

北京市科学技术协会科普创作出版资金资助

春

天

不再寂静

农药的发展历程和
环境健康影响

这个春天
你是否听到虫鸣鸟叫的声音？



解 荀 / 插图

本书是半个世纪后环保工作者向《寂静的春天》的致敬！

但我们要做的还有更多……

徐怀洲
石利利 / 主编

出版集团

春

天

不再寂静

农药的发展历程和
环境健康影响

徐怀洲 石利利 / 主编

中国环境出版集团·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

春天不再寂静: 农药的发展历程和环境健康影响 / 徐怀洲, 石利利主编. -- 北京: 中国环境出版集团, 2018.5

ISBN 978-7-5111-3622-0

I. ①春… II. ①徐… ②石… III. ①农药—历史—世界②农药施用—环境影响—研究③农药残留—影响—健康—研究 IV. ①TQ45-091②S48③X820.3④R155.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第076314号

出版人 武德凯
责任编辑 丁莞歆
责任校对 任 丽
设计制作 彭 杉

出版发行 中国环境出版集团
(100062 北京市东城区广渠门内大街16号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67175507 (环境科学分社)
发行热线: 010-67125803 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2018年5月第1版
印 次 2018年5月第1次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 14
字 数 160千字
定 价 49元

【版权所有。未经许可, 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

本书参与 编写人员

徐怀洲 石利利 吉贵祥 郭 敏 范德玲
张 芹 刘润瞳 吴怡林 郭米娜 刘轶萱



序

说起来，“农药”这个词在当今社会已经广为人知，除了农业、林业等领域的相关从业者，城市里的普通公众对其也并不陌生。尤其是在现代社会中，农药对于粮食生产越来越重要，公众对于环境与健康的关注度越来越高，与农药相关的健康问题也日益凸显。但是，农药究竟是什么？如何发展到今天？存在什么样的威胁？又有怎样的未来？在目前市场上已经出版的相关著作中很难找到答案，且其中大部分是由农药专业的从业者编著，主要探讨农药的科学性、技术性问题，对于农药的发展历程和环境健康影响则关注不多或未涉及。

不得不承认，在环境保护方面，人类总是后知后觉。1962年，《寂静的春天》问世以来，环境保护的概念才逐渐建立并为人熟知，而其中提到的农药污染问题其实已经出现了几十年。农药曾经是我国的战略物资，对农业生产具有重要作用，但同时农药的另一面也不容忽视——它是人们主动投入环境的一类特殊的有毒有害物质，本身具有生物活性，这是其能够防治农作物病虫害的根本原因。然而也正因为如此，农药会对其他生物产生潜在危害性。例如，农药进入自然环境

中会造成环境中生态系统的破坏，再经由食物链的放大作用，其危害性会逐步扩大。另外，随着农药的生产量和使用量屡创新高，其生产和使用中造成的安全事故也是需要关注的方面。

目前，全球各主要国家均已建立了一整套农药管理制度，以保证将农药的危害控制在一定范围内。但令人担忧的是，人类对于农药危害性的认识其实是逐步加深的。随着有机氯农药、有机磷农药、氨基甲酸酯类农药、三嗪类农药、杂环类农药等陆续出现，在生存和利益的驱动下，人们对于农药研发的热情持续高涨，如果发现一类农药危害大，就会发明另一类新农药来替代它，循环至今。20 世纪 90 年代中期，《我们被偷走的未来》（*Our Stolen Future*）的出版让人们意识到，原来的安全剂量可能并不安全，对于具有内分泌干扰效应的农药而言，即使很小的剂量也可能会对人类造成长期且不可逆的危害。面对困扰和矛盾，农药开始朝着绿色农药的方向发展，而有机农业、转基因作物让我们看到了另外一场革命的可能性。

回首过往，我们应该庆幸，《寂静的春天》虚设的万籁俱寂的可怕场景并未出现，我想这也正是蕾切尔·卡逊当初写作该书的最终目的吧——唤醒人们对于环境的关注。不忘初心，向环保运动的先行者们致敬！此时此地的我们可以扪心感受：这个春天，是否听到了虫鸣鸟叫？

以史为鉴，可以知兴替。对农药发展历程及其环境与健康影响的梳理，对于人们进一步认识农药、利用农药以及保护人类自身都具有重要的意义。未来农药的发展方向和理念，涉及如何认识和看待人类与自然之间的关系，值得每一个人思考，因为每一个人都不是旁观者。

