水晒田，此后则根据水稻生长要浅灌给水。灌水入田一般不再排水出田，而由水稻吸收，才再给水。一般每次灌水后约48小时自然落干。两次灌水间隔5天左右。从插秧到收割，灌水约25~26次。

据河南省卫生防疫站1978~1979两年的观察，湿润灌溉水稻的中华按蚊幼虫密度比常规灌溉的下降81~86%，三带喙库蚊幼虫密度下降51~91%。同时湿润灌溉稻田一般比淹灌稻田可增产10%左右，而用水方面，则可节省 $\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}$ 。由于润灌比淹灌具有明显增产、省水和降低幼虫密度的效果，一般受到农民的欢迎。河南省1980年末用此法的稻田约150,000亩，现正进一步推广中。

但是上述湿润灌溉目前看来主要适合于沙质土壤的淤灌区，在河南省，则适于黄河冲积平原区域，估计至少有1,000,000亩稻田可采用此法。

此外，我国有些地区，如山东的胶南县，十年来采取农、林、山、水、村和道路统一规划，结合新农村建设中，进行了环境改造和治理，在除害灭病上也取得了很大成绩。

环境防制是媒介防制的根本措施。化学或生物防制的作用往往是暂时的。而环境防制通常导致永久性的效果。最近，世界卫生组织，粮农组织（FAO）和联合国环境规划（UNEP）特成立了环境管理防制媒介的联合专家组，以加强国际间或两国之间协作，可协助训练有关专业人员和促进这方面的研究和发展。

环境防制对蝇类、蚤、蜚蠊等密度控制也是根本性的措施，整顿厨房、厕所、畜圈卫生，搞好粪便、垃圾无害化处理，对防制蝇类有重要作用。搞好厨房卫生，妥善保管食物，管理好饲料，垃圾等是防制蜚蠊的必要条件。

### 三、生物防制

医学昆虫的生物防制目前还是针对蚊虫为主，这里介绍一些最近的发展，包括下列三个方面。

#### （一）生物防制剂筛选、评价以及制剂的标准化

世界卫生组织对医学昆虫的生物防制颇为重视。为了促进这方面的发展。它的杀虫剂专家委员会提出了一个对生物防制筛选以及效果和安全性评价的五个阶段，现已被广泛采用。

第一阶段，实验室研究：进行分类鉴定，对选择的对象进行效果测定，以及对大量培养的难易作出初步估计。

第二阶段，实验室研究：对人的和哺乳动物的安全性以及非目标生物的作用作出初步测定。

第三阶段，初步现场试验：在世界卫生组织指导下，进行严格定的水坑试验，以确定其在自然条件下对疾病媒介的效果。

第四阶段，实验室研究：对哺乳动物的感染性作进一步试验，并在实验室和现场，对非目标生物的作用，作详细的研究。

第五阶段，大规模现场试验。

1977年，世界卫生组织还成立了热带病媒介生物防制科学工作组（BCV-SWG）对评价致病细菌防制蚊虫效果的现场试验，提出了一个现场工作草案，对试验水体大小，试验重复数，喷洒方式，评价方法以及统计分析等都作了具体规定。这是有关现场工作的一个良好指

南。

此外，世界卫生组织还提出了一个苏云金杆菌血清型14 (*Bacillus thuringiensis* var. *israelensis*) 即H-14对幼虫毒效生物测定的标准方法，规定了比较用的标准株制剂，试验用的埃及伊蚊 (*Aedes aegypti*) 蚊株等等。有利于对这类细菌制剂的标准化。

## (二) 捕食天敌的利用

这类仍然是唯一实际应用于防制蚊幼的捕食者，柳条鱼 (*Gambusia affinis*) 是迄今放养最广的食蚊鱼，但应注意它们伤害养殖鱼类，至于另一种能适应污水的食蚊鱼，即网斑花鳉 (*Poecilia reticulata*) 已在缅甸、日本等地自然生长。

此外，我国有些地区在稻田放养家鱼 (*Cyprinus carpio*) 和草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 幼苗以吞食其中孳生的蚊幼，现已取得了好的防制效果，还获得一定的渔业利益。根据河南的试验，水渠放养草鱼的可以因食除水中植被，减少或消除蚊幼虫的庇护和栖留场所而取得间接的防制作用。

对于其他捕食性动物，除了昆虫以外，涡虫水螅也都受到注意。在捕食性水生昆虫中，虽然松藻虫 (*Nonecta*) 等仍有继续研究，但受到更多考虑的仍然是巨蚊 (*Toxorhynchites*)。应用巨蚊防制容器孳生伊蚊，从三十年代起已进行了不少试验，但未有真正成功的例子，Stauffer对巨蚊的生物学及其应用于防制已作有综合报导，现在这方面的研究仍在继续进行，例如最近Gerberg采用在室内容器中投放蚊卵的方法，表明对埃及伊蚊有一定的防制效果，但看来养蚊取卵以及投放手续比较麻烦，恐难大量推广应用。

但是由于防制试验以及接种病毒的需要，巨蚊实验室养殖有了较大进展，多数巨蚊能在实验室饲养并传代，但由于它们的幼虫需要以其他幼虫饲养并且自相残杀，大量养殖比较困难。最近 (Focks) 等对巨蚊 (*T. rutilus rutilus*) 采用大盘饲养方法解决了这一问题，并且建立了每周可生产100,000巨蚊方法。

## (三) 病原生物的研究

现代医学昆虫生物防制研究中，昆虫病原生物或致病体 (*Entomopathogens*) 占主要地位。世界卫生组织出版的《医学节肢动物的致病体》 (*Pathogens of Medical Important Arthropods*) 一书，综合了大量蚊虫病毒病原生物及其对宿主的作用，是这方面很有用的参考。

在各类病原生物中近年发展较快的有苏云金杆菌以色列变种、球状芽孢杆菌 (*B. Sphaericus*) 和食蚊罗索虫 (*Romanomeris culicivora*)，其他如绿僵菌 (*Metarhizium anisopliae*) 大链壶菌 (*Lagenidium giganteum*)、雕蚀菌 (*Coelomomyces*) 以及微孢子虫等等，虽然仍在继续研究，但离实际应用尚远。

苏云金杆菌以色列变种(H-14)：苏云金杆菌已知有二十多个变种或血清型，但其中仅最近 (Goldberg) 分离到的，以后称做以色列变种的蚊幼虫有毒效。实验室和现场试验表明，它对多种蚊虫，包括按蚊、伊蚊、库蚊、脉毛蚊 (*Culiseta*)、骚蚊 (*Psorophora*) 以及兰带蚊 (*Uranotaenia*) 等的幼虫都有毒杀作用，但不同蚊种，以至同种蚊虫的不同株对这种杆菌的敏感性可有较大差异。不同龄期幼虫对它，敏感性也有差别，因而在评价和比较细菌的毒效时，不仅要重视使用制剂和试验蚊种，也须注意蚊株和龄期。

