

N 农药 健康
ONGYAO JIANKANG

生态环境
SHENGTAIHUANJING

白乃彬 编著

中国环境科学出版社

农药·健康·生态环境

白乃彬 编著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

农药·健康·生态环境 / 白乃彬著. —北京: 中国环境科学出版社, 2005.4
ISBN 7-80209-093-8

I. 农… II. 白… III. 农药—基本知识 IV. S48

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 027840 号

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.cn>
电话 (传真): 6711 2734

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2005 年 7 月第一版
印 次 2005 年 7 月第一次印刷
印 数 1—2 000
开 本 850×1168 1/32
印 张 7
字 数 160 千字
定 价 20.00 元

【版权所有, 请勿翻印、转载, 违者必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

■ 目录

第一章 农药无处不用	1
一、农药在农业中的使用	3
二、农药在畜牧业和渔业中的使用	19
三、林业	23
四、公园和运动场	26
五、杀菌剂和木材防腐	28
六、工业制品	32
七、居室和庭院花园	34
八、其他方面	39
第二章 农药对人体健康的影响	43
一、高剂量、短期作用对健康的影响	44
二、低剂量、长期作用对健康的影响	60
三、环境激素的风险	80
四、对用户家庭的风险	88
第三章 农药的公众健康风险	91
一、风险	92
二、风险评价方法：毒理学和流行病学	99
三、使用农药对消费者和一般居民的风险	114
四、使用农药对孩子们的风险	133

第四章 农药与人类生存环境	139
一、水循环	141
二、水污染源	147
三、水域中的农药	148
四、水污染的种种污染源	152
五、土壤中的化学品	169
六、大气中的农药	172
第五章 农药与生态系统	176
一、农药对生态系统的影响	176
二、生态毒理学与生态风险性评价	193
三、使用农药对野生生物和环境的风险	207
四、起环境激素作用的某些农药对生物的影响	215

■ 第一章

农药无处不用

你用过农药吗？

如果你是一个菜农，你一定回答：常用，特别是每年4至6月经常用除虫剂为菜除虫。如果你是一个粮农，你一定回答：常用除草剂为粮田除草。如果你是一个牧民，你一定回答：常用消毒杀菌剂为牲畜防疫。如果你是一个林场工人，你一定回答：常用杀菌剂育苗，用除虫剂扑灭虫害。如果你是一个城市居民，你可能迟疑一下，然后说：我见过园林工人驾车给路旁树木喷农药，不小心还洒了我一身。如果你是一个城市家庭妇女，可能连连摇头，然后反问，我用过耗子药灭鼠，不知算不算农药？其实，有时你用了农药，自己还不知道。例如时髦女子每天化妆，岂不知化妆品内经常含有羊毛脂，羊毛出在羊身上，羊又接触农药，因此化妆品也含有农药残留。现代所谓的农药（农用化学品），已经不仅是传统的杀虫剂了，它是一个大家族，现在还包括除草剂、杀菌剂、除螨剂、灭鼠剂和生长调节剂等几大分支（见图1-1）。

农药，用于除害虫，杀菌、灭鼠、除螨和调节作物生长，不但农村专业户用，社会公众也用（但剂量低且包装小）；不但农业用、畜牧业用、林业用、园林用、工业、建筑业、宠物、家庭户内和庭院花园也用，总之，日常生活，无处不用（见图1-2）。

