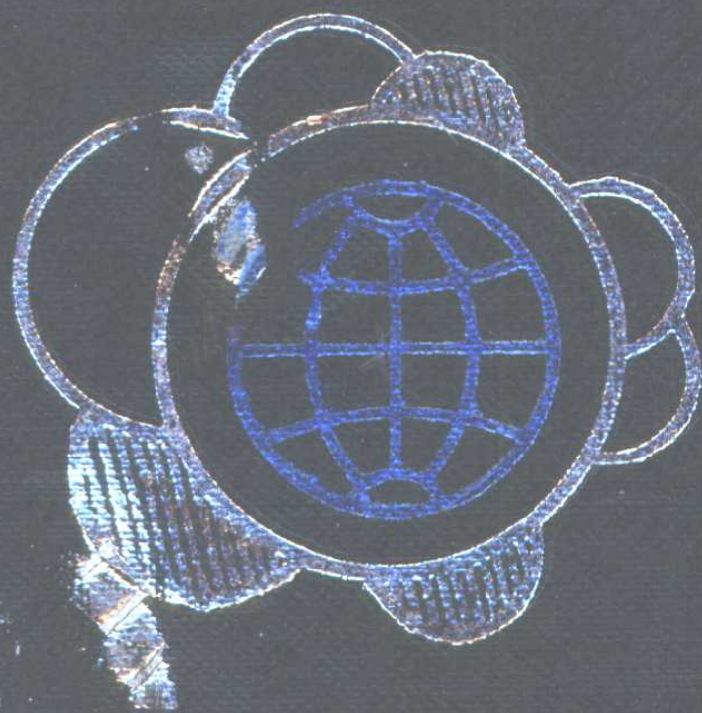


张宗炳 樊德方 钱传范 施国桢 著
农业出版社



杀虫药剂的 环境毒理学

杀虫药剂的环境毒理学

张宗炳 樊德方 著
钱传范 施国涵

农 业 出 版 社

杀虫药剂的环境毒理学

张宗炳 樊德方
钱传范 施国涵 著

* * *
责任编辑 杨国栋

农业出版社出版 (北京朝阳区枣营路)

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092mm16开本 25印张 1插页 571千字

1989年5月第1版 1989年5月北京第1次印刷

印数 1—1,270册 定价 15.70元

ISBN 7-109-00164-4/X·1

前 言

《杀虫药剂的环境毒理学》一书是《杀虫药剂的分子毒理学》的姐妹册。后者是从微观方面，从分子水平来阐明杀虫药剂的毒理机制的，前者是从宏观方面来叙述杀虫药剂在应用中对生态系统的影响的。

早期在使用杀虫药剂防治害虫时，也曾注意到在消灭害虫的同时，杀死了其他一些昆虫。杀虫药剂对蜜蜂的伤害一直是养蜂工作者的一个问题。在使用不当时，杀虫药剂还引起人畜的受害。鸟类因为间接吃了中毒昆虫而死亡的事例也早有报道。有些当时认为是安全的杀虫药剂，如 DDT，被发现能储存在脂肪内，并从乳汁中排出，因此，很早就提出了在乳牛身上禁止使用 DDT，防止牛乳中沾有 DDT。因此，早期的一些昆虫毒理学家曾注意及研究杀虫药剂对动物、植物、微生物的影响，但是，这些研究都是个别的，没有考虑到杀虫药剂对整个环境及生态系统的作用。

真正的环境毒理学是在六十年代初期出现的一门新兴科学。1962 年 R. Carson 写的《寂静的春天》一书是促成这门科学形成的主要动力。该书虽有一定的偏见，但却第一次唤醒人们注意到杀虫药剂对环境的不利影响——对环境的污染、对生态平衡的破坏、自然间野生动物的受害，甚至对人类的威胁，如致癌致畸等问题。

从六十年代起，由于当时其他环境科学的发展，环境毒理学很快就建立起来了，到 1974 年估计已有 4000 余篇文献。因为杀虫药剂对环境的污染、对生态平衡的破坏及对人类的为害，都是人们十分关注的问题，迫切需要了解与解决。这门科学实际上也获得了很大的成功，例如限制使用或禁用了 DDT，鉴定了多种杀虫药剂对动植物等的安全性，规定了多种杀虫药剂在植物及食物上的最高容忍量，试验测定了多种杀虫药剂的致癌、致畸及诱变作用，等等。总之，今天杀虫药剂的使用已多了一个考虑因素——对环境或整个生态系统的安全性。