苏云金杆菌以色列变种的作用物是含 $\delta$ 毒素晶体。细菌被幼虫吞入而在消化道中起作用，现对菌粉贮存以及影响菌粉或内毒素的因素已有若干了解。这内毒素的毒效在温度很低的水中，可能作用不大。游离氯能抑止或破坏内毒素，因而在用自来水作用物质沉于泥土

中，不能被幼虫吞食所致。

我国用国外引入的菌株做试验，也证明对淡色库蚊、白纹伊蚊、中华按蚊等同样有较高的毒杀作用，例如淡色库蚊对它的  $LD_{50}$  为每毫升  $0.23 \times 10^7$  个菌，它对淡色库蚊和白纹伊蚊的毒效相仿，而对中华按蚊的稍差。

再者原武汉生物农药厂制成的菌粉，取名“孑孓灵”，经天津、辽宁、吉林、黑龙江、山东、河南、陕西、新疆、江苏、浙江、安徽、湖北、广东、四川、云南等省（区）试验结果，它对淡色库蚊的  $LD_{50}$  为  $0.3 \sim 0.5$  ppm。小规模现场试验表明， $2 \sim 2.7$  ppm 的剂量对稻田、污水沟、水坑等中的中华按蚊、致倦库蚊、淡色库蚊、三带喙库蚊等都有90%以上的防制效果，但无残效。

苏云金杆菌以色列变种对人畜是安全的。它的制剂工业生产比较简单，也可土法上马，使用也很方便，因而它是最有希望推广的生物杀虫剂。

这种变种对蚊的幼虫也有毒效。

球形芽孢杆菌：球形芽孢杆菌在上述苏云金杆菌以色列变种发现之前，被视为最有希望的蚊虫生物防制剂，世界卫生组织已分离出一些菌株，其中印度尼西亚从库蚊中分离到的1593株，被认为毒效较高，最适于工业生产的菌株。从1972~1977年对此进行了大规模的实验室研究。

这种杆菌的致病株都是兼性寄生和腐生者。它们通过消化道而侵入虫体。它不产生伴孢晶体，成熟芽孢含大部分毒素，但无芽孢的细胞壁也含少量毒素，毒素不分泌到培养液，因而死细胞仍有毒杀作用。

从实验室生物测定的结果看来，各种库蚊和黑尾脉毛蚊（*Culiseta melanura*）对1593株都很敏感，已知最敏感的是三带喙库蚊。伊蚊类对它的敏感性因种类而有很大差别，例如黑斑伊蚊（*Ae. nigromaculis*）几乎和致倦库蚊同样敏感，而刺扰伊蚊（*Ae. vexans*）约比后者耐受30~40倍；埃及蚊比之耐受400~500倍。白纹伊蚊对它的敏感性也较差。

球形芽孢杆菌1593株能在多种培养基上生长，其培养或粉剂悬液以及在细胞内的毒素都比较稳定，它对高等动物以及非目标生物包括柳条鱼的安全试验结果也良好。目前需要发展制剂，并进行更多的现场试验，为正式工业生产作准备。

食蚊罗索虫（*Romanomermis culicivora*）：迄今已有成套大量培养和使用方法，并不断试验，寄生索虫虽然陆续有所发现，而被认为可推广应用的，仍仅食蚊索虫一种。这种索虫过去和尼氏后索虫（*Resimermis nielsen*）相混，现已明确区分。

食蚊罗索虫在过去一年间已有比较广泛的研究。近年来对它的各个方面，尤其在对不同蚊种的寄生性，对目标或非目标生物的防制效果或作用，以及各种环境因素，包括常用杀虫剂对它的影响等等，有了进一步了解。

实验研究表明，有些蚊虫幼虫对这种索虫有免疫性。更值得注意的是，致倦库蚊已证明可对食蚊罗索虫的寄生产生抗性。这是在用致倦库蚊养殖了八年300代的实验索虫培养中发现的，培养到115代，为了获得高度寄生率，使用寄生前期幼虫和宿主比例就需要从原来的12:1，提高到15:1，而约300代以后，自然界同种幼虫的寄生率比上述实验室蚊群高32~42%。

迄今已知自然界寄生或实验室移种食蚊罗索虫的蚊虫，共有6属87种之多，其中17种为自然宿主（*Petersen*），根据已有资料，把这87种蚊虫对食蚊罗索虫的敏感性，从最低的具高度抗性到最高的非常敏感分为五级。在各蚊属中，按蚊一般对这种索虫都比较敏感，在列述

的14种按蚊中，其敏感性为五级的达11种。但值得注意的是我国台湾省的中华按蚊对之很不敏感。

应用食蚊罗索虫防制各种蚊虫，无论从地面或空中喷放，已进行了不少现场试验，但试验面积一般都不很大。最近 Petersen 等在萨尔瓦多首次大规模应用，这种索虫防治淡色按蚊 (*An. albimanus*) 的试验，获得了成功。他们进行的一次试验，喷放剂量为2,400~4,800条/米<sup>2</sup>按蚊密度下降了94%。1978年继续观察也获得了良好的效果。

食蚊罗索虫对人畜安全，对非目标生物也无不良影响。它们的大量培养也有成套器械和方法。美国已有两家公司注册，准备生产，供应市场，但迄今未见有商品出售。

此外，保护益虫、益兽，繁殖天敌也可达以生物防制害虫的目的，如鸟类、蝙蝠、青蛙等。

## 四、化 学 防 制

化学防制虽遇到媒介昆虫抗药性和环境污染两大难题，但从它对人类做出的巨大贡献和遍及全球范围的广泛应用，必将不断总结出有益经验，探索出前进道路，继续发展。今后二十年内它仍然是防制媒介昆虫的有效方法。在控制如登革热、登革出血热和某些脑炎虫媒病的发生和流行中仍将发挥其重要作用。

化学防制的优点：

(一) 由于药物种类及其作用于害虫途径的多样性，可防制多种害虫，而且一种药物往往具有广谱的杀虫效果，它不受地区性限制，往往害虫发生规律尚未很好掌握，亦可使用有效。

(二) 从机械化的意义来说，本法比较完善而方便，且可大规模进行，因此，在害虫大量发生时，特别有用。

(三) 合理使用本法，可获得良好效果，有时在短期全歼害虫迅速解除其危险和威胁，这对除害灭病特别有利。

(四) 从人力物力财力来说，本法比较经济。也由于上述优点，有人过份强调本法，甚至采取单打一的办法，从而忽视综合防制，这是应注意的。化学防制的缺点是有些药物长期使用后昆虫会产生抗药性，于是杀虫作用就降低了，其次是化学药物对许多益虫也有毒杀作用，对人畜也有害，有的药物会使农作物产生药害，因此，要按规定合理使用化学灭虫剂。