2011/6/4

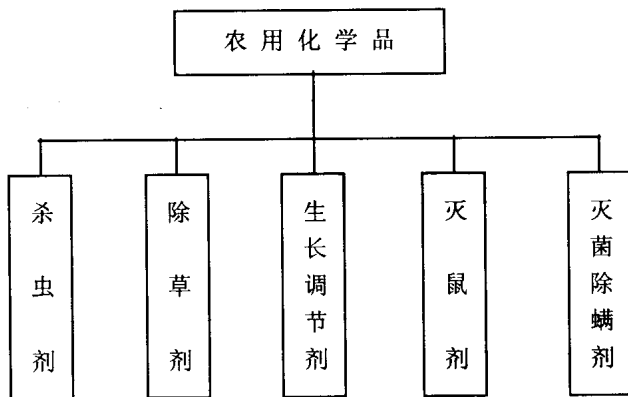


图 1-1 农药（农用化学品）分类

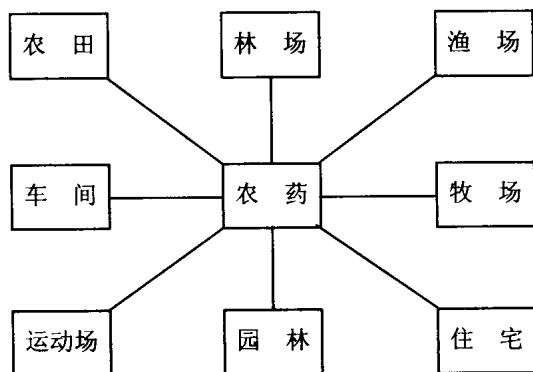


图 1-2 农药的应用领域

农药之所以特殊，在于它们对生物系统能显示活性，或促其生长，或使其毙命。有的农药应用领域，社会公众一眼就能看到，如向田里庄稼喷洒农药。但有的应用领域老百姓却所知

甚少：如除螨以保护地毯；再如灭鼠农药杀鼠灵和抗凝血药是同一化学品，有时杀鼠，有时治病，不同剂量，作用不同。

一、农药在农业中的使用

现代农业使用农药的量很大，品种繁多，而且地域分布范围广。经济越发达的地区，使用农药越多。在发达国家，超过99%的谷物使用过农药；接近99%的土豆、甜菜和豆子使用过农药；近94%的蔬菜使用过农药；近92%的果树使用过农药。如此等等。我国是农业大国，每年平均发生病虫害约1.8亿 hm^2 次，解放后开始施用农药，从零起步，农药使用量逐年增多。20世纪80年代，每公顷土地农药用量为4.65kg；1990年代增加到15.9kg以上，增加了两倍多。2000年，全国农业使用农药为23万t左右，每公顷使用农药24.2kg。（见图1-3）其中，杀虫杀螨剂占62%；杀菌剂占21%；除草剂占17%；杀鼠剂和植物生长调节剂所占比例很小（见图1-4）。至今农药每公顷用量近30kg；其防治面积达1.5亿 hm^2 左右，约占总面积的85%；每年可挽回粮食损失200亿~300亿kg。可谓功不可没。

值得注意的是：我国许多粮食高产区也是农药的高施用量区，其用量大大超过世界平均用量水平，农药污染相当严重。据2000年23个省市不完全统计，农业环境污染事件达891次，污染农田4万 hm^2 ，损失达到2.2亿元。也可谓过也不能忽视！

现举辽宁省的一个例子。2000年辽宁省作物种植面积约为367万 hm^2 ，而全省病虫草鼠害发生面积1097.9万 $\text{hm}^2 \cdot \text{次}$ ，防治面积994.9万 $\text{hm}^2 \cdot \text{次}$ ，挽回粮食损失16.87亿kg，挽回水果损失4.4亿kg，挽回蔬菜损失28.23亿kg，增加经济效益50亿元。2000年使用农药总计22250t，销售额45565万元；其中杀虫、杀螨剂10560t，销售额17316万元，占38%；杀菌剂5535t，

销售额 11 189 万元, 占 24.6%; 除草剂 6 020t, 销售额 15 120 万元, 占 33.2%; 生长调节剂 85t, 销售额 1 780 万 t, 占 3.9%; 杀鼠剂 55t, 销售额 160 万元, 占 0.3% (见图 1-5)。这些数据可见目前我国农业使用农药的用量大, 品种复杂, 地域分布范围广。