开篇

魔盒开启

我们所知与所不知的农药

自人类诞生起就处在地球的生态系统之中，与其他动物、植物一起面对着风雨雷电，经历着沧海桑田。就生物自身的特性而言，其最大的特征就是努力维持本物种的繁衍生息。对人类来说，一切对生存繁衍有危害的生物都被称为有害生物，需要开动脑筋、启用智慧与之斗争。这种斗争中便蕴含着农药的起源。于是，农药这个“潘多拉魔盒”被人开启，它一方面预防、控制着危害的发生，另一方面也反噬着环境与人类。

第一章 农药的源起

农药如何定义？

想要了解农药，首先需要理解“农药”这两个字的内涵和边界。随着社会的不断发展，农药的定义是逐渐变化的，虽然“农药”二字未变，但其内涵却在不断扩充。根据2017年2月8日国务院第164次常务会议修订通过的《农药管理条例》（中华人民共和国国务院令 第677号）中的规定：农药，是指用于预防、控制危害农业、林业的病、虫、草、鼠和其他有害生物以及有目的地调节植物、昆虫生长的化学合成或者来源于生物、其他天然物质的一种物质或者几种物质的混合物及其制剂。

农药包括用于不同目的、场所的下列各类：① 预防、控制危害农业、林业的病、虫（包括昆虫、蜱、螨）、草、鼠、软体动物和其他有害生物；② 预防、控制仓储及加工场所的病、虫、鼠和其他有害生物；③ 调节植物、昆虫的生长；④ 农业、林业产品防腐或者保鲜；⑤ 预防、控制蚊、蝇、蜚蠊、鼠和其他有害生物；⑥ 预防、控制危害河流堤坝、铁路、码头、机场、建筑物和其他场所的有害生物。

其中的“一种物质或者几种物质”即农药原药。关于农药原药，联合国粮食及农业组织（FAO）农药²³标准中的定义为从制造它所用的原料、溶剂等分离提纯出来的一种活性成分；我国的行业标准将农药原药定义为在制造过程中经合成、提纯后得到的有效成分及杂质组成的最终产品，不能含有可见的外来物质和任何添加物。

农药如何分类？



按照制造农药的原料来源可以将其分为无机农药、植物性农药、微生物农药、有机合成农药等。无机农药主要是指以砒霜、砷酸铅、硫酸铜、磷化铝等无机物作为主要成分的农药；植物性农药，又称植物源农药，主要是指用植物加工而成的农药，利用植物体内含有的有效成分起到杀虫、杀菌或者杀鼠的作用，最典型的如除虫菊、鱼藤、烟草等；微生物农药是指通过发酵的方法制造出来的具有特定活性的孢子、病毒或抗生素，如苏云金杆菌、井冈霉素等；有机合成农药的结构特点是以含有碳、氢、氧、磷、硫或卤素，通过复杂工艺合成的有机物作为主要活性成分的农药，是目前使用得最多的一类农药。

按照农药的防治对象，可以分为杀虫剂、杀菌剂、杀螨剂、杀鼠剂、杀软体动物剂、杀线虫剂、除草剂、植物生长调节剂、脱叶剂等。有些农药兼具多种活性，具有多种用途，这样的农药以其主要防治对象命名。

按照农药的作用方式，还可以进行细分，如杀虫剂还可细分为胃毒剂（通过昆虫消化系统发挥作用）、触杀剂（通过昆虫虫体接触发挥作用）、熏蒸剂（气态农药通过昆虫气孔或啮齿动物呼吸系统进入体内发挥作用）、内吸剂（药剂进入植株体内，通过害虫取食含有农药的组织或汁液发挥作用）、拒食剂（使昆虫消除食欲不再取食直至最后饥饿致死）、忌避剂（在作物等表面使用后，通过某种气味或挥发性物质对害虫有忌避作用，从而保护人、畜、作物不受某种害虫侵扰）、诱致剂（利用害虫某种趋性，通过引诱害虫而将其歼灭，常见的有性诱和食诱两种）、干扰剂（属特异性农药，通过干扰昆虫正常的生理过程而使其不能完成正常的生活史从而导致死亡，如蜕皮激素、保幼激素等）；杀菌剂还可以细分为保护剂（预先喷洒在植株表面，形成均匀的保护层以防止病原菌的侵入）、铲除剂（可杀死黏附在植株表面的病原菌）、治疗剂（可杀死侵入植株体内的病原菌）、内吸剂（通过植物的根、茎、叶吸收进入植物体内，保护植物不受病原菌的侵入或杀死已经侵入的病原菌）、防腐剂（可抑制病原菌的孢子萌发但不能杀死）；除草剂可以细分为选择性（在作物和杂草之间、在一定剂量范围内可杀死或者抑制杂草生长而对作物安全，或者对某一种或某类杂草有效而对作物和其他杂草无害）和灭生性（非选择性，可将草苗一起杀死，多用于道路两旁或森林防火道）两大类。