实施化学防制时，必须药物、器械、方法三者密切配合，讲究技术，讲究防制质量，万不可滥施药物，造成不良后果。

## 五、杀 虫 剂

杀虫剂是毒杀有害昆虫的药剂，是人与害虫作斗争的有效武器，它经昆虫的消化道、表皮、气孔入虫体，麻痹神经，抑制体酶，破坏生理机能而使昆虫中毒死亡。因作用部位不同而有胃毒剂、接触毒剂和熏蒸剂之分。杀虫剂对人畜和家禽都有毒。合理应用，不会有害。

杀虫剂按其化学性质可分为无机杀虫剂、合成有机杀虫剂、植物杀虫剂和昆虫生长调节剂 (Insectgrowth regulators) 等。

十八世纪至二十世纪初,以无机化合物磷酸钙、氯化钠、天然除虫菊、鱼藤和巴黎绿作杀虫剂。四十年代起先后合成有机氯和有机磷杀虫剂,五十年代始相继研制出氨基甲酸酯类和拟除虫菊酯类杀虫剂。近十年来又研究发展了更为新颖的昆虫生长调节剂。杀虫剂的发展开始进入了一个新的转变时期。

合成有机杀虫剂是化学防制有害昆虫的主要药剂,具有广谱长效高效的特点,不受虫种和发育阶段、地区条件的限制,可大规模使用,害虫盛发猖獗时,能迅速压低虫群密度,故在农业增产灭虫防病上发挥了重大作用。特别在疟疾防制上,使用二二三、狄氏剂(Dieldrin)和六六六以及其他杀虫剂作室内滞留喷洒,十余个国家已消灭疟疾,世界疟疾病例约减少一亿。在虫媒的病毒病、鼠疫、流行性斑疹伤寒和盘尾丝虫病(Onchocerciasis)等的防制,效果也很显著。这类杀虫剂因受到重视,发展甚速,目前已有一百多个品种得到广泛应用。但是由于长期使用杀虫剂,出现了媒介昆虫的抗药性。一些性质稳定,不易分解的杀虫剂品种,引起对环境土壤、水质和大气的污染,通过生物浓缩和食物链造成了食品中的残留。经动物实验,发现有些杀虫剂品种有慢性毒性,这就引起人们对杀虫剂所带来的危害,予以高度重视。因此,合成有机杀虫剂目前的发展发生了一些变化:①有机氯杀虫剂的许多品种,由于残留,慢性毒性等原因受到限用或禁用;有机磷、氨基甲酸酯杀虫剂正在稳步发展,拟除虫菊酯杀虫剂在合成和使用上都有突破,受到许多国家的重视,是一类很有发展前途的药剂,昆虫生长调节剂、生物杀虫剂也已应用。②许多国家的杀虫剂生产者以相当大的力量集中到老品种的改进上,因而减弱了发展新药剂的速度。③近来人们对杀虫剂的毒性概念的认识也有了新的变化。过去对杀虫剂毒性的衡量仅以急性毒性为标准,现在认识到杀虫剂的慢性毒性,包括致癌、致畸、致突变、残留毒性、慢性神经毒性、对生殖和代谢的影响等都列为衡量一个杀虫剂品种毒性大小的标志,这几个方面都是安全的药剂才能生产使用。④剂型和加工方面出现了控制释放技术,与之相应地出现了缓释剂。这对于合理使用杀虫剂,延长残效,减少流失和污染,使高毒品低毒化以及降低成本提供了新途径。许多国家正积极从事研究,目前已有商品生产。⑤媒介昆虫对杀虫剂产生抗性的机理,杀虫剂的作用方式以及杀虫剂慢性毒性机理和测定方法等方面的研究都取得了明显的成就。⑥杀虫剂的安全管理、纯度、规格等都受到重视。

但是,迄今尚无理想的杀虫剂可供使用,理想的杀虫剂应具备以下条件:1、具有选择毒性,即对害虫有剧毒,对人畜低毒或无毒;2、具有多种杀虫作用,可经消化道、表皮、气孔毒杀昆虫,亦可进入植物或动物体间接杀虫,或引起不育和畸变;3、可制多种剂型,可混配而不变性;4、化学性质较稳定,宜储存,能生物降解;5、无不良气味,无驱虫作用;6、一般用量,对植物无药害;7、不腐蚀金属器具,使用安全;8、制造简单,价格便宜。

#### (一) 有机氯杀虫剂 (Organochlorine insecticides)

有机氯杀虫剂具有长效广谱、生产简单、价廉易得,对哺乳动物低毒的特点,曾是化学杀虫的主要药剂,在农业、卫生害虫的防制上,起过重大作用。但是,长期大量使用后,不仅造成了土壤、河湖、动植物体内的蓄积,环境污染,而且导致了昆虫的抗药性。因此,许多国家禁用或限用了二二三、狄氏剂和六六六,但是,对二二三的禁用,目前尚有争论。世界卫生组织仍推荐它和林丹用于媒介按蚊的防制,如果正确而有控制地作室内滞留喷洒,对媒虫的防制,可能利多害少。目前许多国家正在研究解决二二三的残毒问题,有的研究能使二二三分解的催化剂,例如加入少许钡盐或铊盐;有的研究向上壤里施放强吸附剂,以防止

二二三进入土壤和植物体，并减少水对残留二二三的冲洗；有的寻找易为生物降解的新化合物，现已发现以氧基或甲氧基代替二二三苯环上的对位氯，以成为易被降解的产品，亦具有较广谱的药效。如甲氧二二三、乙氧二二三、甲基二二三、甲硫二二三等。其中一些尚在试验阶段。二二三在美国虽已于1972年禁用，但由于对某些害虫的控制还未找到更好的替代剂，所以还在有限地使用。为了尽可能减少它的污染，在防制棉花害虫上与其他杀虫剂混合使用。

有机氯杀虫剂包括二二三 (DDT)、甲氧二二三 (Methoxychlor)、六六六 (HCH)、林丹 (Lindane)、狄氏剂 (Dieldrin)、艾氏剂 (Aldrine)、异狄氏剂 (Erdrine)、异艾氏剂 (Isodrine) 氯丹 (Chlordane)、七氯 (Heptachlor)、毒杀芬 (Toxaphene)、三氯杀虫酯 (Acetofenact) 等，其中二二三、六六六、林丹多用于卫生害虫的防制，三氯杀虫酯是一种二二三类似物，目前正在试用推广。

1. 二二三 (DDT) 灰白或淡黄色粉粒体，有微弱芳香味，不溶于水，溶于多种溶剂。在日光和酸性物质中稳定，在碱性物质中易分解，具有接触、胃毒作用，可用于室内滞留喷洒灭蚊，每平方米用量2克，则中华按蚊强迫接触药面的击倒中时 ( $KT_{50}$ ) 为22分钟，残效期约84天。淡色库蚊幼虫致死中浓度 ( $LC_{50}$ ) 为0.42ppm，对鱼苗的致死中浓度 ( $LC_{50}$ ) 为0.06ppm，对鱼有毒。大白鼠口服致死中量 ( $LD_{50}$ ) 为250毫克/公斤。二二三为神经毒剂，渗入虫体后，由血液淋巴分散至各器官组织，影响酶活动，引起细胞呼吸障碍，特别是神经组织细胞呼吸的破坏，终致神经麻痹而死亡。