由于杀虫药剂的环境毒理学的研究，也使今天的化学防治更为合理、有效与安全。一度对于化学防治的贬责，也由于环境毒理学的研究，提供了解决办法，而得到消除。今天，杀虫药剂又再度大发展，由 1975 年起到 1979 年，全世界销售量几乎增加了一倍（55 亿美元到 103 亿美元）。现在已到一百几十亿美元。

在我国杀虫药剂的环境毒理学从七十年代以来，同样有很大的发展，有许多研究报告及论文发表，但是，还缺少一本全面介绍的书籍。为此，我们在七十年代末动议组织人来写这样一本书，最后终于在今天，由我们四个人执笔成书，弥补了这一空白。

本书共分四部分，除了第一章绪论之外，第二、三、四、五、六章是叙述杀虫药剂在环境中的代谢，这是主要部分，因为杀虫药剂在环境中的残余量决定于其代谢（速率及方式）。第七、八、九章是叙述杀虫药剂在环境中的转移与分布，这是说明杀虫药剂如何造成了普遍性污染。第十、十一、十二、十三、十四章是叙述杀虫药剂对各类生物的影响的，也即对自然产

衡的影响。第十五、十六、十七、十八、十九章是叙述杀虫药剂在植物及食物上的残留量，它们如何影响人类的安全，第二十章是编辑临发稿前作者根据1982—1986年材料补写的。

因为这本书本身不是一个综述，因此，没有在每一章后列出所引文献。在第一章绪论中介绍了杀虫药剂环境毒理学的主要文献，读者可以依此作进一步阅读。

第一章、第七、八、九、十、十一章、第十四章、第十七、十八、十九、二十章由张宗炳（北京大学生物系）撰写，第二、三、四章、第十五章由樊德方（浙江农业大学植保系）撰写，第五章，第十六章由钱传范（北京农业大学土化系）撰写，第六章由施国涵（中国科学院环境化学研究所）撰写，第十二、十三章由施国涵、张宗炳合写。

作者中的三位都是专搞杀虫药剂的环境毒理学的，有很深的造诣及丰富的经验，而我却只是一个对环境毒理学有兴趣的一般毒理学工作者，作为主编显然这是不恰当的，但是，由于工作的需要及当时的安排，还是这样做了。因此，书中不免有错误及不足之处，都应该由主编者一个人负责。我们迫切希望读者提出批评与意见，以便需要时在第二版进行改正。

张宗炳

1984年2月

目 录

前言

第一章 绪论	1
一、化学防治与环境毒理学的起源	1
二、环境毒理学的具体研究内容	3
三、环境毒理学目前还存在的问题	4
四、杀虫药剂的环境毒理学的参考文献	4
第二章 杀虫药剂的降解与代谢 (I) 概论	8
一、概况	8
(一) 衍生	8
(二) 异构化	11
(三) 光化	11
(四) 裂解	11
(五) 耦合	12
二、农药在动物及昆虫体内的降解与代谢	12
(一) 氧化	12
(二) 还原	17
(三) 水解	18
(四) 耦合	20
第三章 杀虫药剂的降解与代谢 (II) 各类杀虫药剂在动物及昆虫体内的降解与代谢	26
一、有机氯杀虫剂	26
(一) DDT 及甲氧 DDT	26
(二) 六六六	28
(三) 艾氏剂、狄氏剂、异艾氏剂及异狄氏剂	29
(四) 氯丹和七氯等	30
(五) 其它有机氯杀虫剂	31
二、有机磷杀虫剂	31
(一) 敌百虫和敌敌畏	31
(二) 磷胺、百治磷和久效磷	32
(三) 杀虫畏和毒虫畏	34
(四) 甲硫磷	35
(五) 对硫磷、对氧磷及甲基对硫磷	35
(六) 杀螟松	37
(七) 倍硫磷	37
(八) 杀螟腈	38
(九) 丰索磷	38
(十) 二嗪农	38
(十一) 蝇毒磷	41