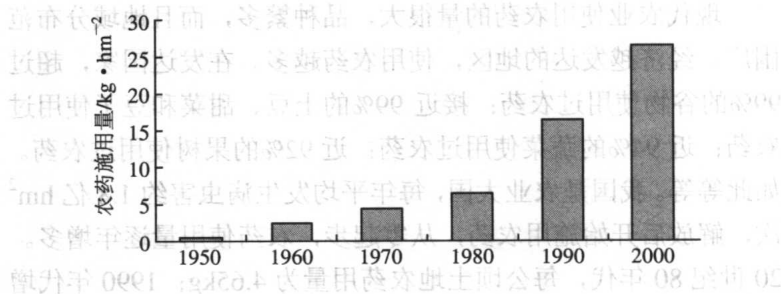


图 1-3 我国农田上世纪 50、60、70、80、90 年代和 2000 年农药每公顷施用量增长图

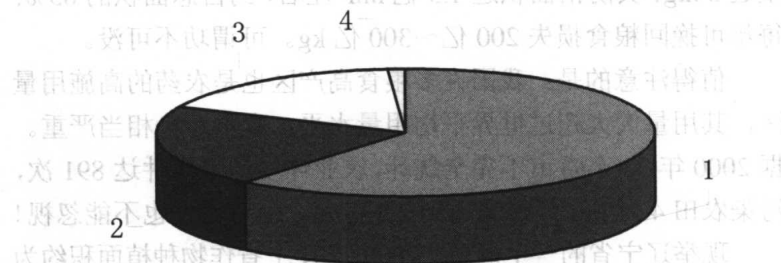


图 1-4 我国不同种类农药应用比例图

(1) 杀虫杀螨剂占 62%; (2) 杀菌剂占 21%;
(3) 除草剂占 17%; (4) 杀鼠剂和生长调节剂约占 1%

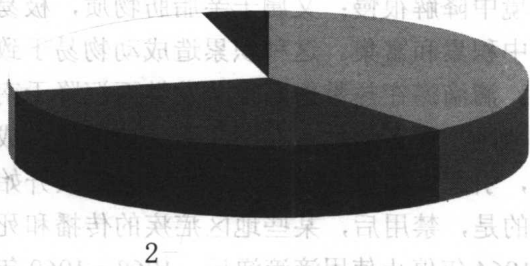


图 1-5 辽宁省不同种类农药应用比例图

- (1) 杀虫杀螨剂: 38.8%; (2) 除草剂: 33.2%; (3) 杀菌剂: 24.6%;
(4) 生长调节剂: 3.9%; (5) 杀鼠剂: 0.3%

1. 滴滴涕的功过之争

1872 年瑞士科学家奥特马尔·蔡德勒首次合成了双氯苯基三氯乙烷, 一直不知道它有什么用; 六七十年后, 化学家米勒教授发现它有强烈的杀虫作用, 并依此开发出能实用的农药, 即滴滴涕, 用于灭蚊, 使成千上万的劳苦大众免于疟疾, 把他们从死亡线上拉了回来。例如, 1943 年委内瑞拉因疟疾死亡了约 82 万人, 使用滴滴涕后, 1958 年因疟疾死亡了仅 800 人。土耳其, 1950 年因疟疾死亡 119 万人, 使用滴滴涕后, 1969 年下降为 2 173 人。斯里兰卡情况的前后对比为, 1946 年 28 万人, 1963 年为 17 人。实在是造福不浅! 因此, 1948 年, 米勒教授戴上了诺贝尔奖金的桂冠。由于滴滴涕能免除蚊虫对家畜的叮咬, 还有促进畜产品生产之利, 如买 1 美元滴滴涕去消

灭牛栏中的蚊虫，可增加 4 美元的牛奶产量。而肉牛，由于没有蚊虫干扰而感到舒服，平均每头牛增加肉产量约 20kg。

但是 10 余年后，人们发现滴滴涕有一定的急性毒性，特别是在环境中降解很慢；又属于亲脂肪物质，极易在动物和人体脂肪中积累和富集。这种积累造成动物易于致癌，致畸和性畸变。滴滴涕在热带向高空蒸发继而沉降于南、北极及高山寒冷地区，许多物种正在因此而走向灭绝，成为全球性环境问题，引起人类极大忧虑。许多国家陆续开始禁用滴滴涕。不幸的是，禁用后，某些地区疟疾的传播和死亡率又重新抬头：1964 年停止使用滴滴涕后，1968—1969 年世界疟疾死亡人数又达到 250 万。目前许多热带地区的第三世界国家仍然广泛使用滴滴涕。

为了使读者对滴滴涕的性质有个粗略地了解，将其物理化学性质列于如下专栏中：

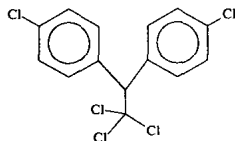
农药滴滴涕的物理化学性质

中文名称：滴滴涕（DDT）

英文名称：2, 2-bis(4-Chlorophenyl)-1, 1, 1-trichloroethane

别名：2,2-双（4-氯苯基）-1,1,1-三氯乙烷

CAS 号：50-29-3 结构式：



分子式： $C_{14}H_9Cl_5$

分子量：354.5

（1）外观与性状：

DDT 化合物所有异构体都是白色结晶状固体或淡黄色粉末，无味，几乎无嗅，蒸汽压： $2.53 \times 10^{-8} \text{kPa}$ （20℃），闪点：