2. 甲氧二二三 (Methoxychlor) 无色结晶或灰色粉末，有水果气味，微溶于水，易溶于有机溶剂，耐氧化，对日光、温度和碱比二二三更稳定。速效较二二三强，0.4%浓度，可击倒家蝇99%。大白鼠口服致死中量为5000—7000毫克/公斤。在人体内无蓄积作用，是防制家畜外寄生虫及家庭卫生害虫的药物。

3. 三氯杀虫酯 (Acetofenact)，无特殊气味，是一种高效低毒、能生物降解的二二三类似物，结构简单、生产方便、原料易得，可代替二二三防制蚊、蝇，对有机氯、有机磷产生抗性的蝇类亦有效。为接触毒剂，药效数周。对家蝇的致死中量为4.89—5.89微克/蝇，1%浓度处理表面，对家蝇击倒中时为23.44分钟，水中浓度1ppm，淡色库蚊幼虫全部死亡。对鱼的致死中浓度为1.52ppm，比二二三安全、大白鼠口服致死中量为10,000毫克/公斤，在动物体内无蓄积作用。

4. 林丹 (Lindane) 含丙体六六六99%以上，为无色小晶体，无特殊气味。不溶于水，微溶于石油，可溶于多种有机溶剂。对日光、酸性物质稳定，遇碱分解，对铝有腐蚀，具触杀、胃毒和熏蒸作用，杀虫效力较六六六强。大白鼠口服致死中量为125毫克/公斤。动物体内只有短暂的蓄积。

## (二) 有机磷杀虫剂 (Organophosphorus insecticides)

有机磷杀虫剂是五十年代先后发展起来的药剂，产量和品种居当代杀虫剂的首位。在二二三和六六六被禁用或限用后，更为人们所重视。成为取代二二三的一类重要药剂。这类杀虫剂具有快速触杀和胃毒作用，兼熏蒸或内吸、内疗作用；多数品种具有高效广谱杀虫特点，少数品种有较强的选择毒性，其化学结构变化多端，性状各异，可适应多种不同害虫的需要，使用范围广，某些品种交互使用，可缓解害虫的抗药性，如伊皮恩 (EPN) 能解除马拉硫磷的抗性，马拉硫磷又可解除敌百虫抗性；气温较高时，多数品种表现良好的杀虫活性；有些品种残效长，如倍硫磷 (Fenthion)、马拉硫磷、杀螟松 (Fenitrothion) 和甲啉硫

磷 (Pirimiphos methyl) , 有的品种残效短, 如辛硫磷 (Phoxim) 和氯辛硫磷 (Chlorphoxim); 马拉硫磷、杀螟松、甲噻硫磷和氯辛硫磷等世界卫生组织推荐用于防制媒介按蚊; 有机磷杀虫剂在自然界中易水解或生物降解 (Biodegradation), 故不存在残留或污染, 在动物体内无蓄积中毒危险; 对哺乳动物的毒性, 因品种不同而差别悬殊, 如对硫磷 (Parathion) 和辛硫磷对雌白鼠的口服致死中量分别为3.6和8500毫克/公斤, 但用于卫生杀虫的品种都属于低毒或中等毒。

有机磷杀虫剂的合成已从早期的高效、高毒品种向高效、低毒、低残留、易生物降解的品种发展, 近年在杂环脂类化合物中发现了毒性低、具有广谱生物活性的新杀虫剂甲噻硫磷, 现已商品化生产, 大量研究表明, 在化学结构生物活性中存在着某些规律性联系, 从而可合成方法简便、结构新颖简单的化合物。或通过改变某些基团, 降低毒性的方法, 将高效、高毒品种改造成高效、低毒新品种。用于防制卫生害虫的主要有下列品种:

1. 敌百虫 (Trichlorfon): 白色晶体粉末, 略有芳香气味, 可溶于有机溶剂。易水解, 碱性液中变为敌敌畏。对金属有腐蚀性, 具胃毒和接触毒, 大白鼠口服致死中量为625毫克/公斤, 对蚊、蝇、蜚、螨、蚤、臭虫等卫生害虫, 对果树、蔬菜害虫及动物体外寄生虫都有杀灭作用, 可作家畜内疗剂。可制毒饵, 亦可喷雾。

2. 敌敌畏 (Dichlorvos): 无色透明油状液, 略有芳香气味, 易溶于多种有机溶剂, 强碱液中易分解。熏蒸作用强, 空气中浓度为0.8微克/升, 30分钟内可杀死98%家蝇。浓度为0.015微克/升, 4小时可杀死全部按蚊成虫。国外规定室内熏杀浓度为1毫克/立方米人居8小时, 15—20分钟可全部击倒家蝇, 对臭虫、蟑螂、虱子等卫生害虫和许多农业害虫均有速杀作用, 杀虫效力比敌百虫大8倍。由于长期使用, 许多昆虫已产生抗药性。大白鼠口服致死中量为70—80毫克/公斤。它的类似物敌敌畏钙 (Calvinphos) 毒性较低, 但杀虫效力不及敌敌畏。

3. 马拉硫磷 (Malathion): 纯品为浅黄色油状液, 工业品呈深褐色, 有强烈蒜臭味, 易溶于多种溶剂, 酸、碱性物质中易分解, 铁、铝、铜亦能促其分解, 对蚊、蝇、虱、臭虫、蜚螨等皆有毒杀作用, 对果树、蔬菜害虫亦有效, 对哺乳动物毒性低, 可大面积用于防制疟疾媒介。室内滞留喷洒, 用量2克/平方米, 残效期1—2个月; 水中浓度为0.5—1.0ppm, 2小时内可全部杀死蚊幼虫。0.2%乳剂, 500毫升/平方米, 12小时可全部灭死蝇蛆。50%乳剂浸泡粉笔、划痕涂抹于衣缝, 24小时可杀死体虱。大白鼠口服致死中量为1375毫克/公斤。用工业品1,000ppm饲喂大白鼠92周, 生长正常。

4. 杀螟松 (Fenitrothion): 褐色油状液, 略有蒜臭味, 在醇、和芳香烃中极易溶解。在高温或碱性液中易分解。主具接触毒, 兼胃毒和内吸作用, 对蚊、蝇、臭虫、蜚等均有效。用于防制疟疾媒介, 室内滞留喷洒, 用量2克/平方米。大白鼠口服致死中量为2.50毫克/公斤, 用250ppm饲喂大白鼠90天, 无死亡。