(十二) 草特磷	41
(十三) 辛硫磷	41
(十四) 内吸磷类	42
(十五) 地虫磷	42
(十六) 氯亚磷	42
(十七) 亚胺硫磷	42
(十八) 马拉硫磷	42
(十九) 谷硫磷	45
(二十) 杀扑磷	45
(廿一) 乐果	45
(廿二) 灭克磷	47
(廿三) 八甲磷	47
(廿四) 双硫磷	49
(廿五) 其他有机磷杀虫剂	49
三、有机氮杀虫剂	50
(一) 敌蝇威、异索威和噻啉威	50
(二) 氯灭杀威、除蝇威和叶蝉散	50
(三) 残杀威	51
(四) 灭害威、自克威	53
(五) 灭虫威	55
(六) 百亩威和呋喃丹	55
(七) 西维因	56
(八) 涕灭威和灭多虫	59
(九) 杀虫脒	61
四、拟除虫菊酯杀虫剂	62
(一) 丙烯菊酯	63
(二) 苯菊酯和胺菊酯	64
(三) 扑虫菊	64
(四) 除虫菊酯	64
(五) 苯呋菊酯	67
(六) 二氯苯醚菊酯	68
(七) 氯氰菊酯	68
(八) 溴氰菊酯	68
(九) 杀灭菊酯	71
五、鱼藤酮	73
六、杀螨剂	74
(一) 乙酯杀螨醇和丙酯杀螨醇	74
(二) 敌螨通	74
(三) 抗螨唑	74
(四) 抗螨脒	74
第四章 杀虫剂的降解与代谢 (Ⅲ) 在植物上	76
一、概论	76

二、在高等植物中杀虫剂主要的代谢形式与有关酶系	77
(一) 氧化	77
(二) 脱氯	80
(三) 还原	81
(四) 水解	81
三、有机氯杀虫剂在植物体上的降解与代谢	83
(一) DDT 与其类似物	83
(二) 六六六 (BHC)	86
(三) 艾氏剂、狄氏剂和异艾氏剂及异狄氏剂	86
(四) 氯丹和七氯等	88
四、有机磷杀虫剂在植物体上的降解与代谢	89
(一) 敌百虫和敌敌畏	89
(二) 久效磷	89
(三) 杀虫畏和毒虫畏	90
(四) 甲硫磷	91
(五) 对硫磷及甲基对硫磷	91
(六) 杀螟松	91
(七) 倍硫磷	91
(八) 丰索磷	91
(九) 二嗪农	91
(十) 辛硫磷	91
(十一) 内吸磷及类似物	91
(十二) 地虫磷	92
(十三) 氟亚磷	92
(十四) 亚胺硫磷	92
(十五) 马拉硫磷	92
(十六) 谷硫磷	92
(十七) 杀扑磷	92
(十八) 乐果	92
(十九) 克线磷	93
(二十) 安果	93
(廿一) 稻丰散	93
(廿二) 灭克磷	93
五、有机氮杀虫剂在植物体上的降解与代谢	94
(一) 涕灭威	94
(二) 氟灭杀威	95
(三) 合杀威	95
(四) 抗蚜唑	96
(五) 混杀威	96
(六) 灭多虫	96
(七) 杀虫脒	96
(八) 伐虫脒	97

(九) 呋喃丹	98
(十) 西维因	98
六、拟除虫菊酯类杀虫剂在植物体上的降解与代谢	98
(一) 二氯苯醚菊酯	98
(二) 溴氰菊酯	99
(三) 杀灭菊酯	101
七、其他杀虫剂	102
(一) 鱼藤酮	102
(二) 乙酯杀螨醇和丙酯杀螨醇	102
第五章 杀虫药剂的光解作用	103
一、概论	103
二、光化学反应	103
三、光化学反应的主要类型	105
(一) 分子重排和光异构化	105
(二) 光氧化	106
(三) 光水解反应	107
(四) 其他反应	108
四、光稳定性与农药的应用	109
第六章 杀虫药剂在土壤环境中的微生物降解	111
一、概论	111
(一) 杀虫剂在土壤环境中的持留性	111
(二) 影响杀虫剂持留性的因素	112
(三) 杀虫剂在渍水和非渍水土壤中稳定性的比较	112
二、杀虫剂在土壤环境中微生物的降解作用	113
(一) 土壤微生物降解的特点	113
(二) 土壤微生物对不同杀虫剂的降解	113
三、微生物降解机理	123
(一) 微生物降解的特点	123
(二) 杀虫剂的微生物代谢的一般分类	123
(三) 酶的降解作用	123
(四) 非酶解的作用	124
四、微生物的一般代谢作用方式	124
(一) 水解作用	124
(二) 还原作用	125
(三) 氧化作用	126
(四) 脱羧酸作用	126
(五) 其它的代谢作用	127
五、遗传工程在微生物降解上的运用	128
第七章 杀虫药剂的转移与分布 (I) 杀虫药剂在土壤及水中	130
一、概论	130
二、杀虫药剂在土壤中的移动	130
(一) 扩散	130