农药如何发展而来？

最早的农药使用可追溯到公元前 1000 多年。在古希腊，已有用硫黄熏蒸害虫及防病的记录，中国也在公元前 7—前 5 世纪用莽草、蜃炭灰、牧鞠等灭杀害虫。而真正谈到农药的历史发展，可以以 20 世纪 40 年代作为一个转折点，在此之前可作为农药的原始阶段，处于以天然药物及无机化合物农药为主的天然和无机农药时代；在此之后，有机合成农药进入人类的视野，从此“潘多拉魔盒”被打开。有机合成农药的发明，一方面让生产者获得了巨大的经济利益，另一方面让人们看到了与天斗、与地斗、与自然抗争的可能性。当然，随着社会的发展与科技的进步，人们对农药的认识不断加深，药力强、药效长的高毒、长残留农药的弊端也开始显现，逐渐被人们摒弃及限用、禁用，因而使低毒、低残留、环境友好型农药逐渐成为发展的方向。不可否认，农药为人类的农业生产、粮食安全、疾病预防等发挥了巨大的作用，但同时因其使用而带来的环境问题、引发的生态危害和健康危害，直到现在仍是重大的研究课题。

早期人类的生产力水平有限，对自然的认知有限，常常把包括农牧业病、虫、草害等在内的严重自然灾害视为天灾。但通过长期的生产实践活动，人类逐渐认识到一些天然植物具有防治病虫害的性能。到 17 世纪，人们陆续发现了一些真正具有实用价值的农用药物——烟草、松脂、除虫菊、鱼藤等杀虫植物被加工成制剂，作为农药使用。

1763 年，法国人使用烟草及石灰粉防治蚜虫，这是世界上首次报道的杀虫剂。1800 年，美国人 Jintikoff 发现高加索部族用除虫菊粉灭杀虱、蚤，并于 1828 年将除虫菊加工成防治卫生害虫的杀虫粉出售。1848 年，T.Oxley 制造了鱼藤根粉。在此时期，除虫菊花的贸易维持了中亚一些地区的经济。

这类药剂的普遍使用是早期农药发展史的重大事件，而且这类药剂至今仍在使用。

古希腊诗人荷马曾提到燃烧的硫黄可作为熏蒸剂。古罗马学者 Pliny 曾提倡用砷作为杀虫剂，并言及用苏打和橄榄油处理豆科植物的种子。公元 900 年，中国开始使用雄黄（三硫化二砷）防治园艺害虫。但直到 19 世纪 60 年代—20 世纪 40 年代中期，随着工业革命的到来，才陆续发展了一批人工制造的无机农药。而工业化开发最早的无机农药当数 1851 年法国 M. Grison 用等量的石灰与硫黄加水共煮制取的石硫合剂雏形——Grison 水。1867 年，巴黎绿（一种不纯的亚砷酸铜）开始应用。在美国，亚砷酸铜被用于控制科罗拉多甲虫的蔓延，并于 1900 年成为世界上第一个被注册的农药。1882 年，法国的 P.M.A. Millardet 在波尔多地区发现硫酸铜与石灰水混合也有防治葡萄霜霉病的效果，由此发明了波尔多液，并从 1885 年起将其作为保护性杀菌剂而广泛应用；直到现在，波尔多液和石硫合剂仍在应用。1896 年，法国葡萄种植主将波尔多液用于葡萄藤时，黄色野芥的叶子变黑了。这一偶然发现，促使了除草剂的应用与研究。不久硫酸铁就被用于谷类作物防治双子叶杂草，而作物却并未受到伤害。

一战前的 1913 年，德国首次应用有机汞化合物作为种子处理剂。两次世界大战之间化学药剂迅速增长。例如，焦油被用于防治休眠树木上的蚜虫卵；二硝基邻甲酚于 1932 年在法国获得专利，用于谷类作物的杂草防除；1934 年第一个二硫代氨基甲酸酯杀菌剂——福美双在美国获得专利。第二次世界大战期间，强力杀虫剂滴滴涕诞生于瑞士；有机磷杀虫剂在德国被研发；同时，苯氧羧酸类除草剂在英国进入商品化；1945 年第一个通过土壤作用的氨基甲酸酯类除草剂被英国人研发；有机氯杀虫剂氯丹在美国、德国首先应用；不久，氨基甲酸酯类杀虫剂在瑞士研发成功。“二战”