5. 倍硫磷 (Fenthion): 纯品无色或淡黄油状液, 无臭味, 工业品棕黄色, 略有蒜味。能溶于多数有机溶剂, 对光、热、碱的稳定性强, 主具接触毒和胃毒, 对蚊、蝇、臭虫、虱、蚤均有效, 室内滞留喷洒, 用量2克/平方米, 残效期2个月以上。亦可防制大家畜体外寄生虫, 水中浓度1ppm, 淡色库蚊幼虫有效期28天。2%粉剂, 用量8克/平方米, 24小时可全部杀死体虱, 对蟑螂作用差。大白鼠口服致死中量190毫克/公斤, 每日10毫克/公斤, 饲喂大白鼠, 60天内无死亡。

6. 辛硫磷 (Phoxim): 纯品浅黄油状液, 工业品红棕色, 易溶于醇、酮、芳烃、卤代烃, 少溶于脂肪烃、植物油和矿物油。中性和酸性水中稳定, 碱性液中分解快。对光不稳定, 紫外光易分解。主具接触毒, 兼胃毒, 用于防制蚊、蝇、臭虫和家畜体外寄生虫。室内滞留喷洒, 用量2克/平方米, 12周内可杀灭按蚊99%, 残效期3个月, 对淡色库蚊幼虫的致死中浓度为0.003—0.004ppm。对中华按蚊幼虫致死中浓度为0.05ppm, 可杀蛹。大白鼠口服致死中量为2170毫克/公斤。

辛硫磷的含氯化合物氯辛硫磷 (Chlorphoxim) 世界卫生组织推荐用于防制疟疾媒介, 对伊蚊属、库蚊属和蚋都有效, 大白鼠口服致死中量大于2500毫克/公斤。

7. 甲噻硫磷 (Pirimiphos methyl): 淡黄色液体, 极易溶于有机溶剂。主具接触毒, 兼有较强的熏杀作用, 广谱长效, 对蚊、蝇、蚤、臭虫、蟑螂、马蚁等有良好毒杀效果。世界卫生组织推荐用于防制疟疾媒介, 室内滞留喷洒, 用量1.8—2克/平方米, 残效期3个月以上, 置笼蚊于喷药室内, 3个月内均可全部杀死。喷药墙面对蚊虫无驱避作用, 致倦库蚊致死中浓度为1.6微克/平方厘米。近于残杀威 (1.7微克/平方厘米), 对蚊幼虫致死中浓度为0.0098ppm, 对哺乳动物和鱼类无危害, 可用于饮水缸的灭蚊, 用量不超过0.5ppm, 可大面积进行超低容量喷洒, 用量每亩13.3—33.3克。

8. 双硫磷 (Abate): 纯品为白色晶体, 工业品为褐色粘稠液。溶于醚、芳烃和氯化烃。选择性杀虫剂, 对蚊幼有良好毒杀作用, 对成蚊效果差。对鱼类、蜻蜓、青蛙皆无毒。残效长, 水中浓度为0.5—1.0ppm, 可保持14—21天灭幼效果, 浓度为2.0ppm, 有效期28天, 可用于饮水缸灭蚊。对淡色库蚊幼虫致死中浓度为0.001—0.004ppm。对体虱有效, 2%乳剂可杀死抗二二三的体虱, 效果优于马拉硫磷、林丹和西维因 (Carbaryl)。大白鼠口服致死中量为2000—4000毫克/公斤。以双硫磷混入牛乳, 每人每日服64毫克, 连续28天, 未出现任何中毒症状和副作用。

9. 毒死蜱 (Chlorpyrifos): 白色晶体粒, 易溶于有机溶剂, 不溶于水, 除强酸、强碱外, 其他条件下稳定, 广谱杀虫剂, 主具接触毒, 灭蚊幼的效果优于双硫磷, 与粘土混合撒水中, 剂量7.5克/亩, 效果可保持数日。对鱼类有毒 (致死中浓度为0.18ppm) 室内滞留喷洒, 用量2克/平方米, 有效期100余天。可杀蟑螂, 大白鼠口服致死中量为163毫克/公斤。其类似物甲基毒死蜱 (Chlorpyrifos methyl) 为优良的杀幼剂, 用于防制盘尾丝虫病 (Onchocerciasis) 媒介的幼虫和一般蚊幼虫, 可施于人畜用水。大白鼠口服致死中量为2000毫克/公斤。

### (三) 氨基甲酸酯类杀虫剂 (Carbamate insecticides)

自四十年代后期发现氨基甲酸酯具有杀虫活性后, 许多国家进行了广泛的研究, 1953年美国碳化物联合公司 (American Cyanamide Corp. Ltd.) 合成了N—甲氨基甲酸酯-1-萘酯, 它具有广谱、低毒、高效的优点。1958年工业生产, 商品名西维因 (sevin), 从而有力地促进了这类杀虫剂的研究发展。氨基甲酸酯具有选择性, 多数为晶体结构, 有愉快气味, 残效期短, 在自然界易分解, 亦不污染环境, 世界卫生组织认为这类杀虫剂最有希望取代二二三, 大面积控制疟疾媒介。但对哺乳动物选择比值 (大鼠口服致死中量/家蝇点滴致死中量) 一般接近于1:1, 安全范围很窄, 故有一定危险; 然而对哺乳动物的皮肤渗透性差, 胆碱酯酶的抑制是可逆的。研究发现在这类杀虫剂上引入亚硫基, 即可得到对哺乳动物有选择性的新品种, 这是一类有发展前途的杀虫剂。常用的品种有如下几种:

1. 西维因 (Carbaryl): 纯品为白色晶体, 稍溶于有机溶剂。对光、热稳定, 遇碱易水解, 主具接触毒。对蚊、蝇、臭虫、蜚、虱等均有效。室内滞留喷洒, 用量2克/平方米, 按蚊接触一小时, 可全部杀死, 有效期50天。对淡色库蚊的致死中浓度为0.67ppm, 对家蝇的作用较差。5%粉剂灭虱, 效果99--100%, 有效期3周左右。大白鼠口服致死中量为560毫克/公斤, 在动物体内无蓄积。

2. 残杀威 (Propoxur): 白色晶体粉末, 略有酚气味。易溶于甲醇、丙酮和二甲酰胺。对热不稳定, 碱性液中分解。主具接触毒, 兼有胃毒和熏蒸作用。残效期长, 室内滞留喷洒, 用量2克/平方米, 药效2个月, 对蚊幼虫的致死中浓度为0.22ppm。1%乳剂喷洒表面, 德国小蠊接触一小时, 可全部击倒, 药效60天。世界卫生组织推荐用于防制疟疾媒介。大鼠口服致死中量为175--200毫克/公斤。对蜜蜂毒性较大, 对鲤鱼毒性较低。

3. 速灭威 (Tsumaside) 纯品为白色晶体, 易溶于丙酮、酒精、氯仿等有机溶剂, 碱液中分解。主具接触毒, 兼有熏蒸和内吸作用, 低温下 (10℃) 效力不减。室内空间喷洒, 用量0.2克/立方米, 5--15分钟可杀死全部淡色库蚊, 但对幼虫作用差。小白鼠口服致死中量为268毫克/公斤。