(二) 大量流动	134
(三) 杀虫药剂由土壤及水中进入大气中	137
三、土壤对杀虫药剂的保留及杀虫药剂的持久性	139
(一) 杀虫药剂在土壤中保留的决定因素	139
(二) 多次使用杀虫药剂的积累问题	141
四、土壤中杀虫药剂残余的防止与消除	142
(一) 防止措施	142
(二) 消除措施	142
五、水中杀虫药剂污染的防止与消除	145
(一) 化学氧化作用	145
(二) 吸附作用	145
第八章 杀虫药剂的转移与分布 (II) 杀虫药剂在大气中	148
一、概论	148
二、大气运动	148
(一) 大气结构	148
(二) 大气运动	149
(三) 降水运动	151
三、杀虫药剂进入大气	153
(一) 间歇性的进入	154
(二) 连续性的进入	157
四、杀虫药剂在大气中的存在	160
(一) 大气中杀虫药剂存在的毒理学意义	160
(二) 在雨水中的杀虫药剂量	163
五、杀虫药剂在大气中的变化	163
(一) 气体相与颗粒相的转变	164
(二) 化学降解及其他变化	164
(三) 消除过程	164
(四) 重新分布	165
第九章 杀虫药剂的转移与分布 (III) 生物的传带, 杀虫药剂残余在环境中的动力学	167
一、概论	167
二、杀虫药剂在生物体间的传播, 食物链	167
(一) 生态系统	168
(二) 生物浓缩现象	169
(三) 影响生物浓缩的因素	169
三、动物的迁移造成杀虫药剂的散布	171
(一) 接触浓度或取食量对于杀虫药剂在组织中的量的关系	172
(二) 接触或取食时间对于杀虫药剂在组织中量的关系	172
(三) 杀虫药剂在体内各种组织间的关系	173
(四) 在接触或取食停止后, 体内杀虫药剂的量的变化	173
(五) “区间分布”分析	174
四、人的传带	176
五、杀虫药剂残余在环境中的动力学	176

六、大气传、播水的传带及生物传带间的相互关系	181
第十章 杀虫药剂残余对土壤生物的影响	185
一、概论	185
二、杀虫药剂对土壤微生物的影响	185
(一) 有机氯杀虫药剂	185
(二) 有机磷杀虫药剂	187
三、杀虫药剂对土壤内小型节肢动物的影响	188
(一) 有机氯杀虫药剂	188
(二) 有机磷杀虫药剂	189
(三) 氨基甲酸酯类	191
四、杀虫药剂对土壤大型节肢动物的影响	191
(一) 昆虫纲	191
(二) 唇足纲	193
(三) 综合亚纲	194
(四) 倍足纲	194
(五) 螨线亚纲	195
(六) 蜘蛛纲	195
五、杀虫药剂对土壤内环节动物、软体动物及线性动物的影响	195
(一) 环节动物	195
(二) 软体动物	199
(三) 线形动物	200
第十一章 杀虫药剂对于农田、果园及森林中的动物相的影响	202
一、概论	202
二、作物生态系统	204
(一) 棉田生态系统	204
(二) 菜田生态系统	205
(三) 苜蓿及其他饲草生态系统	205
三、果园生态系统	206
(一) 苹果园	206
(二) 柑桔园	211
四、森林生态系统	212
(一) DDT 的效应	213
(二) 有机磷杀虫药剂的效应	214
五、对蜜蜂的影响	215
第十二章 杀虫药剂对水生动物相的影响 (鱼类除外)	217
一、概论	217
二、杀虫药剂进入水中的途径	217
三、杀虫药剂在水域中的积存和持久性	218
四、杀虫药剂在水生生态系统中的作用	222
五、森林与作物地上喷洒杀虫药剂对水生生物的影响	223
(一) 水生节肢动物	223
(二) 软体动物	226