末期，具有选择性的苯氧乙酸除草剂、有机氯和有机磷杀虫剂等进入商品应用阶段。1955—1960年，在瑞士研发了三氮苯类除草剂，在英国研发了季铵盐类除草剂。继敌草腈、氟乐灵和溴苯腈于1960—1965年投入使用后，1968年又研发了内吸杀菌剂苯菌灵与除草剂草甘膦。20世纪70年代英国和日本的研究人员在拟除虫菊酯杀虫剂方面开展了大量的研发工作。

有机合成杀虫剂的发展首先从有机氯开始，在20世纪40年代初出现了滴滴涕、六六六。二战后，出现了有机磷类杀虫剂。50年代又研发出了氨基甲酸酯类杀虫剂。上述三大类农药是当时杀虫剂的三大支柱。但农药长残留带来的环境污染与食品安全问题，引起了世界各国的极大关注和高度重视。从70年代开始，许多国家陆续禁用滴滴涕、六六六等长残留的有机氯农药和有机汞农药，并开始建立农药环境管理制度，以进一步加强对农药的管理。如当时世界上农药用量和产量最大的美国，于1970年颁布了《环境保护法》，将农药登记审批由农业部划归为环保局管理，并把慢性毒性与环境影响列于考察的首位。鉴于此，不少农药公司将农药研发的方向转向高效、低毒以及环境安全性。通过努力，研发了一系列高效、低毒、选择性强的农药新品种。在杀虫剂方面，仿生农药如拟除虫菊酯类、沙蚕毒素类农药被开发和应用，尤其是拟除虫菊酯类的开发，成为杀虫剂的一个重大突破。此外，还研发了不少包括几丁质合成抑制剂的昆虫生长调节剂，即“第三代杀虫剂”，包括噻嗪酮、灭幼脲、杀虫隆、伏虫隆、抑食肼、定虫隆、烯虫酯等产品。最近，又出现了“第四代杀虫剂”，即昆虫行为调节剂，如信息素、拒食剂等。

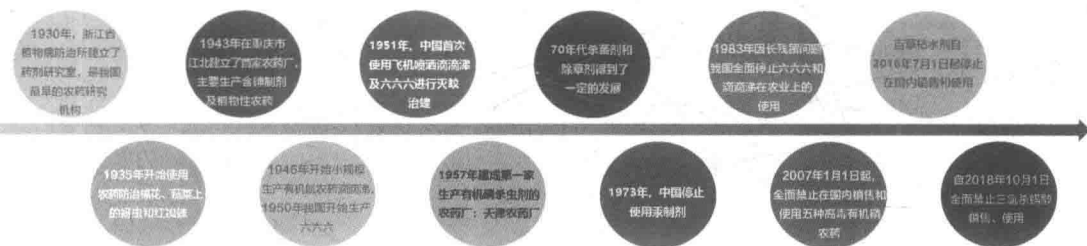
在杀菌剂方面，抑制麦角甾醇生物合成药剂的研发在20世纪80年代发展迅速。目前，杀菌剂产品主要有吗啉类、嘧啶类、咪唑类、三唑类、吡唑类和嘧啶类等，均为含氯杂环化合物，主要品种有十三吗啉、噻胺灵、

丁塞特、甲嘧醇、抑霉唑、咪鲜安及三唑酮等，它们能被植物吸收并在植物体内传导，兼具保护和治疗的作用，用于防治由子囊菌纲、担子菌纲、半知菌纲引起的作物病害。此外，农用抗生素的研发十分引人注目，如多氧霉素、多效霉素等品种，具有高效、高选择性、易降解等特点。

在除草剂方面，因农业机械化和农业现代化发展的需要，一批活性高、选择性强、持效适中及易降解的除草剂被成功研发并得到应用，有效地解决了农业生产中长期存在的草害问题。尤其是磺酰脲类和咪唑啉酮类除草剂，它们通过阻碍支链氨基酸的合成而发挥作用，对多种一年或多年生杂草有效，芽前、芽后处理均可。主要品种有氯磺隆、甲磺隆、阔叶净、禾草灵、吡氟乙草灵、丁硫咪唑酮、灭草嗪、草甘膦等。同时，也出现了除草抗生素——双丙氨膦。令人遗憾的是，虽然磺酰脲类除草剂甲磺隆、氯磺隆等超高效药剂的使用给农业生产者带来了便利，但其缺点也是引人关注的。一方面，由于磺酰脲类除草剂的活性较高，长期使用后其残留对后茬敏感作物（如玉米、油菜、棉花以及某些豆类作物）会造成一定的药害，甚至死亡；另一方面，磺酰脲除草剂的长期使用所造成的选择压力，特别是作用靶标单一，造成了杂草耐药性、抗药性的出现，从而使磺酰脲类除草剂在农田土壤中的残留降解及影响因素等问题受到普遍关注。