4. 混灭威: 为灭杀威 (Meobal) 和灭除威 (Machal) 的混合物, 黄色或棕色油状液, 易溶于甲醇、乙醇、丙酮、苯、甲苯。碱性物中易分解, 主具接触毒和熏蒸作用。接触作用较西维因、马拉硫磷、杀螟松和辛硫磷为优, 但熏蒸作用不及敌敌畏。室内滞留喷洒, 用量2克/平方米, 中华按蚊接触一小时, 可杀死95%, 有效期33天。对蚊幼效果差, 水中浓度为1.5ppm, 24小时方能全部杀死, 对蛹无效。大白鼠口服致死中量为214毫克/公斤。

5. 巴沙 (Bassa): 纯品为白色晶体, 略有芳香气味。易溶于有机溶剂。对蚊、蝇有良好杀灭作用。对蚊蛹有特效。对淡色库蚊有极好的击倒作用, 与敌敌畏相似。对中华按蚊的效果较差。大白鼠口服致死中量为410毫克/公斤。

6. 混杀威 (Landrin): 褐色固体, 对蚊虫有良好杀灭作用。世界卫生组织推荐用于防制疟疾媒介, 大白鼠口服致死中量为208毫克/公斤。

7. 二氧威 (Dioxacarb): 具有快速触杀作用, 兼有胃毒, 对蟑螂有特效, 室内滞留喷洒, 用量0.5--2.0克/平方米, 残效期六个月以上。

8. 恶虫威 (Bendiocarb): 白色固体, 广谱杀虫剂, 具触杀和胃毒作用, 对蚊、蝇、蚤、蚂蚁有良效, 对黄蜂特效。世界卫生组织和美国环保局已准许做滞留杀虫剂。因无味、无污染, 亦无兴奋驱赶作用, 可用于室内、食品厂等地。大白鼠口服致死中量为129毫克/公斤。

#### (四) 拟除虫菊酯类杀虫剂 (Synthetic pyrethroids)

拟除虫菊酯类杀虫剂具有杀虫谱广、效力高、击倒快、残效短、毒性低、对抗性昆虫有效等特点。1949年美、日合成丙烯菊酯 (Allethrin), 1952年工业生产, 促使除虫菊酯迅速发展。1964年又发现胺菊酯 (Tetramethrin, Neopynamin), 继之英国合成苯呋菊酯 (Resmethrin) 日本制成甲基呋菊酯 (Proparthrin), 商品名称为 (Kikuthrin), 于是除虫菊酯的研究生产十分活跃, 终于在1973年出现了第一个对光稳定的二氯苯醚菊酯 (Permethrin), 它不仅保持了除虫菊酯原来的特点, 而且对大多数卫生、农业害虫有高效; 对家蝇的毒力, 比天然除虫菊素大30倍, 比二二三高15倍; 对鳞翅目 (Lepidoptera)、鞘翅目 (Coleoptera)、双翅目 (Diptera)、异翅目 (Heteroptera)、同翅目 (Homoptera) 等目类中的多种重要害虫, 比现有的有机磷和氨基甲酸酯的效力大、用量小, 可谓近代杀虫剂发展史上的一个突破。不仅用

于室内，而且用于大田。不过这类杀虫剂的生产工艺比较复杂，生产成本昂贵，一时尚不能大量生产，但可预见，这类近于理想的新杀虫剂必将发展。

1. 丙烯菊酯 (*Allethrin*): 淡黄油状液体，略有芳香气味，溶于丙酮、苯、氯仿等有机溶剂。对光、热较天然除虫菊素稳定。对家蝇的毒力与天然除虫菊素相近。对蚊、蟑螂的毒力不如天然除虫菊素。大白鼠口服致死中量为1000毫克/公斤。

2. 胺菊酯 (*Tetramethrin*): 纯品为白色晶体，溶于苯、丙酮、氯仿、煤油等有机溶剂。对光、热较稳定，高温 (38℃) 和碱液中分解，对蚊、蝇、蟑螂、臭虫、蚤、虱、螨和农业害虫均有杀灭作用。击倒作用突出：对家蝇的致死中量为8微克/克，臭虫为5.6—10微克/克，蟑螂为15—27微克/克，杀死全部家蝇、臭虫、蟑螂的剂量为0.05—0.5克/平方米。缺点是击倒昆虫有24—38%能复活。大白鼠口服致死中量大于4640毫克/公斤。

3. 苄呋菊酯 (*Resmethrin*): 白色或淡黄色固体，溶于丙酮、苯、氯仿、异丙醇等有机溶剂。对光较稳定，对家蝇、库蚊、德国小蠊的毒力比天然除虫菊素分别大28.7, 1.33, 1.52倍 (点滴法)。对库蚊幼虫的致死中浓度比天然除虫菊素大4.17倍。剂量为0.5克/平方米，德国小蠊接触10分钟，可全部击倒，24小时死亡70%。常与胺菊酯合用。大白鼠口服致死中量为2500毫克/公斤。

4. 二氯苯醚菊酯 (*Permethrin*): 无色结晶体或淡黄色油状液体。可溶于丙酮、乙醇、乙醚、甲醇、二甲苯等有机溶剂。对光稳定，碱液中分解。杀虫谱广、效力强、击倒快、低毒、低残留，有强烈的触杀、胃毒和杀卵作用。可杀百余种农业害虫，对卫生害虫有极好的杀灭作用。对淡色库蚊幼虫的致死中浓度比苄呋菊酯大3倍，比胺菊酯大49—52倍，比马拉硫磷大13.8倍。浓度为1 ppm，淡色库蚊幼虫于2小时内全部死亡 (双硫磷为6小时)，残效期4天，10小时内可全部杀死蚊蛹，对卵无效。对蟑螂有显著的驱赶作用，击倒迅速，1%浓度，用量4—5毫升/立方米，喷后一月，对德国小蠊仍有87.3—95.3%防制效果。用0.01%浓度洗头液可杀死头虱，对卵有效，大白鼠口服致死中量为2370毫克/公斤，无催畸、致癌和突变作用，对眼和皮肤无刺激，但对鱼有毒。

5. 溴氰菊酯 (*Decamethrin* 商品名 *K-Othrin*): 白色晶体粉，难溶于水，易溶于二恶烷、丙酮、苯、环己酮等多种有机溶剂，在碱性物质中易分解，在自来水和污水中降低稳定性。对光和空气稳定，有极好的杀虫活性。对家蝇的毒力 (点滴法) 比生物苄呋菊酯大10—20倍，比狄氏剂、杀螟松和增效除虫菊酯大100倍，比马拉硫磷和未增效的除虫菊酯大1000倍。在清水中对蚊幼虫的毒力，因蚊种不同，致死中浓度有别 ( $LC_{50}$  为10—5到10—3 ppm)。在污水中易分解，残效类似双硫磷，比二氯苯醚菊酯大10—30倍，对成蚊的毒杀作用比二氯苯醚菊酯大20倍。用于热雾和超低容量喷雾，剂量为0.25—0.5克有效物质/公顷。用于滞留喷洒，剂量为10—25毫克有效物质/平方米，残效期数周至数月。对蟑螂有高效，对厩螫蝇、采采蝇、蚋、臭虫、蚤、蚊、蝗虫、仓库害虫以及动物体外寄生虫均有良效，尚无对有机磷或氨基甲酸酯产生交叉抗性的报告。大白鼠口服致死中量为129毫克/公斤，对鱼有毒，气雾对呼吸道有刺激，可以引起咳嗽。