72~77℃；熔点：108~109℃；沸点：260℃，溶解性：DDT 在水中极不易溶解，在有机溶剂中的溶解情况如下（g/100ml）：苯为 106，环己酮为 100，氯仿为 96，石油溶剂为 4~10，乙醇为 1.5、其密度为 1.55g/ml（25℃）；稳定性：DDT 化学性质稳定，在常温下不分解。对酸稳定，强碱及含铁溶液易促进其分解。当温度高于熔点时，特别是有催化剂或光的情况下，p,p'-DDT 经脱氯化氢可形成 DDE。

主要用途：用作农用杀虫剂。

（2）健康毒理学数据：

急性毒性：

1 次婴儿经口，发现的最低致死剂量为 150mg/kg；

大鼠经口 LD₅₀：113mg/kg；小鼠经口 LD₅₀：135mg/kg；

大鼠经皮 LD₅₀：2 500mg/kg，根据现行毒性标准为高毒。

亚急性毒性：

41~80mg/（kg·d），狗经口，39 至 49 个月内，全部死亡；21~40mg/（kg·d），狗经口，39 至 49 个月内，25%死亡；41~80mg/（kg·d），猴经口，70 天内，全部死亡。

（3）生态毒理数据：

0.0001mg/L，3h，水蚤，致死；0.0001mg/L，淡水鲑，致毒；0.0004mg/L，48h，水蚤，LC₅₀0.001mg/L，96h，胭脂鱼，致死；0.001mg/L，48h，淡水鲑，致死；0.001mg/L，48h，水藻，破坏光合作用；0.0021mg/L，48h，鲑鱼，致死；0.0025mg/L，96h，斑鱒，致死；0.003mg/L，4h，小虾，致死；0.008mg/L，96h，中弓鱼、鱒，致死；0.01mg/L，24h，鳊鱼，致死；0.016mg/L，96h，王大马哈鱼，致死；0.027mg/L，96h，鲫鱼，致死；0.044mg/L，96h，银鱒鱼，致死。

慢性毒性：人群慢性中毒症状有食欲不振，上腹及右肋部疼痛，并有头痛、头晕、肌肉无力、疲乏、失眠、视力及语言障碍，震颤、贫血、四肢深反射减弱等。有肝肾损害、皮肤病变、心脏有心律不齐、心音弱、窦性心动过缓、束支传导阻滞及心肌损害等。

致癌：11~20mg/(kg·d)，小鼠经口，2年，肝肿瘤危险性提高4.4倍，0.16~0.31mg/(kg·d)，小鼠经口，2代，雄性肝肿瘤危险性增加2倍，雌性中未变。用DDT、DDE和DDD在小鼠中（在大鼠中也有可能）诱发出了肝肿瘤。

滴滴涕（4,4'-DDT和4,4'-DDE）是大范围存在的环境污染物，它们可使鸟类蛋壳变薄，美洲鳄鱼性别比例失调，啮齿动物雄性生殖器退化。给百慕大海燕喂养含DDT和DDE的头足类食物，生殖能力降低，死亡幼鸟含有平均6.4mg/kgDDT及其代谢产物。DDT对鱼有高毒性，并且能杀死广泛分布的鸟类，这是由于DDT通过食物链被生物积累，也就是说，通过吃含DDT的鱼和蚯蚓而被积累，一个主要的环境问题来自于DDE对猛禽蛋壳形成有特殊影响。这种积累使得蛋壳变薄了10%~15%，而易于破损。

2. 难降解农药在粮食、水果和蔬菜上的残留

杀虫剂使用的弊端，除了作物生长期使用非常频繁和在收获之前农药持续使用时间很长之外，重要的问题在于农药的毒性有多大，是否难降解，哪些在自然条件下难以降解的农药在作物上有多少残留。如果农药使用多而频繁，但易于降解，在作物上，特别是其果实上残留不多，对消费者健康倒也没有多大关系。事实如何呢？发达国家的情况要好一些，美国测试了13400个作物样品，发现超过80%的样品检测不出农药残