我国农药发展的历史有其自身特点。1930年，浙江省植物病防治所建立了药剂研究室，这是我国最早的农药研究机构。1935年开始使用农药防治棉花、蔬菜上的蚜虫和红蜘蛛。1943年在重庆市江北建立了首家农药厂，主要生产含砷制剂及植物性农药。1946年开始小规模生产有机氯农药滴滴涕，1950年我国开始生产六六六。1951年，中国首次使用飞机喷洒滴滴涕、六六六进行灭蚊治蝗。1957年建成第一家生产有机磷杀虫剂的农药厂——天津农药厂，开始了有机磷农药对硫磷（1605）、内吸磷（1059）、甲拌

磷（3911）、敌百虫等品种的生产。在 20 世纪 60 年代和 70 年代，天津农药厂是我国生产有机氯、有机磷、氨基甲酸酯类等杀虫剂的主要基地。70 年代杀菌剂和除草剂得到了一定的发展，生产了几十个品种；此外，杀鼠剂和植物生长调节剂也有所发展。1973 年，中国停止使用汞制剂，并研发了稻瘟净、多菌灵等杀菌剂以代替汞制剂。



20 世纪 50 年代初，有机氯农药的相继投产标志着我国农药工业发展的开始。由于当时我国农药工业处于发展的初级阶段，生产能力低下、品种单一，而且在计划经济体制下，农药作为战略物资实行按计划供应，因而当时的农药主要依靠大量进口，以满足国内农业生产防治病、虫、草害的需求。1983 年因长残留问题我国全面停止六六六和滴滴涕在农业上的使用后，有机磷和氨基甲酸酯类农药发展迅速，并开发了拟除虫菊酯类及其他杀虫剂。同时，甲霜灵、三唑酮、三环唑、代森锰锌、百菌清等高效杀菌剂也相继投产。植物生长调节剂的用量迅速增加，丁草胺、灭草丹、绿麦隆、草甘膦、灭草松、磺酰脲类除草剂及矮壮素、乙烯利也投入了市场。2008 年，考虑到农药使用的安全性与农产品安全性的问题，我国全面禁止五种高毒有机磷农药（甲胺磷、对硫磷、甲基对硫磷、久效磷及磷胺）的使用。总体上看，农药品种的发展除科研创新、工艺创新外，伴随着环境安全与食品安全问题的发现及解决不断向前。

我国农药行业经过多年持续稳定的发展，形成了包括原药生产、制剂加工、科研开发和原料中间体配套在内的农药工业体系，农药品种日趋多样化。目前我国已经成为全球农药生产和出口大国之一。中国产业信息网发布的《2015—2022年中国农药市场全景调研及投资战略咨询报告》显示：我国农药行业发展迅猛，2001年到2013年我国农药产量由69.6万吨增长至319.0万吨，增长了4.58倍。以原药产量计，我国从2006年起已超过美国成为世界上第一大农药生产国。随着全球以及我国农业耕种方式与作物结构的变化，2009年后除草剂逐步超越杀虫剂成为我国化学农药市场上产量最大的农药种类，杀虫剂所占比重逐年下降，而杀菌剂市场份额较为稳定。2014年我国化学农药原药产量为374.4万吨，出口量为112万吨，其中，除草剂、杀虫剂和杀菌剂的出口量分别为80.6万吨、23.9万吨和7.5万吨。

但是我国大部分农药企业的技术研发能力较差，产品结构以非专利农药产品为主，仅有30余个自主创新的专利农药产品在农业部登记，在国际农药市场中处于较低端的位置。国内农药行业共有企业2400余家，其中年销售量在2000吨以下的企业占85%，整体呈现“大行业、小企业”的格局；同时，我国农药生产具有明显的区域性，主要集中在东部沿海的江苏、浙江、山东三省，2013年该三省共生产化学农药原药195.48万吨，占全国总产量的61.27%。

第二章 农药的“威力”

我们为什么关注农药？

首先，农药是重要的生产资料。农药在过去能成为我国的战略物资，主要是因为农药对于农业生产具有重要作用。世界农业在 20 世纪下半叶有长足进步。1949 年至 1988 年世界粮食单产从每公顷 1000 千克提高到 2499 千克，平均年增长 39 千克，这是人类历史上空前的。当然，这主要是由于科技发展带来的，其中育种、水利、灌溉技术的提高占一半，化肥、农药的作用占一半。化学农药在控制农业有害生物方面功不可没。此外，农药还发挥着调节农作物生长发育的重要作用，如果使用得当，可大幅提高农作物的产量和质量。