#### (五) 植物杀虫剂 (*Botanical insecticides*)

植物杀虫剂是能毒杀有害昆虫的天然植物。杀虫的有效成分多为生物碱，或含于花、叶、茎、根，或全株都有，因种而异。一种植物常含多种生物碱，但仅一、二种起主要作用。植物杀虫剂具有接触毒和胃毒作用，熏蒸作用微弱。一般作用慢、效力低、残效短、用量大，

制剂浓度不稳定, 不易标准化, 常用新鲜植物, 制成水浸剂、煎剂、粉剂或油剂。多用于灭蚊幼和蝇蛆。在植物资源丰富的地区, 可因地制宜, 因时制宜, 就地取材, 经济方便。常用的杀虫植物有除虫菊 (*Chrysanthemum cinerariifolium*)、鱼藤 (*Derris trifoliata*)、烟草 (*Nicotiana tabacum*)、百部 (*Stemona japonica*)、藜芦 (*Veratrum nigrum*)、闹羊花 (*Rhododendron molle*)、雷公藤 (*Tripterygium wilfordii*)、皂荚 (*Gleditschia sinensis*)、打破碗花花 (*Anemone japonica*)、蓖麻 (*Ricinus communis*)、博落回 (*Macleaya cordata*)、桃叶 (*Prunus persica*)、辣蓼 (*Polygonum flaccidum*)、菖蒲 (*Acorus calamus*)、狼毒 (*Euphorbia fischeriana*) 等。

#### (六) 生物杀虫剂 (Bioinsecticides)

利用昆虫病原微生物或致病体, 包括病毒、细菌、真菌等来杀灭医学昆虫的杀虫剂, 目前可作为防制蚊虫的生物杀虫剂, 最有前途的病原细菌是苏云金杆菌以色列变种, 即血清 H—14 型和球形芽孢杆菌。

1. 苏云金杆菌以色列变种: 已知有 14 个血清型二十多个变种, 但其中仅以色列变种对蚊幼虫有毒效, 实验室或/和现场试验表明, 它对多种蚊虫, 包括按蚊、伊蚊、库蚊、脉毛蚊、骚蚊以及兰带蚊等的幼虫都有毒杀效果, 但不同蚊种以至同种蚊虫的不同株, 对它的敏感性也有所差异。不同龄期的幼虫对它的敏感性也有差别, 二龄幼虫较敏感, 以后有所下降。它的杀幼虫作用是  $\delta$  毒素菌体。细菌被幼虫吞入后, 在消化道中起作用。内毒素晶体在已死或将死幼虫中很快失效, 因而用这种毒素致死的幼虫喂健康幼虫时不起作用。幼虫的死亡与水温有关, 但在  $19^{\circ}\text{C}$ — $33^{\circ}\text{C}$  范围内不受影响, 只是在  $19^{\circ}\text{C}$  以下或  $33^{\circ}\text{C}$  以上, 其毒效与水温呈正相关, 因而在很低的水温中, 它可能不起作用。游离氯能抑止或破坏内毒素, 因而用自来水作生物测定时, 必须注意。模拟现场试验发现, 在泥底环境, 幼虫死亡率明显降低, 这可能由于作用物质沉于泥上, 不能被幼虫吞食所致。

苏云金杆菌以色列变种对人畜安全, 菌粉吹入眼内, 只引起轻微刺激。对非目标生物也无明显影响。

2. 球形芽孢杆菌: 广布全球, 普遍存在于土壤或水上系中的一种产芽孢菌。1974 年印度尼西亚从库蚊中分离到的 1593 株, 其毒效一般都比过去在印度分离到的 1321 (SSH—1) 株及其他菌株为高。球形芽孢杆菌的致病株是兼性寄生和腐生者。它们通过消化道而侵入虫体。致病株产生的毒素与细胞结合, 不分泌到培养液中; 死细胞仍有毒杀幼虫的作用。1593 株在产芽孢时产生的毒素量因不同发酵培养基和操作而异。各批规格的制剂很难一致, 不同实验室制备的差别更大。目前稳定的是 Stauffer 化学公司和 Abbott 实验室初步生产的粉剂。因而世界卫生组织综合的实验室和野外试验的结果, 即使用的同一公司的制剂, 变化也较大。

从实验室生物测定结果表明, 各种库蚊和黑尾脉毛蚊对 1593 株都是敏感的。其中已知最敏感的是三带喙库蚊, 致死中浓度为 0.025 毫克/立升, 而致倦库蚊则比其他种类略好, 致死中浓度为 0.1 毫克/立升, 浅色按蚊为 0.8 毫克/立升, 斯氏按蚊为 2.0 毫克/立升, 埃及伊蚊为 40 毫克/立升。伊蚊类对它的敏感性因种类而有很大差别。黑斑伊蚊几乎和致倦库蚊同样敏感, 刺扰伊蚊、屑皮伊蚊 (*Ae. detritus*)、侵袭伊蚊 (*Ae. intrudens*) 约比致倦库蚊耐受 30—40 倍; 埃及伊蚊和里海伊蚊 (*Ae. caspius*) 耐受 400—500 倍; 而三列伊蚊 (*Ae. triseriatus*) 更比致倦库蚊耐受 20,000 倍, 而白纹伊蚊对它的敏感性也是很差的。

用上述工业试产粉剂进行的现场试验表明,对于敏感的蚊种,都需要较高的剂量,才能获得高度死亡率。在幼虫孳生场所中,球形芽孢杆菌1593株的作用可因存在大量浮悬物质而减低。

1593株能在多种培养基上生长,其培养或其粉剂悬液以及在细胞内的毒素都比较稳定。对高等动物及非目标生物包括柳条鱼都是安全的。

其他病原微生物有绿僵菌曾被认为是最有希望的杀蚊真菌。大链壶菌、蚊菌、雕蚀菌等都可毒杀蚊幼虫。

### (七) 昆虫生长调节剂 (Insect growth regulators)

昆虫生长调节剂是阻碍或干扰昆虫正常发育而使其死亡的杀虫剂,包括保幼激素类似物 (Juvenile hormone analogue) 和蜕皮激素类似物 (Molting hormone analogue)。保幼激素类似物可经昆虫表皮或消化道而杀死昆虫,其作用是阻碍昆虫的生长发育,使幼虫不能变蛹或蛹不能变为成虫,产生生理形态上的变化,形成没有生命力或不能繁殖的畸形个体,发生间接不育作用。一些保幼激素类似物可使雌虫不育,成为一类安全的化学不育剂 (Chemosporilant)。蜕皮激素类似物能在幼虫蜕皮时抑制表皮几丁化,阻碍内表皮的形成,可在各令幼虫蜕皮和蛹转化为成虫时起作用。保幼激素类似物的优点是1、生物活性很高,一些类似物在1微克以下的剂量即发生作用,2、具有明显的选择性,只作用于某类昆虫,对害虫的天敌比较安全,3、对人畜安全,残毒小,较少污染环境,4、一些类似物分子结构不太复杂,有希望大量合成。其缺点是杀虫作用只限于昆虫的一定发育阶段,作用缓慢,施用后,可控制害虫种群的增加,但不能迅速消灭。