(三) 环节动物	227
六、水区直接喷洒 (防治蚊、蚋幼虫) 对水生生物的影响	227
(一) 灭蚋试验	227
(二) 灭孑孓试验	227
七、杀虫药剂污染海湾及海水时对水生生物的影响	233
(一) 甲壳纲	234
(二) 软体动物	236
(三) 对于浮游植物的影响	236
第十三章 杀虫药剂对鱼类的影响	240
一、概论	240
二、杀虫药剂在鱼体内的残留量的影响因素	240
(一) 鱼体本身脂肪含量、营养水平以及存在环境的不同	240
(二) 残留量由于农药溶解度、化学结构、以及农药间相互作用的不同	241
(三) 鱼种不同, 代谢能力不一样	241
(四) 鱼体残毒积累与排出	241
(五) 抗性	242
三、杀虫药剂对鱼的毒性	243
四、杀虫药剂对鱼类的生理生化效应	244
(一) 行为变化	244
(二) 生理变化	244
(三) 代谢转化	245
(四) 胆碱酯酶的抑制作用	245
五、鱼体内不同杀虫药剂的残留	246
(一) DDT、甲氧 DDT、六六六的残留量	246
(二) 鱼体内环戊二烯类杀虫药剂的残留量	252
(三) 鱼体内有机磷杀虫药剂残留量	253
六、各类杀虫药剂对鱼类的危害	253
(一) 有机氯杀虫药剂对鱼类的危害	253
(二) 其他杀虫药剂对鱼类的危害	261
(三) 杀虫药剂对于海产鱼类的影响	265
第十四章 杀虫药剂对鸟类、兽类及其他脊椎动物的影响	267
一、概论	267
二、杀虫药剂对鸟类的影响	267
(一) DDT对鸟类的影响	267
(二) 环戊二烯类杀虫药剂的影响	271
(三) 开蓬及灭蚊灵的影响	274
(四) 有机磷杀虫药剂对鸟类的影响	274
(五) 氨基甲酸酯类的影响	278
(六) 有机氯杀虫药剂对卵壳厚度的影响	278
三、其他杀虫药剂对鸟类的效应	282
四、杀虫药剂对兽类的影响	282
(一) DDT	282

(二) 环戊二烯类杀虫剂	285
(三) 有机磷杀虫药剂	285
(四) 氨基甲酸酯类	286
五、杀虫药剂对于两栖类及爬行类的影响	286
(一) 有机氯杀虫药剂	286
(二) 有机磷及氨基甲酸酯类	288
第十五章 杀虫药剂残留量的测定技术	289
一、概论	289
二、提取技术	289
(一) 消化	289
(二) 萃取	289
(三) 组织捣碎	289
三、净化技术	290
(一) 皂化法	290
(二) 氧化法	290
(三) 磺化法	290
(四) 丙酮沉淀法	291
(五) 液-液分配法	291
(六) 薄层层析法	294
(七) 柱层析法	295
四、测定技术	296
(一) 层析法	296
(二) 光谱分析法	301
(三) 其他测定方法	302
第十六章 杀虫药剂在植物中的残留	305
一、概论	305
二、影响杀虫药剂在作物上残留的因素	307
(一) 农药本身的理化性质	307
(二) 施药方法和施药部位	308
(三) 作物	308
(四) 环境因子	309
(五) 施药量、施药次数和施药时期	309
(六) 降解	309
三、几种主要类型杀虫药剂在作物上的残留及控制	312
(一) 含金属元素的药剂	312
(二) 有机氯杀虫剂	313
(三) 有机磷杀虫药剂	316
(四) 氨基甲酸酯类杀虫药剂	318
(五) 其他杀虫药剂	320
第十七章 杀虫药剂污染进入生物体内的途径及食物链	323
一、杀虫药剂污染的一般情况	323
(一) 在土壤中的杀虫药剂残余	323