留；英国最近进行了调查发现有 73% 的粮食作物检测不出农药残留，仅有 1% 的粮食作物实际上超过了最大残留水平 (MRL)。蔬菜和水果的情况比较严重一些。美国旧金山调查了 71 种蔬菜和水果样品，发现有 44% 样品存在 19 种不同种类的农药残留。而该市的粮食作物仅有 7%~20% 的样品有农药残留。水果在收获之后，有的需要存储较长时间才能卖到消费者手中，例如第二年夏天我们还能吃到头一年秋天采摘下来的苹果和梨子，因此不可避免地要使用杀菌剂类型的保鲜剂，其外皮和肉必有农药残留。我国粮食、水果、蔬菜上的农药残留的情况目前要更为严重一些，详情见后。

滴滴涕，是个在自然条件下难降解的典型。下面就介绍一下它的降解和积累、残留特性。

代谢和降解：DDT 在人体内的降解主要有两个方面，一是脱去氯化氢生成 DDE。在人体内 DDT 转化成 DDE 相对较为缓慢，3 年间转化成 DDE 的 DDT 还不到 20%。从 1964 年对美国国民体内脂肪中贮存的 DDT 调查表明，DDT 总量平均为 10mg/kg，其中约 70% 为 DDE，DDE 从体内排出尤为缓慢，生物半减期约需 8 年。DDT 还可以通过一级还原作用生成 DDD，同时被转化成更易溶解于水的 DDA 而使其消除，它的生物半衰期只需约 1 年。

环境中的 DDT 或经受一系列较为复杂的生物学和环境的降解变化，主要反应是脱去氯化氢生成 DDE。DDE 对昆虫和高等动物的毒性较低，几乎不为生物和环境所降解，因而 DDE 是贮存在组织中的主要残留物。

在生物系统中 DDT 也可被还原脱氯而生成 DDD，DDD 不如 DDT 或 DDE 稳定，而且是动物和环境中的降解途径的第一步。DDD 脱去氯化氢，生成 DDMU[化学名称：2,2-双-(对氯苯基)-1-氯乙烯]，再还原成 DDMS[化学名称：2,2-双-(对氯苯基)-1-

氯乙烷],再脱去氯化氢而生成 DDNU[化学名称:2,2-双-(对氯苯基)-乙烷],最终氧化成 DDA[化学名称:双-(对氯苯基)乙酸]。此化合物在水中溶解度比 DDT 大,而且是高等动物和人体摄入及贮存的 DDT 的最终排泄产物。在环境中,DDT 残物可被转化成对-二氯二苯甲酮。

DDT 也可被微粒氧化酶进行较小程度的降解,在 α -H 位置上发生反应,生成开乐散。最近,已发现一个新的厌氧降解途径,尤其是在污泥中可被细菌转化成 DDCN[化学名称:双-(对氯苯基)乙腈]。

DDT 在土壤环境中消失缓慢,一般情况下,约需 10 年。

最近研究结果证明 DDT 在类似高空大气层实验室条件下,可降解成二氧化碳和盐酸。

残留和蓄积:DDT 有较高的稳定性和持久性,用药 6 个月后的农田里,仍可检测到 DDT 的蒸发。DDT 污染遍及世界各地。从漂移 1 000km 以外的灰尘到从南极融化的雪水中都可检测到微量的 DDT。一般情况下,非农业区空气中的 DDT 的质量浓度范围为小于 $1\sim 2.36\times 10^{-6}\text{ng/m}^3$,农业居民区其质量浓度范围为 $1\times 10^{-6}\sim 22\times 10^{-6}\text{ng/m}^3$,在开展灭蚊喷雾的居室内 DDT 的质量浓度更高,据记录高达 $8.5\times 10^{-3}\text{mg/m}^3$ 。

在农业区和边远的非农业区内,雨水中 DDT 的质量浓度往往都在同一数量级内($1.8\times 10^{-5}\sim 6.6\times 10^{-5}\text{mg/L}$)。这表明该种化合物在空气中的分布是相当均匀的。地表水中 DDT 的质量浓度与雨水和土壤中 DDT 含量水平有关。美国在 1960 年饮用水中检测出的最高质量浓度可达 0.02mg/L 。

未施 DDT 的土壤中发现的 DDT 含量为 $0.10\sim 0.90\text{mg/kg}$,只比施 DDT 后 10 年或 10 年以上的土壤中含量 ($0.75\sim 2.03\text{mg/kg}$)稍低。大部分 DDT 存在于地表层 2.5cm 深的土壤内。