迄今合成的昆虫生长调节剂很多,保幼激素类似物已超过千余种。但具有杀虫剂基本条件的只是少数。蒙五一五 (Methoprene, Altosid, ZR515) 和敌灭灵 (Dimilin) 是最有希望实用的昆虫生长调节剂。其他两种保幼激素类似物AI 3-36206 AI 3-36093也有很高活性,已定为制蚊剂。

1. 蒙五一五 (Methoprene): 为最早用于灭蚊和成为商品的保幼激素类似物。无色液体,日光和高温都有影响,故残效甚短。原药无实用价值,蒙五一五ZR-10型微胶囊的残效期为10天到一个月以上。实验室对白纹伊蚊 (*Aedes albopictus*) 的 $EC_{50}$ 为0.0062ppm,对三带喙库蚊 (*Culex tritaeniorhynchus*) 的为0.00065ppm,而对盐泽伊蚊 (*Aedes sollicitans*) 和黑斑伊蚊 (*Aedes nigromaculis*) 的仅为0.0001ppm。在小规模的现场试验中,对一些伊蚊、库蚊、骚蚊 (*Psorophora*) 等有良好的防制效果,但不同试验结果,即便是同一种蚊虫,也往往因使用剂型及其他因素而有所差异。防制黑斑伊蚊和骚蚊的有效剂量为0.025磅/英亩 (约相当于1.9克/亩),对环附库蚊 (*Culex tarsalis*) 为0.1磅/英亩 (约相当于7.6克/亩)。蒙五一五在水中易破坏,对蚊幼的作用时期以四令为主。空中喷洒颗粒剂防制带喙伊蚊 (*Aedes taeniorhynchus*) 的有效剂量为0.011—0.0169磅/英亩。

以蒙五一五处理牲畜饮水,使浓度达到0.03ppm,可防制角蝇 (*Haematobia irritans*) 的羽化率为80%—99.8%。每日约服2毫克,安全无害,允许服用剂量为每日22.7—45.4毫克/100磅体重。用含有1%蒙五一五的药丸处理牲畜粪肥1—2次,在角蝇发生季节可控制繁殖,药效10—12星期。在水体中柳条鱼安全,除摇蚊外,对其他动物无大影响。对大白鼠口服致死中量为34600毫克/公斤。

2. 敌灭灵 (Dimilin): 其毒效比蒙五一五高,对淡色库蚊三令幼虫的 $EC_{50}$ 为0.35

ppb, 四令为0.62ppb, 对三带喙库蚊三令幼虫的为0.042ppb, 四令为0.060ppb。小规模现场试验, 防制环附库蚊的有效剂量为0.025 磅/英亩或0.04—0.45磅/英亩(可湿性粉, 对骚蚊仅为0.005磅/英亩(约相当于0.38克/亩)空中喷洒颗粒剂防制带喙伊蚊的有效剂量为0.014—0.029磅/英亩。用敌灭灵处理致乏库蚊卵, 其孵化率明显降低, 成蚊吃后所产的卵, 也有不能孵出现象。敌灭灵对家蝇和厩蝇(*Stomoxys calcitrans*) 有不育作用。有希望成为一种安全的蝇类不育剂。小白鼠口服致死中量为10000毫克/公斤。对虾、蟹等甲壳动物有害, 对水体中其他动物, 除摇蚊外, 无大影响。

3. AI 3—36206和AI 3—36093: 前者能抑制黑斑伊蚊幼虫羽化率的 EC<sub>50</sub> 为0.00093 ppm, 后者为0.009ppm。飞机喷洒AI 3—36206—4E制剂, 用量0.05磅/英亩, 三令和四令幼虫的防制效果为95%。AI 3—36206 对厩蝇的各个令期均有作用。对饲料表面喷雾, 能抑制成虫发育率达99%, 其性质稳定, 不易降解, 药效持久, 0.1%或1%浓度抑制成虫发育的有效期22天。

#### (八) 杀虫剂的剂型和应用

工业生产的杀虫剂有原粉和原油两种, 除个别原油可直接用于超低容量(Ultra low volume) 喷洒外, 一般必须制成适合的剂型和制剂, 方能应用。常用的剂型有粉剂、可湿性粉剂、乳油、烟剂、气雾剂、颗粒剂、超低容量制剂、控释剂(Controlled release formulation) 和缓释剂(Slow release formulation) 等, 制剂的品种则更为繁多。

粉剂适用于喷撒地面、床铺以灭蚤、臭虫、蟑螂、蟥、螨等, 或用于衣、被灭虱。药效持久, 皮肤不易吸收, 不污染衣物, 但作用较油、乳剂慢。

可湿性粉剂配制的水悬剂适于处理粗糙表面, 药物不易被表面吸收, 药效持久, 故常用于室内滞留喷洒, 但速效不如油、乳剂。

油、乳剂的穿透性好, 作用快、药效持久, 但易损坏油漆表面, 油剂易产生植物药害。

烟剂或热雾适于闭合空间和林区使用, 可大范围施放, 作用快速, 但无滞效, 在开阔地施放, 必须掌握气象条件, 并会利用地形和地势。

气雾剂是一种特制的杀虫制剂, 装于金属罐, 内含天然除虫菊素或拟除虫菊酯类杀虫剂等。作用快、效果好, 无刺激、无污染, 为室内速效杀虫的一种优良制剂, 但一般售价较贵, 无滞留杀虫作用。气雾剂亦可用小型特制喷雾器产生。

控释剂和缓释剂是通过特殊方法的处理, 将杀虫剂吸附于或包藏于某些载体内, 使之缓慢释放, 达到延长药效, 降低毒性, 减少环境污染的目的, 专用于杀灭水体蚊幼虫, 这是近年发展的新剂型。

超低容量制剂是一种专用于空间喷洒的高浓度油剂, 可大面积喷洒, 作用快、用量少、不用水, 但必须使用超低容量喷雾器喷洒, 方能使制剂雾化成大小适宜的雾粒, 均匀喷布于目标区。超低容量制剂必须具有适宜的粘度、适宜的挥发度、适宜的表面张力, 对植物无药害。这是随着超低容量喷雾新技术的应用而发展的新制剂。

杀虫剂只有通过剂型和制剂的合理配伍才能充分发挥应有的作用。