(二) 在空气中的杀虫药剂残余	325
(三) 在河流及其他水域中的杀虫药剂残余	327
(四) 在海洋中的杀虫药剂残余	329
(五) 在生物体内的杀虫药剂残余	329
二、杀虫药剂进入生物体的途径	329
(一) 由水中进入生物体内	329
(二) 由土壤中进入生物体内的杀虫药剂	332
(三) 由空气中进入生物体内的杀虫药剂	332
三、食物链与杀虫药剂的生物浓缩	333
(一) 淡水(河流湖泊)中的食物链及生物浓缩问题	333
(二) 陆地的食物链及生物浓缩	334
(三) 海洋的食物链与生物浓缩	335
第十八章 杀虫药剂在人体内及人类食物中的残余	337
一、杀虫药剂在人体内的残余	337
(一) 目前人体内杀虫药剂残余量的一般情况	337
(二) 人体内杀虫药剂残余的来源	337
(三) 杀虫药剂残余量的影响因素	339
二、杀虫药剂在人类食物中的残留量	341
(一) 每人每日允许摄食量的规定	343
(二) 人类食物中杀虫药剂残留量的一般情况	343
(三) 在美国的食物上杀虫药剂残留量的一般情况	344
(四) 在我国杀虫药剂在食物中残余的情况	348
(五) 如何减少食物中杀虫药剂的残留量及减短其残留期	349
第十九章 杀虫药剂对人类的危害	351
一、概论	351
二、急性中毒	351
三、慢性中毒	352
四、细微效应	353
(一) 组织病变	353
(二) 生化改变	354
五、三致问题(致癌、诱变与致畸)	357
(一) DDT 及其类似物	357
(二) 六六六	358
(三) 狄氏剂、艾氏剂及环戊二烯类	358
(四) 灭蚊灵、杀螨特与开蓬	359
(五) 有机磷杀虫药剂	359
(六) 氨基甲酸酯类	360
(七) 化学不育剂	361
(八) 植物性杀虫药剂	361
六、杀虫药剂对人类的危害的分析	362
(一) 人体内杀虫药剂的残余量、分布及影响因素	362
(二) 人体内杀虫药剂的变化	362

(三) 人类取食的杀虫药剂量	363
(四) 安全的鉴定	364
第二十章 补记	367
一、DDT	367
二、六六六及环戊二烯类杀虫剂	369
三、拟除虫菊酯	374
四、杀虫脒	377
五、灭幼脲	378
六、拒食剂	380
后记与展望	384

第一章

绪 论

一、化学防治与环境毒理学的起源

在人类与昆虫的斗争中，很早就用过化学防治法，也就是杀虫药剂应用的开始，据说在古罗马时期曾经有人提出过用砷素剂这类化合物来杀虫，但是，真正最早应用化合物杀虫的记录是十六世纪末叶在中国，应用的也是砷素剂这类化合物（雄黄、信石）。实际上，在这时期就应该开始有环境毒理学的研究，因为所有的砷素剂都是持久性的，在环境中长期存在，影响到植物生长及对很多种动物有毒。但是，当时人们根本没有注意，它们对环境的不良副作用，并且一直沿用下来。虽然砷素剂的种类有了些改变（使其对植物更安全些，例如用了砷酸铅、砷酸钙等），但是，不良副作用始终存在着。到1968年，有人在加拿大的果园里调查土壤中的砷含量，竟存有1.1—121.0ppm之多（砷素剂在土壤中的残留期经测定是40年），足以影响植物的生长发育。杀虫药剂的早期应用并不曾伴随着环境毒理学的研究！

1940年以后，DDT发展了，接着六六六、有机磷杀虫药剂、氨基甲酸酯类有机杀虫药剂逐一发现，它们的高度有效性，以及与砷素剂等相比，对人畜的毒性较低（有些有机磷化合物及氨基甲酸酯例外），对植物也比较安全，使它们很快地取代了砷素剂。到目前，全世界已有将近1000多种的有机杀虫药剂，其中有250种是常用的，包括100多种杀虫剂及杀螨剂，还有50多种除草剂，50多种杀菌剂，20多种杀线虫剂，以及30多种其他农药。

这些新型的杀虫药剂在害虫防治上曾起了很大的作用，据1953年Knippling的估计，在1940—1950年期间，DDT的应用曾挽救了五百万人的生命，防止了一亿人口由昆虫传播而发生的疾病（如疟疾、伤寒、霍乱、痢疾等）。在农业上，有人估计，应用了这些杀虫药剂后，每年的损失在美国为40亿元（美元），全世界为210亿元（美元），如不用这些杀虫药剂，损失将为天文学数字。估计每年挽回的损失为全部生产值的30%左右。因此，DDT等杀虫药剂在早期的卫生害虫及农业害虫的防治上是有功的。