DDT 极易在人体和动物体的脂肪中蓄积,反复给药后,

DDT 在脂肪组织中的蓄积最初很大，以后逐渐有所减慢，一直达到一种稳定的浓度。像大多数动物一样，人可以将 DDT 转变成 DDE。DDE 比其母体化合物更易蓄积。

据大多数报告，不同国家的普通人群血中总 DDT 含量范围为 0.01~0.07mg/L，最高平均值为 0.136mg/L。人乳中 DDT 含量通常为 0.01~0.10mg/L。如将 DDT 的含量与其代谢物（特别是 DDE）的含量相加，大约比上述含量高 1 倍左右。DDA 在普通人群尿中平均含量为 0.014mg/L 左右。一般情况下职业接触使 DDT 和总 DDT 在脂肪中的平均蓄积量分别达到 50~175mg/kg 与 100~300mg/kg。

鱼、贝类对 DDT 有很强的富集作用。例如牡蛎能将其体内的 DDT 含量提高到周围海水水体中含量的 7 万倍。

人体中 DDT 的含量随着其食物来源、工作环境的不同而有所差异。DDT 是脂溶很强的有机化合物，比较一致的认识是，人体各器官内 DDT 的残留量与该器官的脂肪含量呈正相关。

迁移转化：DDT 在环境中的转化途径包括光解转化、生物转化、土壤转化等。在生物转化中除哺乳动物体内的代谢转化外，还有鸟类、昆虫类、高等植物和微生物等不同的转化途径，至今已将近有 20 种转化物质（包括哺乳动物的代谢产物在内）作了鉴定，但许多其它化合物的化学结构仍不清楚。除主要产物如 DDE 和 DDD 外，这些转化产物的毒理学特性几乎一无所知。对 DDT 及其同系物在整个环境中的循环及转归问题的认识，尚存在着相当大的差距。

由上可知，DDT 是个高毒性、高残留性、难于降解的农药。DDT 这些性质特别是高残留性，它对环境及生态系统存在着很大的潜在危害，由于 DDT 的高残留性和对环境乃至生态系统的潜在危害，我国、日本及欧美许多国家，已相继禁止生产和使用，或规定严密的使用规程，DDT 的污染源已基本得到控制。

但是，环境中生物体内的 DDT 残留量何时能够彻底清除是难以估计的。

3. 蝗害缘何又重来？

蝗虫是东南亚地区重要农业害虫，中国史书上多有蝗灾记载。从周末春秋时代起到 1950 年建国的 2600 多年中，平均每 2~3 年有一次地区性蝗灾发生；每隔 5~7 年有大型蝗灾猖獗；到了上一世纪 40 年代因为旱涝灾害交错，内忧外患，黄淮海地区几乎年年发生蝗害。1950 年以来防治有利，使蝗虫种群数量一直控制在不致成灾的水平之下。大家乐观地认为：蝗灾可能已成为历史了。长在大城市的孩子有的甚至没有见过蝗虫！

但是，1998 年和 2000 年我国部分地区，特别是华北，西北地区相继发生了蝗害。发生面积之大，密度之高，是 20 世纪 60 年代以来所未见到的。1998 年山东，河南，河北，山西，天津和内蒙等省市累计发生蝗害面积 100 多万 hm^2 ；黄河滩区域和渤海湾区域，蝗虫密度普遍比往年高出 2 至 3 倍。其中山东省蝗害面积 22 万 hm^2 ，重灾区发生密度一般为每平方米 20~30 头；严重的为 100 头以上；最高达 3 000 多头。内蒙约有 27 万 hm^2 草原和农田遭到蝗灾的严重破坏。河南发生蝗灾面积 78 万 hm^2 。河北省发生蝗灾 24.4 万 hm^2 。山西省和天津市发生蝗灾面积较少，分别为 3.2 万和 2.7 万 hm^2 。形势相当严峻。飞播农药约 8 万多 hm^2 ，再加上人工播洒农药和其它办法防治兼顾，已将蝗灾势头压了下来。这次灭蝗可减少各地蝗区约 50 万 t 农作物损失。2001 年入夏以来，北方持续高温干旱，我国华北和西北，以至西藏地区又发生大规模虫灾。15 个省区共 770 万 hm^2 地区受害，为历年所罕见。新疆国土面积占我国国土总面积的 1/6，为我国主要牧区之一。因蝗灾，每年至少造成牧草减少 35 亿 kg 以上，直接经济损失 7 亿元。2001 年新疆