虽然，早期人们就知道DDT、六六六等有机氯杀虫药剂有很长的持久性，但是，对其可能引起不良的生态学影响却未有注意。在当时虽有报道，例如，在牛乳中找到有DDT的残留量，在苜蓿等饲草上有DDT残留量等，在防治疟蚊对沟池中施药时，发现有鱼类的死亡，以及土壤中积存一定量的DDT等，却认为这些副作用是微不足道的，是防治害虫不可避免的，因而没有引起足够的重视。

在五十年代后期及六十年代早期，关于杀虫药剂的残毒问题的文献大量出现，有许多工作者报道了鸟类死于喷洒了杀虫药剂的田地及林区中，也有鸟类吃了拌杀虫药剂的种子而

死亡的情况。在喷洒杀虫药剂的田地上，由于雨水淋洗进入溪流中引起鱼类大批的死亡也有发现。同时，发现了许多动物（包括人类）体内都有 DDT 及六六六等的残留，有些在食物链的高级营养水平上的动物，体内积存量可以很高。这一系列的发现，使我们初次认识到，这些持久性杀虫药剂的长期不良副作用是相当严重的，而这时期杀虫药剂的使用还在增加（在美国 1954 年杀虫药剂的生产量是三亿磅*，到 1973 年，增加到十二亿磅）。

终于人们在这时候认识到了，杀虫药剂对环境的影响，对生态系统的影响。进一步的研究证实了这时期象 DDT 这类杀虫药剂的污染已经十分普遍。全世界没有一个角落里，没有一个动物体内没有 DDT 的残余，1966 年有人说过，“只要是一个好的杀虫药剂分析家，用最精密的仪器及手段，可以测出任何给他的样品中，都有杀虫药剂的残余”。

从 1966 年开始，人们就要求一个没有杀虫药剂污染的环境，提出了对杀虫药剂残余量的监测及某些杀虫药剂的禁用。既然放射性同位素可以监测，以防止受害，那么现在就应该对杀虫药剂的残余量也进行监测。有些杀虫药剂既然持久性这样长，不能避免其长期污染，就应该予以限制使用或甚至禁用。就在这个时期，许多国家的政府都采取了这两方面的措施，对目前杀虫药剂的污染情况进行了普遍调查，测定了各种农药的污染程度，及污染造成的危害（即其生物学意义）。例如，美国在 1970 年成立了环境保护局（Environmental Protection Agency，简称 EPA），美国的鱼类及野生动物组织、卫生部及农业部都成立了专门对环境毒理研究的机构。其他国家也有相应的措施，我国早期在国务院领导下有环境保护委员会，现在成立了城乡建设环境保护部，其中都有一部分是涉及到杀虫药剂的环境污染的防止问题（对于杀虫药剂及其他农药对环境的污染，根据环境毒理学的研究，提出了一些措施，如农药污染监测、残留量的规定，1983 年禁用了 DDT 及六六六等有机氯杀虫药剂）。

但是，杀虫药剂还必须要用，在目前的害虫防治中，化学防治还是主要的防治方法，80—90% 的卫生及农业害虫还必须依赖它来防治。从 1966 年开始，昆虫学家曾转而研究各种非化学防治法——生物防治法、农业防治法（如利用抗性品种），遗传不育防治法等。十多年来虽然有了很大进步，也显示有很大希望，但是整个说来，这些方法或是只在特殊情况下有用，或是还不完全稳定、可靠、有把握，或是只能作为综合防治中的一部分。目前，化学防治还不可能被取代，甚至于将来，化学防治法也将永远存在，可能所用的杀虫药剂会有一些改变（残留期较短，选择性更强等）。

必须认识，一方面我们提出了杀虫药剂污染环境这一事实，但是，另一方面把环境污染完全归于杀虫药剂乃是错误的。目前，化学工业、钢铁工业及其他工业方面造成的污染比杀虫药剂的污染要严重得多。同样地，把破坏生态平衡的错误完全归之于杀虫药剂也是错误的。有一位著名的环境毒理学家 C. A. Edwards 写道：“避免破坏自然平衡的一些说法全是无意义的……，人们的各种活动都会破坏自然平衡。杀虫药剂常被指责为杀死大量的野生动物。实际上，土地的开垦，水道的改变及利用等可能比杀虫药剂产生更严重的后果。现在，显然不应使各种动植物的生存处于不利的地位，但是应该记得，只有濒临绝种的那些种类才会受杀虫药剂的影响而被消灭”。应该记得，在一个地区，杀虫药剂的污染情

* 1 磅 = 0.4536 公斤